



# Ενότητα Α: Επικοινωνία δεδομένων

## Περιεχόμενα

### Κεφάλαιο 1: Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

<b>Μάθημα 1.1:</b>	<b>Στοιχεία θεωρίας σημάτων .....</b>	<b>10</b>
1.1.1	Βασικές έννοιες σημάτων .....	10
1.1.2	Χαρακτηριστικά σήματος .....	13
1.1.3	Μορφές σήματος .....	15
1.1.3.1	Αναλογικά σήματα .....	15
1.1.3.2	Ψηφιακά σήματα .....	17
1.1.4*	Μαθηματική παράσταση του σήματος .....	18
<b>Μάθημα 1.2:</b>	<b>Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης .....</b>	<b>21</b>
1.2.1	Εισαγωγή .....	21
1.2.2	Ενσύρματα μέσα μετάδοσης .....	23
1.2.2.1	Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων .....	23
1.2.2.2	Ομοαξονικό καλώδιο .....	25
1.2.2.3	Οπτικές ίνες .....	26
1.2.3	Ασύρματα μέσα μετάδοσης .....	27
1.2.3.1	Ραδιοκύματα .....	29
1.2.3.2	Μικροκύματα .....	31
1.2.3.3	Δορυφορική επικοινωνία .....	33
1.2.3.4	Υπέρυθρα - Λέιζερ .....	34
<b>Μάθημα 1.3:</b>	<b>Σύγκριση των μέσων μετάδοσης .....</b>	<b>36</b>
1.3.1	Σύγκριση των καλωδιακών μέσων .....	36
1.3.1.1	Σύγκριση ομοαξονικού καλωδίου και καλωδίου UTP ή STP .....	36
1.3.1.2	Σύγκριση οπτικής ίνας και καλωδίου UTP ή STP .....	37
1.3.2	Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης .....	38
1.3.2.1	Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων συνδέσεων .....	39



<b>Μάθημα 1.4:</b>	<b>Εξασθένηση, παραμόρφωση, θόρυβος .....</b>	<b>42</b>
1.4.1	Βλάβη σήματος .....	42
1.4.2	Είδη θορύβου .....	43
1.4.3	Μέτρηση εξασθένησης - ενίσχυσης σήματος και θορύβου .....	45
<b>Μάθημα 1.5:</b>	<b>Διαμόρφωση σήματος .....</b>	<b>47</b>
1.5.1	Εισαγωγή .....	47
1.5.2	Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος .....	48
1.5.3	Πλεονεκτήματα διαμόρφωσης σήματος .....	49
<b>Μάθημα 1.6:</b>	<b>Είδη διαμόρφωσης .....</b>	<b>51</b>
1.6.1	Αναλογική μετάδοση και διαμόρφωση .....	51
1.6.2	Ψηφιακή μετάδοση και διαμόρφωση .....	54
1.6.3	Κωδικοποίηση .....	56
<b>Μάθημα 1.7:</b>	<b>Μοντέλο επικοινωνίας .....</b>	<b>59</b>
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>62</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>64</b>

## Κεφάλαιο 2: Μετάδοση δεδομένων

<b>Μάθημα 2.1:</b>	<b>Βασικές έννοιες .....</b>	<b>68</b>
2.1.1	Εισαγωγή .....	68
2.1.2	Κωδικοποίηση δεδομένων .....	69
2.1.3	Περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου .....	70
2.1.4	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων .....	70
2.1.5	Χωρητικότητα γραμμών επικοινωνίας .....	72
<b>Μάθημα 2.2:</b>	<b>Χαρακτηριστικά μετάδοσης δεδομένων .....</b>	<b>77</b>
2.2.1	Μορφές μετάδοσης δεδομένων .....	77
2.2.2	Τρόποι ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων .....	78
2.2.2.1	Παράλληλη μετάδοση δεδομένων .....	78
2.2.2.2	Σειραϊκή μετάδοση δεδομένων .....	78
<b>Μάθημα 2.3:</b>	<b>Ασυγχρόνιστη και συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση .....</b>	<b>80</b>
2.3.1	Εισαγωγή .....	80
2.3.2	Ασυγχρόνιστη μετάδοση .....	81
2.3.3	Συγχρονισμένη μετάδοση .....	83
2.3.4	Το κύκλωμα EIA-232D/V.24 .....	86
2.3.5	Το κύκλωμα RS-499 .....	88



<b>Μάθημα 2.4:</b>	<b>Συγκριτική αξιολόγηση .....</b>	<b>89</b>
2.4.1	Σύγκριση ψηφιακής και αναλογικής μετάδοσης .....	89
2.4.2	Σύγκριση παράλληλης και σειραϊκής μετάδοσης .....	90
2.4.3	Σύγκριση συγχρονισμένης και ασυγχρόνιστης σειραϊκής μετάδοσης .....	90
<b>Μάθημα 2.5:</b>	<b>Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων .....</b>	<b>92</b>
2.5.1	Εισαγωγή .....	92
2.5.2	Κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων .....	95
2.5.2.1	Ανίχνευση σφαλμάτων με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας .....	95
2.5.2.2	Ανίχνευση σφαλμάτων με τη δισδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας .....	97
2.5.2.3*	Μέθοδος κυκλικού πλεονασμού ελέγχου .....	98
2.5.3	Κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων .....	100
2.5.3.1	Διόρθωση σφαλμάτων με επαναμετάδοση .....	100
2.5.3.2	Αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων .....	103
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>105</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>106</b>

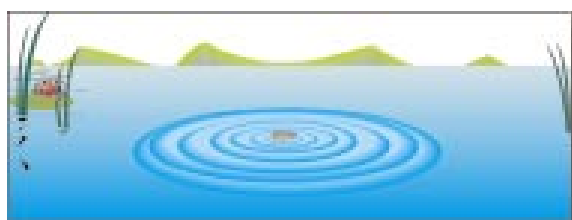
## Κεφάλαιο 3: Πολυπλεξία

<b>Μάθημα 3.1:</b>	<b>Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας - χρόνου .....</b>	<b>110</b>
3.1.1	Εισαγωγή .....	110
3.1.2	Τύποι γραμμών επικοινωνίας δεδομένων .....	111
3.1.3	Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας .....	112
3.1.4	Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου .....	113
<b>Μάθημα 3.2:</b>	<b>Συγκριτική αξιολόγηση τεχνικών πολυπλεξίας .....</b>	<b>119</b>
<b>Μάθημα 3.3:</b>	<b>Στατιστική πολυπλεξία .....</b>	<b>121</b>
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>124</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>125</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>.....</b>	<b>126</b>
<b>Διευθύνσεις Διαδικτύου (URLs)</b>	<b>.....</b>	<b>126</b>

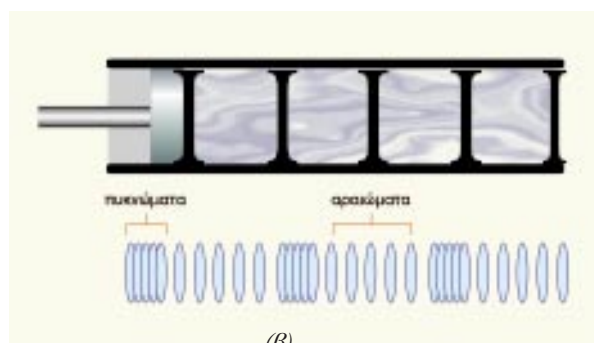


## Μάθημα 1.1: Στοιχεία θεωρίας σημάτων

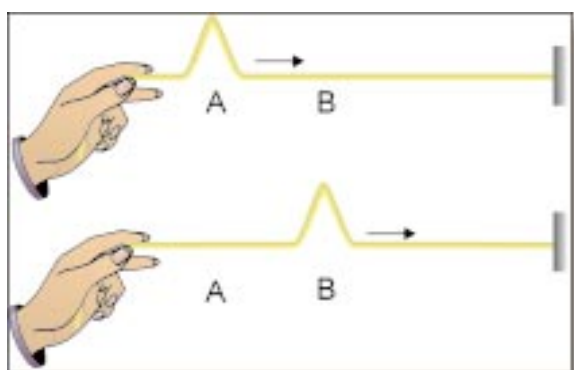
### 1.1.1 Βασικές έννοιες σημάτων



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 1.1: Πειράματα στα οποία φαίνεται η μετάδοση μιας διαταραχής.

Όπως είναι γνωστό από τη Φυσική, τα **ελαστικά σώματα** έχουν την ιδιότητα να υφίστανται παροδικές παραμορφώσεις, όταν ασκείται επάνω τους κάποια δύναμη. Αυτό σημαίνει ότι, αν η δύναμη η οποία ασκείται σε ένα ελαστικό σώμα και προκαλεί την παραμόρφωσή του πάψει να υφίσταται, τότε το σώμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Η ανάπτυξη δυνάμεων μεταξύ των δομικών στοιχείων ενός σώματος, δηλαδή των μορίων, των ατόμων και των ιόντων του, οι οποίες τείνουν να το επαναφέρουν στην αρχική του κατάσταση, ονομάζονται **ελαστικές δυνάμεις**. Λόγω της ανάπτυξης των δυνάμεων αυτών κάθε διαταραχή (κίνηση) ενός σημείου (σωματιδίου) του ελαστικού σώματος από τη θέση ισορροπίας του μεταδίδεται από σημείο σε σημείο σε όλο το σώμα.

Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζονται ορισμένα φυσικά παραδείγματα της μετάδοσης μιας διαταραχής.

✓ Αν σε μια ήρεμη επιφάνεια νερού ρίξουμε μια πέτρα, παρατηρούμε ότι δημιουργείται μια διαταραχή η οποία μεταδίδεται με μορφή ομόκεντρων κύκλων, που έχουν κέντρο το σημείο όπου έπεσε η πέτρα. Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού συμπεριφέρεται σαν ελαστική μεμβράνη (σχήμα 1.1α). Η μετάδοση αυτής της διαταραχής είναι ένα κύμα.

✓ Μέσα σε έναν κύλινδρο, στο ένα άκρο του οποίου υπάρχει έμβολο, έχουμε βάλει αέριο (σχήμα 1.1β). Αν μετακινήσουμε απότομα το έμβολο, δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο μια περιοχή αυξημένης και μια περιοχή ελαττωμένης πυκνότητας (πίεσης), που μεταδίδεται στο αέριο με κάποια ταχύτητα. Η μετάδοση αυτής της διαταραχής είναι ένα κύμα.

✓ Στερεώνουμε το ένα άκρο ενός χοντρού σχοινιού, ενώ το άλλο το κρατάμε με το χέρι μας. Αν κινήσουμε το άκρο αυτό απότομα προς τα επάνω, δημιουργείται μια διαταραχή που μεταδίδεται κατά μήκος του σχοινιού προς τα δεξιά, χωρίς να μεταβληθεί το σχήμα της. Στο σχήμα 1.1γ παρουσιάζονται δύο στιγμιότυπα από τα οποία προκύπτει ότι κατά τη μετάδοση της διαταραχής όλα τα σημεία του σχοινιού εκτελούν διαδοχικά την ίδια ακριβώς κίνηση. Η μόνη διαφορά είναι ότι η διαταραχή στο σημείο B θα δημιουργηθεί λίγο αργότερα από ό,τι στο σημείο A. Η μετάδοση αυτής της διαταραχής είναι ένα κύμα.

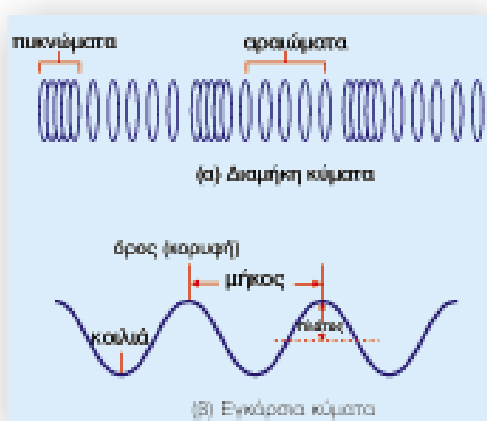




Γενικότερα, κάθε διαταραχή η οποία μεταδίδεται από σημείο σε σημείο μέσα σε κάποιο ελαστικό μέσο λέγεται **κύμα**. Χαρακτηριστικό είναι ότι κατά τη μετάδοση ενός κύματος δε γίνεται μεταφορά ύλης, αλλά τα υλικά σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους και οι ταλαντώσεις αυτές μεταδίδονται από το ένα σημείο στο άλλο. Σημειώνουμε ότι **ταλάντωση** ονομάζεται η περιοδική κίνηση που κάνει ένα σώμα γύρω από τη θέση ισορροπίας του. Έτσι η πτώση της πέτρας στο νερό προκαλεί ταλάντωση που δημιουργεί στην επιφάνεια του νερού ένα κύμα (σχήμα 1.1α). Η περιοδική κίνηση του εμβόλου αναγκάζει τα μόρια του αέρα μέσα στον κύλινδρο να εκτελούν ταλάντωση (σχήμα 1.1β). Τέλος, το άκρο Α τίθεται σε ταλάντωση προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κύμα το οποίο μεταδίδεται στο σχοινί (σχήμα 1.1γ). Όπως παρατηρούμε, χαρακτηριστικό της ταλάντωσης είναι η **περιοδική κίνηση**, δηλαδή η κίνηση που επαναλαμβάνεται πανομοιότυπα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Με τον ίδιο τρόπο που μια διαταραχή η οποία προκαλείται σε μια ήρεμη επιφάνεια νερού μεταδίδεται από σημείο σε σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή κύματος, έτσι και ένα παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο προκαλεί δύο εναλλασσόμενα πεδία, ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό, τα οποία μεταδίδονται από σημείο σε σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή δύο κυμάτων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού αντίστοιχα. Τα κύματα αυτά μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός, είναι αλληλένδετα, δηλαδή συνυπάρχουν ταυτόχρονα, και λέγονται **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**.

Ανάλογα με την κατεύθυνση των ταλαντώσεων των υλικών σημείων του ελαστικού μέσου και σε συνδυασμό με την κατεύθυνση της κίνησης του ίδιου του κύματος, τα κύματα χωρίζονται σε δύο είδη. Έτσι, αν η ταλάντωση είναι παράλληλη προς την κατεύθυνση της κίνησής τους, τότε τα κύματα είναι γνωστά ως **διαμήκη**. Αντίθετα, αν η ταλάντωση είναι κάθετη προς την κίνησή τους, τότε τα κύματα λέγονται **εγκάρσια**.



Σχήμα 1.2: Είδη κυμάτων



Παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο έχει επικρατήσει να ονομάζεται ένα ανοικτό κύκλωμα Thompson υπό μορφή ευθύγραμμου σύρματος. Όπως είναι γνωστό από τη Φυσική, το ανοικτό κύκλωμα Thompson προκύπτει από το αντίστοιχο κλειστό (που στην απλούστερη περίπτωση αποτελείται από ένα πηνίο και έναν πυκνωτή), όταν αντικαταστήσουμε το πηνίο με έναν απλό αγωγό και απομακρύνουμε βαθμιαία τους σπλισμούς του πυκνωτή. Η ακραία αυτή περίπτωση του ανοικτού κυκλώματος είναι ένα ευθύ σύρμα. Αν συζεύξουμε το σύρμα με κατάλληλη διάταξη που παράγει ηλεκτρικές ταλαντώσεις, το ανοικτό κύκλωμα θα αρχίσει να πάλλεται όπως το κλειστό κύκλωμα Thompson.



Την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων υποστήριξε θεωρητικά πρώτος ο Maxwell, ενώ την πειραματική απόδειξη της ύπαρξής τους έδωσε ο Hertz.

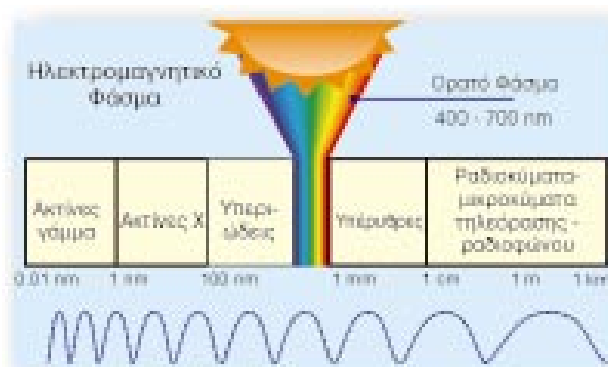


Η περιοδική κίνηση του εμβόλου ή η διέγερση της χορδής ενός βιολιού αναγκάζουν τα μόρια του αέρα στον περιβάλλοντα χώρο να εκτελούν ταλαντώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν περιοδικές μεταβολές της πίεσης του αέρα (πυκνώσεις και αραιώσεις), που ονομάζουμε **ήχους**.

**σια** (σχήμα 1.2).

Τα διαμήκη κύματα είναι πάντοτε μηχανικά, γιατί είναι αποτέλεσμα διαδοχικών συμπίεσεων και αραιώσεων του μέσου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα διαμήκους κύματος αποτελούν τα ηχητικά κύματα, η αρχή των οποίων στηρίζεται στην κίνηση του εμβόλου (σχήμα 1.1β). Τα εγκάρσια κύματα μπορεί να είναι μηχανικά, όπως τα κύματα του σχήματος 1.1α και 1.1β, ή ηλεκτρομαγνητικά, όπως είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως και οι υπεριώδεις ακτίνες κτλ. Η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνιστά μια μεγάλης σημασίας ερευνητική περιοχή, η οποία απασχολεί την επιστήμη των τηλεπικοινωνιών και ειδικότερα των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη κυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Κατά κανόνα ένα κύμα προϋποθέτει κάποια **πηγή** παραγωγής, δηλαδή μια εξωτερική αιτία, η οποία θα προκαλέσει σε ορισμένα υλικά σωματίδια του ελαστικού μέσου



Σχήμα 1.3: Το φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων



Η μετατροπή ενός μηνύματος σε σήμα γίνεται στο σημείο εισόδου του με τη βοήθεια ενός **μετατροπέα** (*transducer*). Στο σημείο προορισμού του ένας άλλος μετατροπέας επαναφέρει την ηλεκτρική κυματομορφή στο αρχικό μήνυμα.

ταλάντωση. Είναι ευνόητο ότι τα σωματίδια αυτά θα βρίσκονται δίπλα στην πηγή. Για παράδειγμα, το ηλεκτρικό κύμα μπορεί να προκαλέσει ταλάντωση σε ορισμένα υλικά σωματίδια του καλωδίου με το οποίο είναι συνδεδεμένη η πηγή παραγωγής του. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται από σωματίδιο σε σωματίδιο διαμέσου του καλωδίου. Στις τηλεπικοινωνίες όμως το κύμα που παράγεται από ένα σημείο δεν είναι πάντα ηλεκτρικό.

Μια σημαντική διαδικασία στη μετάδοση κάποιου κύματος είναι και η μετατροπή του σε ένα ηλεκτρικό μέγεθος που μεταβάλλεται χρονικά και λέγεται **σήμα μηνύματος** ή απλώς **σήμα**. Επομένως το σήμα είναι ένα ηλεκτρικό κύμα ή μια ηλεκτρική κυματομορφή. Για παράδειγμα, σε μια τηλεφωνική ομιλία τα μηνύματα, δηλαδή οι συνομιλίες, είναι ακουστικά κύματα, τα οποία μετατρέπονται μετά από κατάλληλη επεξεργασία (μικρόφωνο) σε ηλεκτρικά κύματα (σήματα) και, όπως θα δούμε στη συνέχεια, διακινούνται στο τηλεφωνικό δίκτυο με τη μορφή αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων.

## 1.1.2 Χαρακτηριστικά σήματος

Τα χαρακτηριστικά ενός σήματος είναι τα ακόλουθα:

- ✓ **Περίοδος σήματος** (*period*): ονομάζεται η διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης του υλικού σημείου στο ελαστικό μέσο, συμβολίζεται με  $T$  και μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec). Σημειώνουμε ότι η περίοδος ενός σήματος είναι ίση με την περίοδο της πηγής του σήματος.
  - ✓ **Μήκος σήματος** (*length*): ονομάζεται η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το σήμα σε χρόνο μιας περιόδου  $T$  (σχήμα 1.2) και συμβολίζεται με  $\lambda$ . Στα εγκάρσια σήματα το μήκος εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών, ενώ στα διαμήκη σήματα εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο πυκνωμάτων ή αραιωμάτων.
  - ✓ **Συχνότητα σήματος** (*frequency*): εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων μιας πλήρους ταλάντωσης ενός οποιουδήποτε περιοδικού σήματος στη μονάδα του χρόνου (κάθε δευτερόλεπτο) και συμβολίζεται με  $\nu$  ή  $f$ . Η μονάδα μέτρησης είναι ο κύκλος ανά δευτερόλεπτο που λέγεται και **Hertz (Hz)**. Στην πράξη χρησιμοποιούνται πολλαπλάσια του Hertz. Έτσι ένα KiloHertz (KHz) ισούται με ένα **χιλιόκυκλο**, δηλαδή χίλιους κύκλους ανά δευτερόλεπτο, ένα MegaHertz (MHz) ισούται με ένα **μεγάκυκλο**, δηλαδή ένα εκατομμύριο κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή χίλια KHz, και ένα GigaHertz (GHz) ισούται με ένα **γιγάκυκλο**, δηλαδή ένα δισεκατομμύριο κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή ένα εκατομμύριο χιλιόκυκλους ανά δευτερόλεπτο.
- Η συχνότητα του σήματος είναι ασφαλώς ίση με τη συχνότητα της πηγής του σήματος, ενώ από τον ορισμό προκύπτει ότι ένα σήμα με περίοδο  $T$  θα έχει συχνότητα  $\nu = 1/T$ .
- ✓ **Ταχύτητα μετάδοσης σήματος** (*velocity*): ονομάζεται η ταχύτητα με την οποία το σήμα διαπερνά το μέσο μετάδοσης και συμβολίζεται με  $u$ . Η ταχύτητα του σήματος δίνεται από το πηλίκο του μήκους του κύματος που μεταδίδεται προς την περίοδο  $T$ , δηλαδή:  $u = \lambda / T$ . Επομένως, αν υποθέσουμε ότι  $T = 1/\nu$ , τότε παίρνουμε:

$$u = \lambda / T = \lambda / (1/\nu) = \lambda \cdot \nu$$

οπότε καταλήγουμε στη θεμελιώδη εξίσωση των σημάτων:

$$u = \lambda \cdot \nu$$

Τα σήματα μπορούν να καθοριστούν είτε από τις συχνότητες είτε από τα μήκη των κυμάτων τους.

Μονάδες συχνότητας κύματος

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ cycle/sec}$$

$$1 \text{ KHz} = 1 \text{ kc/sec} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 1 \text{ Mc/sec} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ GHz} = 1 \text{ Gc/sec} = 10^9 \text{ Hz}$$

Μήκη κύματος

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$$

$$1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ }\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m} \text{ (}\text{\AA}\text{ngstr}\ddot{o}\text{m)}$$

Οι δονήσεις των σεισμών μπορεί να έχουν συχνότητα μικρότερη από 1 Hz.

Αντίθετα, ορισμένα ηλεκτρομαγνητικά σήματα, όπως είναι οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες κτλ., έχουν πολύ υψηλές συχνότητες, της τάξης των  $10^3 - 10^9 \text{ GHz}$ .



Η ταχύτητα μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό είναι ίση με την ταχύτητα μετάδοσης του φωτός στο κενό, δηλαδή είναι:

$$v = 3 \times 10^8 \text{ m/sec.}$$

### Παράδειγμα Ι

Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα με εξαιρετικά υψηλές συχνότητες, όπως είναι το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, καθώς και οι ακτίνες Χ και γάμμα, συνήθως περιγράφονται σε σχέση με τα μήκη των κυμάτων τους, τα οποία μετριοούνται σε μικροχιλιοστά ( $\mu\text{m}$ ), σε μικρά ( $\mu$ ), σε νανόμετρα ( $\text{nm}$ ) ή σε **Ångström (Å)**. Επομένως ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα μήκους κύματος  $1 \text{ nm}$  θα έχει συχνότητα περίπου  $\nu = v / \lambda = 3 \times 10^8 \times 10^9 = 3 \times 10^8 \text{ GHz}$ , αφού  $v$  ισούται με την ταχύτητα μετάδοσης του φωτός ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$ ) και  $\lambda$  με  $10^{-9} \text{ m}$ .

- ✓ **Πλάτος σήματος (amplitude)**: εκφράζει τη στιγμιαία τιμή του σήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή (σχήμα 1.4) και συμβολίζεται με  $a$ . Στην περίπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος το πλάτος είναι η μέγιστη δύναμη του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου.

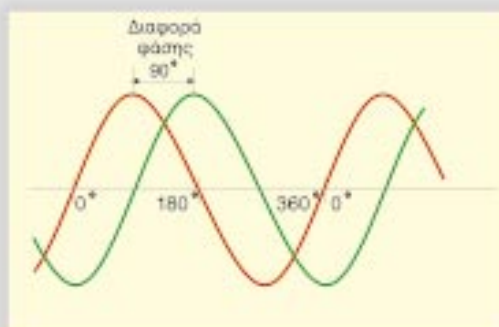


Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστικά σήματος



Η **γωνία** ή το **τόξο**  $\omega$  μετριοείται συνήθως σε μοίρες ή σε ακτίνια. Η **μοίρα** ορίζεται ως το  $1/360$  της όλης περιφέρειας ( $1^\circ = 60' = 3600''$ ). Το **ακτίνιο (radian)** ορίζεται ως το τόξο που έχει μήκος ίσο με την ακτίνα της περιφέρειας. Επειδή η περιφέρεια έχει μέτρο  $360^\circ$  ή  $2\pi$  ακτίνια ( $\pi = 3,14159...$ ), μία γωνία ή τόξο  $\varphi$  ακτίνων θα ισούται με  $(\varphi \cdot 180/\pi)^\circ$  μοίρες και, αντίστροφα, μία γωνία ή τόξο  $\mu^\circ$  μοιρών θα έχει μέτρο  $\mu \cdot \pi/180^\circ$  ακτίνια.

- ✓ **Φάση σήματος (phase)**: εκφράζει τη διαφορά  $\varphi$  ενός σήματος, όταν αυτό συγκρίνεται με κάποιο άλλο σήμα που χρησιμοποιούμε ως σήμα αναφοράς και του οποίου ο κύκλος ξεκινά τη χρονική στιγμή  $t=0$ . Επομένως, είναι φυσικό η διαφορά αυτή να δείχνει ότι το ένα σήμα προπορεύεται ή υστερεί του άλλου. Στο σχήμα 1.5 φαίνονται δύο σήματα που έχουν διαφορά φάσης  $\pi/2$  ή, ισοδύναμα,  $90^\circ$ .

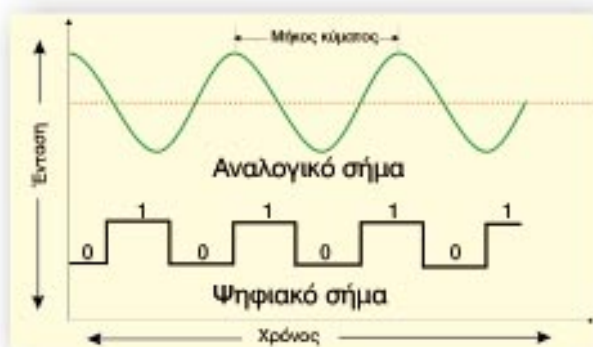


Σχήμα 1.5: Σήματα με διαφορά φάσης  $\pi/2$  ή  $90^\circ$

### 1.1.3 Μορφές σήματος

Όπως είναι γνωστό, για να επικοινωνήσεις κανείς με κάποιον άλλο, πρέπει να στείλει ένα μήνυμα. Το μήνυμα πρέπει να μεταφερθεί, με τη βοήθεια του μέσου μετάδοσης, από τον πομπό στο δέκτη (Μάθημα 1.7) και να επιβεβαιωθεί η λήψη του. Αυτή η επιβεβαίωση είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της διαδικασίας της μετάδοσης.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι σύμφωνα με τους οποίους μπορεί να μεταδοθεί μια πληροφορία. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6, τα μηνύματα μπορούν να μεταδοθούν είτε ως αναλογικά είτε ως ψηφιακά σήματα. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζεις κανείς τις δύο αυτές μεθόδους μετάδοσης, επειδή, με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, εμπεριέχονται σε όλα τα επικοινωνιακά συστήματα.



Σχήμα 1.6: Διάκριση αναλογικού - ψηφιακού σήματος

#### 1.1.3.1 Αναλογικά σήματα

**Αναλογικά** είναι τα σήματα τα οποία μεταβάλλονται συνεχώς μέσα στο χρόνο και έχουν τη μορφή **ημιτονοειδούς καμπύλης**. Η κίνηση ενός **αρμονικού αναλογικού σήματος**, που είναι η απλούστερη κίνηση ενός αναλογικού σήματος, μπορεί να παρασταθεί γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται μια σειρά από συνεχόμενα στιγμιότυπα ενός ημιτονοειδούς κύματος που μεταβάλλεται αρμονικά στη διάρκεια του χρόνου.

Τα ημιτονοειδή κύματα παριστάνουν τις αυξομειώσεις της τάσης του ηλεκτρικού σήματος ή τις αλλαγές της έντασης του ακουστικού σήματος. Ειδικότερα, το ακουστικό σήμα, που είναι ένα αναλογικό σήμα, εκφράζει έναν καθαρό και απλό ήχο ή, όπως λέμε, τη νότα. Για παράδειγμα η ομιλία μας είναι ένα σύνθετο σήμα, που αποτελείται από το συνδυασμό πολλών ημιτονοειδών κυμάτων. Εκτός από τα ακουστικά σήματα υπάρχουν και τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα, όπως είναι τα οπτικά, τα ραδιοφωνικά, τα τηλεοπτικά κτλ.

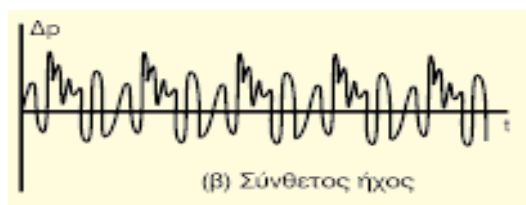
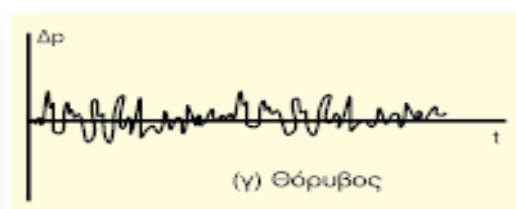
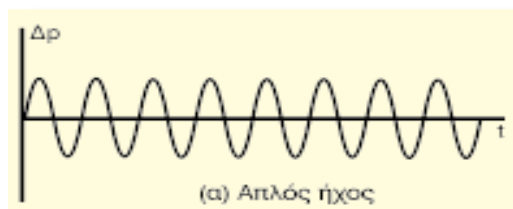


## Παράδειγμα II

Τα ακουστικά σήματα είναι αναλογικά σήματα στα οποία:



Στον **απλό ήχο** (σχήμα 1.7α) η πίεση του αέρα  $p$  μεταβάλλεται σύμφωνα με την ημιτονοειδή καμπύλη ως προς το χρόνο  $t$ , ενώ στο **σύνθετο ήχο** (σχήμα 1.7β) η πίεση μεταβάλλεται μεν περιοδικά, όχι όμως σύμφωνα με την ημιτονοειδή καμπύλη. Στο **θόρυβο** (σχήμα 1.7γ) η πίεση μεταβάλλεται μη περιοδικά, ενώ ο **κρότος** (σχήμα 1.7δ) προκαλείται από απότομη μεταβολή της πίεσης.

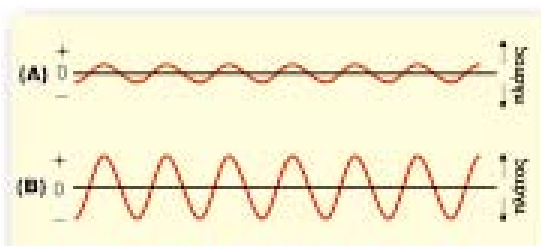


Σχήμα 1.7: Απλός ήχος (α), σύνθετος ήχος (β), θόρυβος (γ), κρότος (δ)

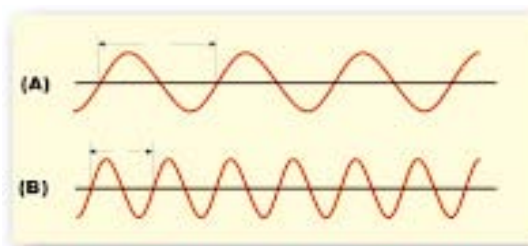
- ✓ Η αύξηση της έντασης του ήχου αντιστοιχεί σε αύξηση του ύψους του σήματος, δηλαδή του πλάτους του κύματος που το παριστάνει. Η διαφορά φαίνεται στο σχήμα 1.8α, που παριστάνει τα διαφορετικά πλάτη (ύψη) των δύο σημάτων που προκαλούνται από το πάτημα του ίδιου πλήκτρου της μεσαίας σκάλας του πιάνου, με μόνη διαφορά την ένταση με την οποία κάποιος πατά το πλήκτρο. Επειδή πατιέται το ίδιο πλήκτρο του πιάνου, θα ακουστεί ο ίδιος τόνος, με τη διαφορά ότι ο ένας θα είναι δυνατότερος από τον άλλο.
- ✓ Η συχνότητα είναι συνάρτηση του αριθμού των φορών που το ημιτονοειδές κύμα επαναλαμβάνεται ανά δευτερόλεπτο. Στο σχήμα 1.8α το ημιτονοειδές σήμα της χαμηλής έντασης του πλήκτρου της μεσαίας κλίμακας του πιάνου που πατήθηκε προκαλεί ήχο 277 περίπου κύκλων το δευτερόλεπτο (Hz). Αυτό σημαίνει ότι το ημιτονοειδές κύμα επαναλαμβάνεται 277 φορές το δευτερόλεπτο. Όμως, αν το ίδιο πλήκτρο του πιάνου πατηθεί με την ίδια ένταση αλλά μια οκτάβα (σκάλα) χαμηλότερα, τότε η συχνότητα του ήχου που προκαλείται θα είναι 138 κύκλοι το δευτερόλεπτο. Στο σχήμα 1.8β συγκρίνονται τα δύο σήματα, τα οποία έχουν το ίδιο πλάτος (ύψος), αλλά το άνοιγμά τους διαφέρει, αφού οι χαμηλές συχνότητες έχουν πάντοτε μεγαλύτερο άνοιγμα από τις υψηλές.
- ✓ Η φάση μετρά τη σχετική χρονική θέση του σήματος μέσα σε μια περίοδο. Επομένως η μετατόπιση φάσης (*phase shift*) περιγράφει το σημείο στο οποίο αρχίζει ο κύκλος της ημιτονοειδούς καμπύλης (βλ. παράγραφο 1.1.4). Στο σχήμα 1.8γ παρουσιάζονται τέσσερα σήματα, εκ των οποίων το καθένα αρχίζει σε



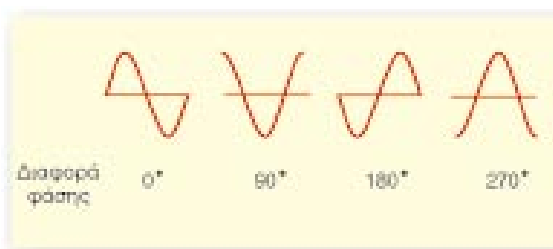
διαφορετική φάση από τα προηγούμενά του και τα οποία διαδοχικά έχουν διαφορά φάσης  $\pi/2$  ακτίνια ή, ισοδύναμα,  $90^\circ$ .



Σχήμα 1.8α: Πλάτος αναλογικών σημάτων



Σχήμα 1.8β: Συχνότητες αναλογικών σημάτων

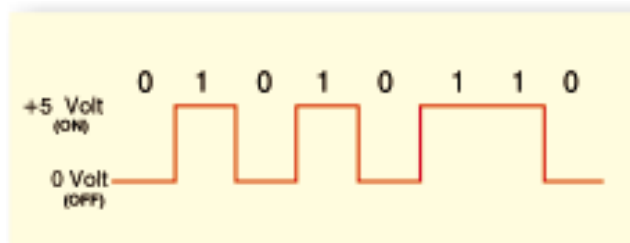


Σχήμα 1.8γ: Φάσεις αναλογικών σημάτων

### 1.1.3.2 Ψηφιακά σήματα

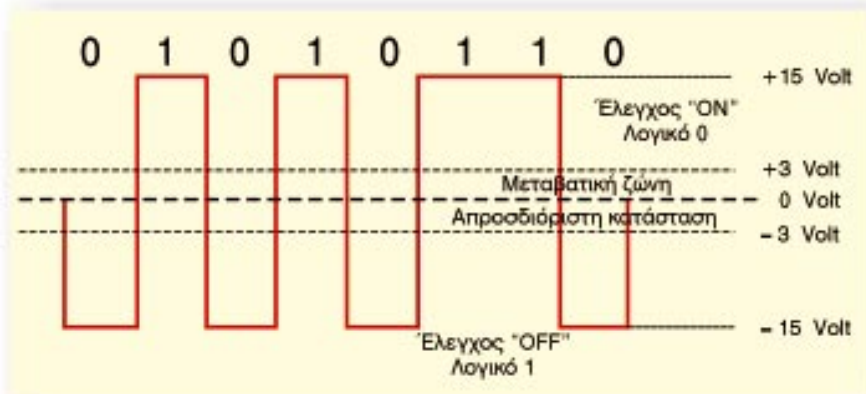
Τα **ψηφιακά σήματα** παίρνουν διακριτές τιμές μέσα στο χρόνο, δηλαδή έχουν ένα διακριτό αριθμό δυνατών καταστάσεων. Για παράδειγμα, το δυαδικό σήμα είναι ένα ψηφιακό σήμα, το οποίο έχει δύο καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν μόνο δύο συνθήκες, την *1* (κατάσταση *on*) ή την *0* (κατάσταση *off*), και συνήθως αντιστοιχούν στις ηλεκτρικές τάσεις των  $+5$  Volt και  $0$  Volt (σχήμα 1.9α). Έτσι η τάση των  $+5$  Volt συνεχούς ρεύματος μπορεί να αντιπροσωπεύει έναν παλμό, ενώ η τάση των  $0$  Volt την απουσία παλμού. Στα ψηφιακά σήματα οι παλμοί έχουν συνήθως το ίδιο ύψος ή πλάτος, καθώς και το ίδιο άνοιγμα ή συχνότητα.

Μια άλλη μορφή των ψηφιακών σημάτων φαίνεται στο σχήμα 1.9β. Σ' αυτή την περίπτωση ισχύουν τρεις συνθήκες: η παρουσία της θετικής τάσης των  $+15$  Volt παριστάνει την κατάσταση *on* ή τη λογική συνθήκη *0*, η παρουσία της αρνητικής τάσης των  $-15$  Volt παριστάνει την κατάσταση *off* ή τη λογική συνθήκη *1*, ενώ η απουσία τάσης παριστάνει τη μη ορισμένη κατάσταση. Αυτή η μορφή των ψηφιακών σημάτων χρησιμοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους σε μονάδες επικοινωνιακού εξοπλισμού.



Σχήμα 1.9α: Ψηφιακό σήμα με παρουσία δύο συνθηκών





Σχήμα 1.9β: Ψηφιακό σήμα με παρουσία τριών συνθηκών



Το φασματικό εύρος μιας γραμμής μετάδοσης είναι το διάστημα των συχνοτήτων μέσα στο οποίο μεταδίδεται ικανοποιητικά το σήμα.

Όπως θα δούμε στη συνέχεια, η έννοια της μετατόπισης της φάσης, που καθορίζει το σημείο από το οποίο αρχίζει ο κύκλος της ημιτονοειδούς καμπύλης, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην κατανόηση των ψηφιακών σημάτων. Συνήθως η μετατόπιση φάσης παριστάνεται με ένα διπλό δυαδικό ψηφίο. Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.8γ, όπου παρουσιάζονται τέσσερις διαφορετικοί κύκλοι που αρχίζουν σε τέσσερις χωριστές φάσεις των  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  και  $270^\circ$  ο καθένας, η μετατόπιση των φάσεων παριστάνονται με 00, 01, 10 και 11 αντί-

στοιχα. Σημειώνουμε ότι η μετατόπιση της φάσης χρησιμοποιείται ευρύτατα στη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας.

Χαρακτηριστικό των ψηφιακών σημάτων είναι το μεγάλο φασματικό εύρος τους, με αποτέλεσμα να μεταδίδονται δύσκολα μέσα από το τηλεφωνικό δίκτυο. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα των ορατών συχνοτήτων (οπτικά σήματα) που διακινούνται με οπτικές ίνες.

### 1.1.4\* Μαθηματική παράσταση του σήματος

Η μαθηματική έκφραση του αρμονικού σήματος είναι μια συνεχής συνάρτηση δύο μεταβλητών, του χρόνου  $t$  και του μέγιστου πλάτους  $A$ , ονομάζεται ημιτονοειδής<sup>1</sup> και παριστάνεται από την εξίσωση:

$$a = A \eta \mu(2\pi \nu t + \phi)$$

<sup>1</sup> Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.10, για κάθε γωνία ή τόξο  $\omega$ , που είναι ένας πραγματικός αριθμός, ορίζεται η συνάρτηση ημίτονο (αντίστοιχα συνημίτονο), που συμβολίζεται με  $\eta \mu$  (αντίστοιχα  $\sigma \upsilon \nu \eta \mu$ ), σύμφωνα με την οποία η γωνία ή το τόξο  $\omega$  αντιστοιχούν σε μία μόνο τιμή, τον πραγματικό αριθμό  $\eta \mu \omega$  (αντίστοιχα  $\sigma \upsilon \nu \eta \mu \omega$ ), ο οποίος ισούται με την προβολή της διανυσματικής ακτίνας της γωνίας ή του τόξου επί τον άξονα  $x$  (αντίστοιχα  $y$ ). Επομένως οι δυνατές τιμές των  $\eta \mu \omega$  και  $\sigma \upsilon \nu \eta \mu \omega$  θα κυμαίνονται στο διάστημα  $[-1, 1]$ .

Υπάρχουν άπειρες γωνίες που έχουν την ίδια αρχική και τελική πλευρά, ή τόξα που έχουν την ίδια αρχή και τέλος. Για παράδειγμα, αν  $\mu^\circ$  σε μοίρες ή  $\phi$  σε ακτίνια είναι το μέτρο του τόξου αρχής  $A$  και τέλους  $B$ , τότε υπάρχουν άπειρα τριγωνομετρικά τόξα που έχουν την ίδια αρχή  $A$  και τέλος  $B$ , αλλά με διαφορετικά μέτρα που δίνονται από τις σχέσεις:  $\omega = \mu^\circ + 360k$  (σε μοίρες) και  $\omega = \phi + 2\pi k$  (σε ακτίνια), όπου  $k$  ακέραιος. Και επειδή ως μέτρο γωνίας ορίζεται το μέτρο του αντίστοιχου τόξου της, όταν η γωνία γίνει επίκεντρη, οι παραπάνω σχέσεις δίνουν και το μέτρο όλων των αντίστοιχων γωνιών. Τέλος, επειδή η συνάρτηση ημίτονο είναι περιοδική με περίοδο  $2\pi$ , δηλαδή  $\eta \mu(2\pi + x) = \eta \mu(2\pi - x) = \eta \mu x$ , η γραφική της παράσταση θα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.10: Ο τριγωνομετρικός κύκλος



## Μάθημα 1.2: Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης

### 1.2.1 Εισαγωγή

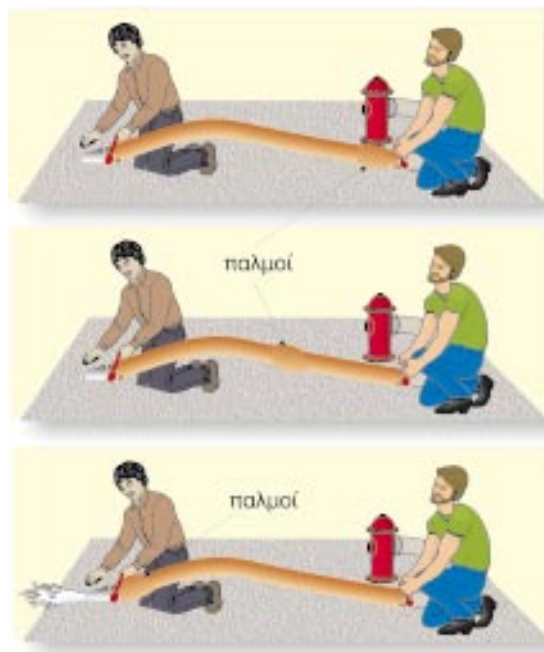
Κάθε πληροφορία, προκειμένου να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό της, πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποιο ελαστικό μέσο, που λέγεται και **μέσο μετάδοσης**. Το μέσο μετάδοσης παρέχει ένα φυσικό δρόμο ή, αλλιώς, ένα κανάλι επικοινωνίας διαμέσου του οποίου θα σταλούν τα σήματα. Στο παράδειγμα που ακολουθεί δίνεται με έναν πιο κατανοητό τρόπο η έννοια του μέσου μετάδοσης χρησιμοποιώντας ένα φυσικό ανάλογο.

#### Παράδειγμα III

Το σχήμα 1.12 δείχνει ένα άτομο που στέλνει νερό σε κάποιο άλλο με τη βοήθεια ενός πυροσβεστικού σωλήνα, εκμεταλλευόμενο τα δύο έμβολα που έχει ο σωλήνας σε κάθε άκρο του. Το άτομο πιέζει και αφήνει διαδοχικά το πρώτο έμβολο που κρατάει στα χέρια του, παράγει δηλαδή παλμούς. Οι παλμοί αυτοί μεταδίδονται μέσω του σωλήνα και φτάνουν στο δεύτερο έμβολο του άλλου άκρου, δηλαδή στο άλλο άτομο. Αν ο σωλήνας ήταν τελείως άκαμπος, το νερό τελείως ασυμπίεστο και η κίνησή του χωρίς τριβή, τότε η κίνηση του δεύτερου εμβόλου θα ακολουθούσε με ακρίβεια την κίνηση του πρώτου εμβόλου. Ωστόσο ο σωλήνας είναι ελαστικός, το νερό περιέχει φυσαλίδες, άρα είναι ως ένα βαθμό συμπίεστο, και η κίνηση του νερού προκαλεί τριβή, με αποτέλεσμα να μην μπορεί το έμβολο να μεταδίδει παλμούς με απεριόριστη ταχύτητα.

Για να επανέλθουμε στην περίπτωση μας ο πυροσβεστικός σωλήνας παριστάνει τη γραμμή επικοινωνίας (π.χ. καλώδιο) και το νερό τα σήματα. Οι γραμμές επικοινωνίας έχουν ιδιότητες (χαρακτηριστικά) που είναι ανάλογες με αυτές του σωλήνα.

Από το παραπάνω παράδειγμα προκύπτει ότι κάθε πηγή εκπέμπει σε ορισμένες συχνότητες, οι οποίες καθορίζουν τη **ζώνη εκπομπής** της. Οι συχνότητες αυτές ορίζονται από τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα που μπορεί η πηγή να εκπέμψει. Ως εκ τούτου κάθε μέσο μετάδοσης αναλογικών σημάτων είναι σχεδιασμένο για ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων το οποίο καθορίζει και το **εύρος ζώνης** (*bandwidth*) του. Συνεπώς το εύρος ζώνης εκφράζει πάντα τη διαφορά



Σχήμα 1.12: Μηχανικό ανάλογο του μέσου μετάδοσης



ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα που μπορεί να εξασφαλίσει το μέσο μετάδοσης. Δηλαδή, εάν μία γραμμή είναι σχεδιασμένη για συχνότητες μεταξύ των 80.300 και 83.400 Hz, αυτή θα έχει εύρος ζώνης 3.100 Hz.

### Παράδειγμα IV

Τα τηλεφωνικά καλώδια έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να έχουν εύρος ζώνης περίπου 3.000 Hz, δηλαδή συχνότητα από 300 έως 3.400 Hz. Αυτό συμβαίνει, γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας της ανθρώπινης φωνής βρίσκεται συγκεντρωμένο μεταξύ αυτών των συχνοτήτων. Αυτό το εύρος ζώνης επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση, μέσω ενός φυσικού καναλιού, μεγάλου αριθμού συνδιαλέξεων, ενώ συγχρόνως εξασφαλίζει στον ομιλητή τη δυνατότητα να κατανοεί τα λεγόμενα και να αναγνωρίζει τη φωνή του συνομιλητή του. Όμως, στην πραγματικότητα, το εύρος ζώνης του τηλεφωνικού καναλιού είναι κάτι παραπάνω από 3 KHz.

Αν το εύρος ζώνης ενός φυσικού καναλιού επιμεριστεί σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερου εύρους, οι ζώνες αυτές ονομάζονται **λογικά κανάλια**.

Από το παραπάνω παράδειγμα προκύπτει ότι είναι αναγκαίο το εύρος ζώνης να επιμερίζεται σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερου εύρους, που ονομάζονται **λογικά κανάλια**. Αυτά τα κανάλια υποδιαιρούνται σε κάποιες επιπλέον συχνότητες, ώστε να εξασφαλίζεται ένας ικανοποιητικός μεταξύ τους διαχωρισμός με την όσο το δυνατόν μικρότερη επικάλυψη.

Το εύρος ζώνης ενός αναλογικού μέσου μετάδοσης αναφέρεται στο εύρος συχνοτήτων στο οποίο αυτό μεταδίδει και δεν έχει καμιά σχέση με τις πραγματικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση. Για παράδειγμα, το ραδιόφωνο στα FM έχει δυνατότητα αναπαραγωγής ήχων που βρίσκονται μέσα στο εύρος των 30 έως 18.000 Hz περίπου. Στην πραγματικότητα όμως τα FM κύματα δε μεταδίδονται σ' αυτές τις συχνότητες αλλά στη συχνότητα της περιοχής των 100 MHz. Μια ανάλογη κατάσταση ισχύει και για τα μέσα υψηλών συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση τηλεφωνικών σημάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτών των μέσων θα τα εξετάσουμε στα αμέσως επόμενα μαθήματα.

Ωστόσο οι περισσότερες από τις γραμμές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση μηνυμάτων δεν είναι κατάλληλες για ψηφιακή μετάδοση. Το πιο διαδεδομένο κανάλι επικοινωνίας δεδομένων είναι το κοινό τηλεφωνικό κύκλωμα, το οποίο όμως έχει ως κύριο σκοπό τη μετάδοση της ανθρώπινης φωνής, που είναι αναλογικό σήμα, και όχι τα υπολογιστικά δεδομένα, που είναι ψηφιακό σήμα. Το φως, ο ήχος, τα ραδιοφωνικά κύματα και όλα τα αναλογικά σήματα που περνούν από τα καλωδιακά μέσα μετάδοσης περιγράφονται βάσει των συχνοτήτων. Σ' αυτά τα μέσα μετάδοσης το πλάτος του σήματος σε ένα συγκεκριμένο σημείο ταλαντώνεται γρήγορα.

Στην ψηφιακή μετάδοση η **χωρητικότητα** (*capacity*) ενός αναλογικού μέσου εκφράζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορούμε να στείλουμε ή να πάρουμε χωρίς **σφάλμα** κάποια πληροφορία από αυτό και έχει στενή σχέση με το εύρος ζώνης του. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων. Στα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων η χωρητικότητα μετριέται σε **δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο** (*bps: bits per seconds*) ή σε πολλαπλάσιά τους. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται



**Σφάλμα** ονομάζεται οποιαδήποτε φυσική ή τεχνική αιτία που έχει ως αποτέλεσμα ο δέκτης να μην μπορεί να αναπαραγάγει την αρχική πληροφορία που στέλνει η πηγή.

σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- ✓ Μέσα μετάδοσης **στενής ζώνης** (*narrowband*), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 45 έως 600 bps. Τα μέσα αυτά δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα, για να μεταδώσουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις. Τέτοιες γραμμές συναντώνται συνήθως σε τηλεγραφικά κυκλώματα.
- ✓ Μέσα μετάδοσης **βασικής ζώνης** (*baseband*), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 1.200 έως 33.600 bps. Τυπικά χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία για τη μετάδοση σημάτων φωνής.
- ✓ Μέσα μετάδοσης **ευρείας ζώνης** (*broadband*), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 48.000 bps έως 1,5 Mbps. Η χωρητικότητά τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος τους, μπορεί όμως και να υποδιαιρεθούν σε λογικά κανάλια μικρότερης χωρητικότητας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε τηλεφωνικές συνδιαλέξεις ή στη μετάδοση σημάτων χαμηλότερων ρυθμών μετάδοσης.

Όπως είναι γνωστό, η επικοινωνία μπορεί να είναι ενσύρματη ή ασύρματη. Στην πρώτη μορφή το μέσο μετάδοσης είναι το καλώδιο, ενώ στη δεύτερη η γήινη ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, λόγω της σπουδαιότητας των μέσων μετάδοσης στην επικοινωνία, θα μελετηθούν διεξοδικότερα και ανά κατηγορία τα μέσα μετάδοσης και θα καταδειχθεί η πρακτική τους αξία.

Στο χώρο των υπολογιστών χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι πολλαπλασιαστικοί παράγοντες:

T	Tera	$2^{40} \approx 10^{12}$
G	Giga	$2^{30} \approx 10^9$
M	Mega	$2^{20} \approx 10^6$
K	Kilo	$2^{10} \approx 10^3$
m	milli	$10^{-3}$
μ	micro	$10^{-6}$
n	nano	$10^{-9}$
p	pico	$10^{-12}$

1 Kbps  $\approx 10^3$  bps

1 Mbps  $\approx 10^6$  bps

1 Gbps  $\approx 10^9$  bps

1 Tera  $\approx 10^{12}$  bps

## 1.2.2 Ενσύρματα μέσα μετάδοσης

Τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης διακρίνονται στα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, στα ομοαξονικά καλώδια και στις οπτικές ίνες. Τα μέσα αυτά περιγράφονται στη συνέχεια.

### 1.2.2.1 Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων

Το παλαιότερο και πιο συνηθισμένο μέσο μετάδοσης είναι το **συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων** (*TP: Twisted Pair*). Αποτελείται από σύρματα με πυρήνα χαλκού, πάχους ενός περίπου χιλιοστού, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό. Αν δύο σύρματα συστραφούν το ένα γύρω από το άλλο, ώστε να πάρουν ελικοειδές σχήμα, δημιουργούν κύκλωμα το οποίο μπορεί να μεταφέρει δεδομένα. Ένα καλώδιο αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια ζεύγη, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό, και υπάρχει σε δύο μορφές: το **αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους** (*UTP: Unshielded Twisted Pair*), συνηθισμένο στα τηλεφωνικά δίκτυα, και το **θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους** (*STP: Shielded Twisted Pair*), που παρέχει προστασία από θόρυβο ή παρεμβολές. Το *UTP* καθορίζεται από την τυποποίηση *EIA/TIA-568* (και τη νεότερη *568A*) και χωρίζεται σε κατηγορίες από 1 έως 5, ανάλογα με το πόσο σφιχτό είναι το πλέξιμο των καλωδίων (σχήμα 1.13). Το σφιχτό πλέξιμο επιτρέπει γρηγορότερους ρυθμούς μετάδοσης και μείωση των παρεμβολών και των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε κοντινά όμοια ζεύγη.

Με τον όρο **τυποποίηση** εννοείται η διατύπωση κανόνων λειτουργίας και διασύνδεσης που είναι αποδεκτοί από όλους τους χρήστες και τους κατασκευαστές, με σκοπό την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών υπολογιστικών συστημάτων.

Δύο παράλληλα καλώδια συνθέτουν μια απλή κεραία. Όμως αυτό δε συμβαίνει σε ένα συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων.





Σε περιορισμένες αποστάσεις (λίγα χιλιόμετρα) η χωρητικότητα των καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών μπορεί να φτάσει σε αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (έως 100 Mbps). Η προσπάθεια υποστήριξης ρυθμών μετάδοσης που φτάνουν το 1 Gbps έχει οδηγήσει στην κατασκευή *UTP* καλωδίων κατηγορίας 6 και 7.



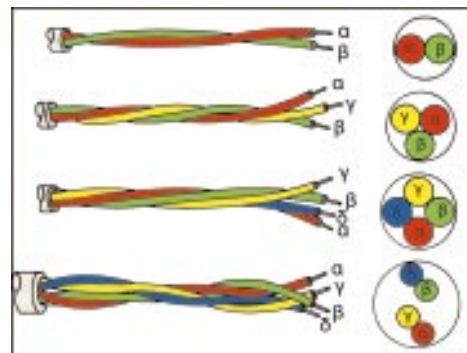
Ένα  $\Omega m$  είναι η ηλεκτρική αντίσταση του αγωγού μεταξύ δύο σημείων στα οποία εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 1 Volt και παράγει στον αγωγό ρεύμα ισχύος ενός Ampere.



Ένα χαρακτηριστικό του σήματος είναι η εξασθένηση που υφίσταται, όταν διανύει μεγάλες αποστάσεις. Γενικά, ένα σήμα μπορεί να ενισχυθεί με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων δικτυακού εξοπλισμού, τους ενισχυτές ή αναμεταδότες.

Οι κατηγορίες καλωδίων που ορίζει η τυποποίηση *EIA/TIA-568* και αφορούν τους υπολογιστές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Κατηγορία 1 (category 1).** Πρόκειται για το παραδοσιακό αθωράκιστο τηλεφωνικό καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους συρμάτων (*UTP*), που είναι κατάλληλο μόνο για φωνή αλλά όχι για δεδομένα.
- ✓ **Κατηγορία 2 (category 2).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP* που έχει θεωρηθεί αξιόπιστο για μεταδόσεις έως 4 Mbps. Το καλώδιο αυτό έχει τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων και είναι αρκετά φθηνό.
- ✓ **Κατηγορία 3 (category 3).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP* που υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 10 Mbps και χρησιμοποιείται κυρίως σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Το καλώδιο αυτό έχει τέσσερα ζεύγη συρμάτων και δέκα στροφές ανά μέτρο.
- ✓ **Κατηγορία 4 (category 4).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP*, που είναι πιστοποιημένο για ρυθμούς μετάδοσης 16 Mbps και χρησιμοποιείται κυρίως σε ορισμένα τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Το καλώδιο αυτό έχει τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων.
- ✓ **Κατηγορία 5 (category 5).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP*, που υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 100 Mbps. Αποτελείται από τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων, αντίστασης 100  $\Omega m$ . Υποστηρίζει τις νεότερες τεχνολογίες δικτύων υψηλών επιδόσεων και δικτύων ευρείας περιοχής. Το καλώδιο αυτό έχει υψηλή χωρητικότητα και παρουσιάζει χαμηλή επικάλυψη (όταν συμβεί το ένα σήμα να πέσει επάνω στο άλλο).



Σχήμα 1.13: Δείγματα καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών διαφορετικών πλέξεων

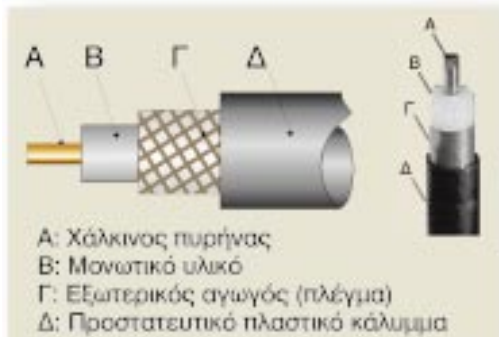
Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή του συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων είναι το τηλεφωνικό σύστημα. Σχεδόν όλα τα τηλέφωνα συνδέονται με τα τηλεφωνικά κέντρα διαμέσου καλωδίων *UTP*. Τα καλώδια αυτά μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης της τάξης αρκετών Mbps με σχετικά χαμηλό κόστος και να διατρέξουν αρκετά χιλιόμετρα, χωρίς να χρειαστεί να ενισχυθεί το σήμα που εξασθενεί.

Σήμερα αρκετά κτίρια κατασκευάζονται με καλωδίωση *UTP* κατηγορίας 5 που μπορεί να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης έως 100 Mbps. Λόγω της ικανοποιητικής απόδοσης και του χαμηλού κόστους τους τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων χρησιμοποιούνται ευρύτατα και πιθανόν να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια ακόμα.

### 1.2.2.2 Ομοαξονικό καλώδιο

Το ομοαξονικό καλώδιο έχει ρυθμούς μετάδοσης παρόμοιους με το καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους το οποίο χρησιμοποιείται στα τηλεφωνικά ή στα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα. Ωστόσο το ομοαξονικό καλώδιο παρέχει καλύτερη θωράκιση από τα θωρακισμένα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών (STP), με αποτέλεσμα να έχει δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα οι νέες τυποποιήσεις συστημάτων δομημένης καλωδίωσης απαιτούν καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους ή οπτικής ίνας που προορίζεται για ψηφιακή μετάδοση, αφού τα μέσα αυτά μπορούν να μεταδίδουν σε ρυθμούς που κυμαίνονται από 100 Mbps έως 1 Gbps, δηλαδή 10 έως 100 φορές υψηλότερα από τους αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης του ομοαξονικού καλωδίου. Τα ομοαξονικά καλώδια κυκλοφορούν στο εμπόριο σε δύο μορφές, οι οποίες παρά τις κατασκευαστικές τους ομοιότητες έχουν διαφορετικές εφαρμογές. Οι μορφές αυτές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Το **ομοαξονικό καλώδιο βασικής ζώνης** (*baseband coaxial cable*), που αποτελείται από ένα δύσκαμπτο χάλκινο σύρμα, τον πυρήνα, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Το μονωτικό υλικό περιβάλλεται, με τη σειρά του, από έναν εξωτερικό αγωγό (μεταλλικό μανδύα), που έχει συνήθως τη μορφή πλέγματος. Ο εξωτερικός αγωγός, τέλος, περιβάλλεται από ένα προστατευτικό πλαστικό κάλυμμα. Μια τομή ενός τέτοιου καλωδίου φαίνεται στο σχήμα 1.14. Είναι διαθέσιμο στο



Σχήμα 1.14: Το ομοαξονικό καλώδιο

- ✓ Το **ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης** (*broadband coaxial cable*), που είναι το τυποποιημένο ομοαξονικό καλώδιο αναλογικής μετάδοσης της καλωδιακής τηλεόρασης. Υποστηρίζει συχνότητες ευρείας ζώνης που φθάνουν μέχρι τα 450 MHz καλύπτοντας αποστάσεις έως 100 km.

Το ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης έχει τη δυνατότητα να χωριστεί σε πολλά κανάλια εύρους ζώνης 6 MHz συνήθως, από τα οποία άλλα χρησιμοποιούνται για τηλεοπτική μετάδοση, άλλα για μετάδοση δεδομένων και άλλα στην τηλεφωνία. Η ουσιαστική διαφορά τους από τα ομοαξονικά καλώδια βασικής ζώνης είναι ότι χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις που καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις και επομένως

Για ομοαξονικά καλώδια του ενός χιλιομέτρου είναι εφικτός ένας ρυθμός μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 10 Mbps.

Η **δομημένη καλωδίωση** είναι το είδος της καλωδιακής εγκατάστασης που πρέπει να χρησιμοποιείται στις νέες οικοδομικές κατασκευές. Πρόκειται για εύκολα διαχειρίσιμη καλωδιακή εγκατάσταση, η οποία μπορεί να υποστηρίξει μελλοντική ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων, ιδιαίτερα εντός των κτιριακών εγκαταστάσεων, παρέχοντας τις κατευθυντήριες γραμμές για όλες τις καλωδιώσεις επικοινωνιών.

Ο όρος **ευρεία ζώνη** προέρχεται από το χώρο της τηλεφωνίας και αναφέρεται σε μέσο μετάδοσης ευρύτερο των 4 KHz. Αντίθετα, στο χώρο των δικτύων Η/Υ ο όρος αυτός αναφέρεται σε εκπομπή καλωδιακού μέσου αναλογικής μετάδοσης.



απαιτούν ισχυρούς ενισχυτές. Όμως οι αναλογικοί ενισχυτές μπορούν να μεταδώσουν προς μία μόνο κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να απαιτείται είτε διπλή καλωδίωση είτε χρησιμοποίηση δύο διαφορετικών συχνοτήτων ανά κατεύθυνση.

Τα ομοαξονικά καλώδια ευρείας ζώνης είναι, από τεχνική άποψη, κατώτερα των καλωδίων βασικής ζώνης, όμως είναι τόσο διαδεδομένη η χρήση τους, ώστε οι εταιρείες καλωδιακής τηλεόρασης αναμένεται ότι πολύ σύντομα θα είναι σε θέση να τα χρησιμοποιούν για την παροχή υπηρεσιών τηλεφώνου και για τη μετάδοση δεδομένων.

### 1.2.2.3 Οπτικές ίνες

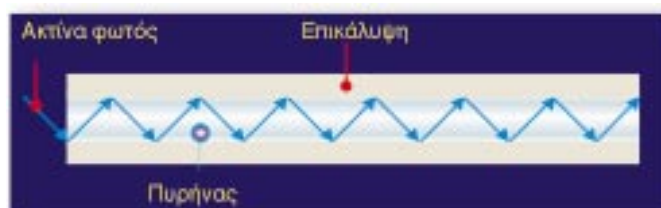


Οι οπτικο-ηλεκτρονικοί συζευκτές παίρνουν τα ηλεκτρικά σήματα που δημιουργούνται από τους υπολογιστές και τα χρησιμοποιούν άμεσα για τη δημιουργία παλμών φωτός, οι οποίοι αναπαριστούν την ίδια την πληροφορία.

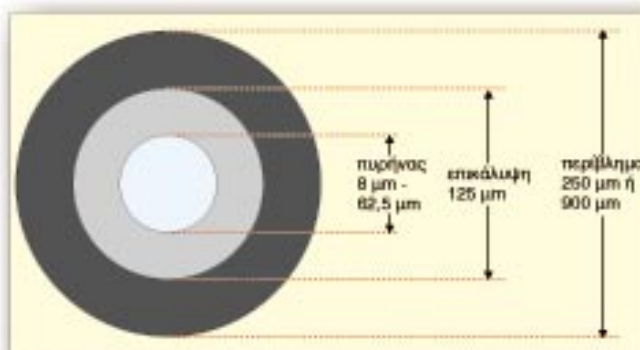
Με τις οπτικές ίνες η μεταφορά των πληροφοριών γίνεται με παλμούς φωτός και όχι με ηλεκτρικά σήματα (σχήμα 1.15). Ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης συνίσταται από τρία στοιχεία, την πηγή, το μέσο μετάδοσης, που είναι η οπτική ίνα, και τους οπτικο-ηλεκτρονικούς συζευκτές. Στην απλούστερη των περιπτώσεων η πηγή προσαρμόζεται στο ένα άκρο της οπτικής ίνας και ο συζευκτής στο άλλο. Οι παλμοί του φωτός μεταδίδονται διαμέσου της οπτικής ίνας στο άλλο άκρο, όπου ο συζευκτής τους μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Σημειώνουμε ότι κάθε παλμός φωτός αντιπροσωπεύει το δυαδικό ψηφίο 1, ενώ η απουσία παλμού το δυαδικό ψηφίο 0.

Στην περίπτωση μας όμως τα δεδομένα δημιουργούνται από υπολογιστές και επομένως τα ηλεκτρικά σήματα θα πρέπει να μετατραπούν σε παλμούς φωτός. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί και πάλι από το συζευκτή, ο οποίος τώρα παίρνει τα ηλεκτρικά σήματα που δημιουργούνται από τον υπολογιστή και τα χρησιμοποιεί άμεσα για τη δημιουργία παλμών φωτός, οι οποίοι αναπαριστούν την ίδια την πληροφορία. Φυσικά η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται από έναν άλλο συζευκτή, ο οποίος βρίσκεται στο άλλο άκρο της οπτικής ίνας και μετατρέπει τους παλμούς φωτός στα αρχικά ηλεκτρικά σήματα που στάλθηκαν.

Το φως μεταδίδεται προς μία πάντα κατεύθυνση μέσα από τον **πυρήνα** της οπτικής ίνας, ο οποίος είναι ένα κυλινδρικό συνεχόμενο νήμα γυαλιού ή πλαστικού. Ο πυρήνας περιβάλλεται από μια μονωτική **επικάλυψη** και αυτή με τη σειρά της από



Σχήμα 1.15: Μετάδοση του φωτός μέσα σε μια οπτική ίνα

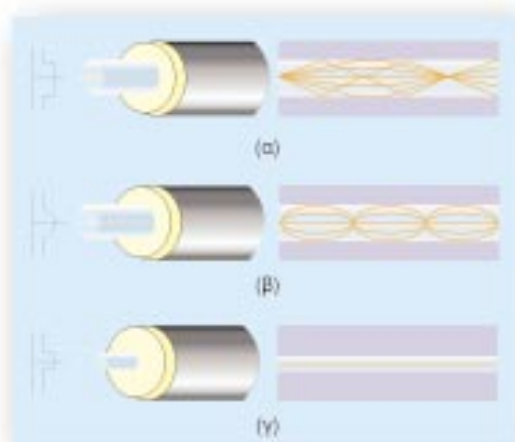


Σχήμα 1.16: Οπτική ίνα

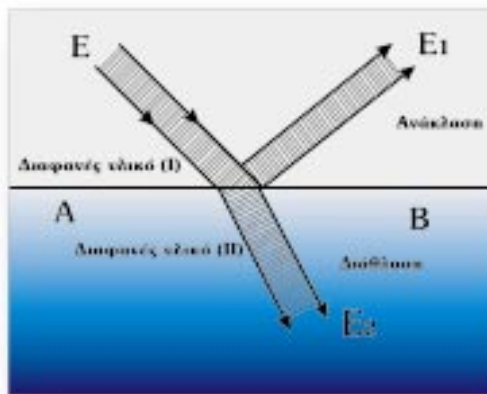


ένα ειδικό προστατευτικό **περίβλημα** (σχήμα 1.16). Ο πυρήνας και η μονωτική επικάλυψη είναι φτιαγμένοι από υλικά με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, έτσι ώστε ο δείκτης ανάκλασης του φωτός στον πυρήνα να είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν στην επικάλυψη. Αυτό προκαλεί τις συνεχόμενες ανακλάσεις του φωτός μέσα στον κυλινδρικό πυρήνα (σχήμα 1.17). Επειδή ο αγωγός από γυαλί είναι μονόπλευρης κατεύθυνσης και προκειμένου να εξασφαλιστεί η μετάδοση και από τα δύο άκρα, το οπτικό καλώδιο αποτελείται από περισσότερες από μία ανεξάρτητες οπτικές ίνες. Λόγω του ότι κάθε οπτική ίνα είναι πολύ λεπτή και ελαφριά, το οπτικό καλώδιο είναι πολύ λεπτότερο και ελαφρύτερο σε σχέση με τα καλώδια άλλων υλικών κατασκευής.

Οι τύποι καλωδίωσης της οπτικής ίνας ποικίλλουν ανάλογα με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και τη χωρητικότητα μετάδοσης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα



Σχήμα 1.18: Τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στη μετάδοσης του φωτός: πολύτροπες (α), μονότροπες (β), μονότροπες (γ).



Σχήμα 1.17: Φαινόμενο της διάθλασης - ανάκλασης του φωτός

1.18, ανάλογα με το δείκτη ανάκλασης και ορισμένα χαρακτηριστικά της οπτικής διάδοσης οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε **μονότροπες** (*single-mode*) και **πολύτροπες** (*multi-mode*).

Επειδή το σύστημα οπτικής μετάδοσης δεν παρουσιάζει παρεμβολές από ηλεκτρικά ρεύματα, η οπτική ίνα έχει δυνατότητα υψηλών ρυθμών μετάδοσης σε πολύ μακρινές αποστάσεις, οι οποίοι σήμερα φθάνουν τα 2 Gbps. Έτσι με τη χρήση των οπτικών ινών ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων εκατονταπλασιάστηκε μέσα σε μια δεκαετία, ενώ η υπολογιστική ισχύς των υπολογιστών δεκαπλασιάστηκε στο ίδιο χρονικό διάστημα.

**Διάθλαση** (σχήμα 1.17) λέγεται το φαινόμενο της αλλαγής της κατεύθυνσης (E) του φωτός, όταν αυτό προσέρχεται από το διαφανές υλικό (I) διαπερνώντας το διαφανές υλικό (II) στο οποίο προσπίπτει με κατεύθυνση (E<sub>1</sub>). Ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού (II). Ειδικά στην περίπτωση της οπτικής ίνας το ποσοστό του φωτός που διαθλάται είναι μικρότερο του 10%.

Όταν το φως, διαπερνώντας το διαφανές υλικό (I) με κατεύθυνση (E), δεν μπορεί να διαπεράσει το διαφανές υλικό (II) στο οποίο προσπίπτει, επιστρέφει με διαφορετική κατεύθυνση (E<sub>2</sub>) στο διαφανές υλικό (I). Το φαινόμενο αυτό λέγεται **ανάκλαση** (σχήμα 1.17). Ο δείκτης ανάκλασης εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού (I). Ειδικά στην περίπτωση της οπτικής ίνας το ποσοστό του φωτός που ανακλάται πλησιάζει το 100%.

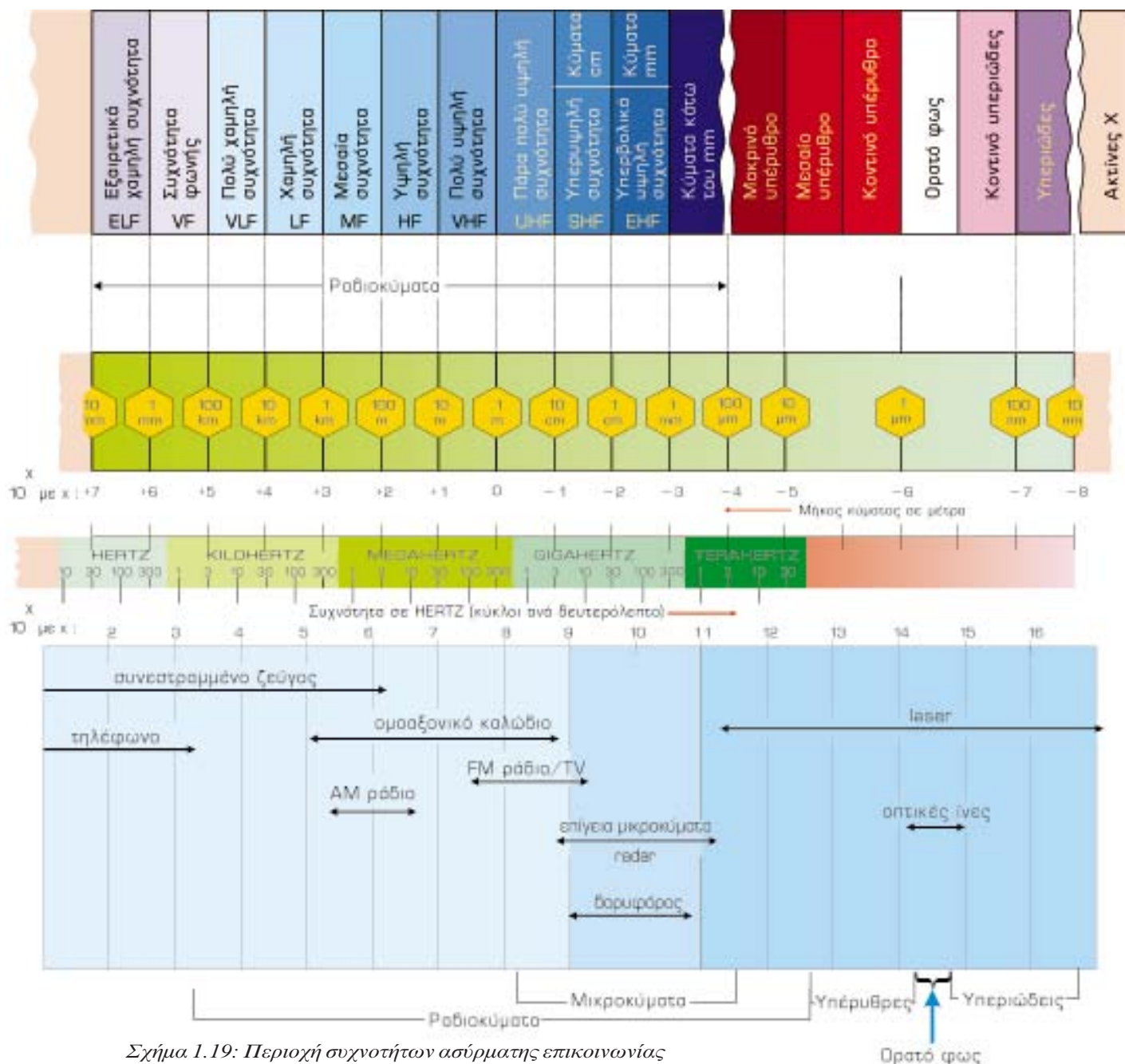
### 1.2.3 Ασύρματα μέσα μετάδοσης

Οι ασύρματες μεταδόσεις δεν απαιτούν καλωδιακό μέσο για την επικοινωνία. Το μέσο μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι η γήινη ατμόσφαιρα ή το διάστημα. Η περιοχή των συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στα ασύρματα συστήματα κυμαίνεται



από 10 KHz έως 40 GHz περίπου και με την εισαγωγή των λέιζερ φθάνει ως την περιοχή των οπτικών κυμάτων. Οι συχνότητες αυτές κατανέμονται όπως δείχνει το σχήμα 1.19.

Η ασύρματη επικοινωνία πραγματοποιείται είτε μεταξύ δύο σταθερών σημείων είτε μεταξύ δύο σημείων από τα οποία το ένα ή και τα δύο βρίσκονται σε κίνηση. Οι ασύρ-



Σχήμα 1.19: Περιοχή συχνοτήτων ασύρματης επικοινωνίας



ματες μεταδόσεις με οπτική επαφή στηρίζονται στις υπέρυθρες ακτίνες, στην τεχνολογία των λέιζερ, στα μικροκύματα, καθώς και σε ορισμένες περιοχές του ραδιοφωνικού φάσματος. Σημειώνεται ότι η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ σταθερών σημείων, σε συνδυασμό με την ενσύρματη, καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της τηλεφωνικής κίνησης των υπεραστικών δικτύων. Ειδικότερα, η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται με τις μικροκυματικές ζεύξεις οπτικής επαφής, με τροποσφαιρικές ζεύξεις πέρα από τον ορίζοντα, καθώς και με ραδιοφωνικές ή δορυφορικές ζεύξεις.



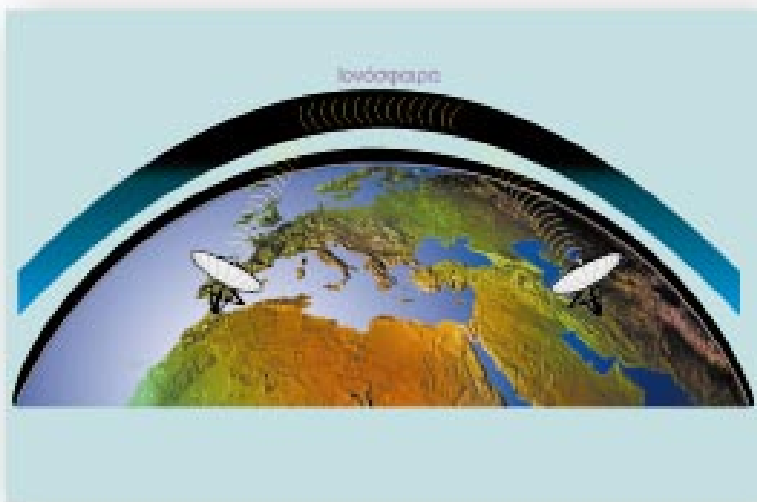
Σχήμα 1.20: Μετάδοση επιφανειακών κυμάτων

Όπως είναι γνωστό, η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από κάποιον πομπό δεν είναι πάντα ευθύγραμμη. Τα κύματα που ακολουθούν την καμπυλότητα της Γης και επομένως μεταδίδονται στην επιφάνειά της λέγονται **επιφανειακά κύματα** και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη ραδιοφωνία (σχήμα 1.20). Παράδειγμα επιφανειακών

κυμάτων αποτελούν τα μακρά και μεσαία ραδιοκύματα. Όμως όσο το κύμα απομακρύνεται από τον πομπό, τόσο ελαττώνεται η έντασή του, με αποτέλεσμα σε μεγάλες αποστάσεις να έχει εξασθενήσει, να έχει χάσει δηλαδή ένα μεγάλο μέρος της έντασής του.

Εκτός από τα επιφανειακά κύματα υπάρχουν και τα **κύματα χώρου**, τα οποία ανακλώνται στην ιονόσφαιρα, που είναι ένα αγωγίμο στρώμα της ατμόσφαιρας (σχήμα 1.21). Τα κύματα χώρου, αφού ανακλαστούν στην ιονόσφαιρα, επιστρέφουν στο έδαφος έχοντας διανύσει μεγάλες αποστάσεις χωρίς η έντασή τους να έχει ελαττωθεί τόσο όσο στην περίπτωση των επιφανειακών κυμάτων. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, στην κατηγορία των κυμάτων χώρου ανήκουν τα βραχεία κύματα της ραδιοφωνίας. Τα επιφανειακά κύματα των βραχέων κυμάτων απορροφώνται, ενώ τα κύματα χώρου υφίστανται διαδοχικές ανακλάσεις στην ιονόσφαιρα, χωρίς να εξέρχονται από την ατμόσφαιρα.

Η γήινη ατμόσφαιρα περιλαμβάνει τρία κύρια στρώματα, την τροπόσφαιρα, με ύψος περίπου 15 km από την επιφάνεια της Γης, τη στρατόσφαιρα, με εύρος που κυμαίνεται από 15 έως 70 km περίπου, καθώς και την ιονόσφαιρα, με εύρος από 70 έως 700 km περίπου. Από τα τρία στρώματα η ιονόσφαιρα έχει τη μεγαλύτερη σημασία για την ηλεκτρομαγνητική μετάδοση, αφού στην περιοχή των 80 έως 300 km αυτού του στρώματος ανακλάται, διαθλάται και απορροφάται ο κύριος όγκος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



Σχήμα 1.21: Μετάδοση κυμάτων χώρου

### 1.2.3.1 Ραδιοκύματα

Τις πιο γνωστές περιπτώσεις ασύρματων μέσων μετάδοσης αποτελούν οι **ραδιοσυχνότητες** (RF: Radio-Frequencies), οι οποίες έχουν ευρύτατη εφαρμογή, όπως είναι για παράδειγμα είναι η ασύρματη σταθερή ή κινητή τηλεφωνία, η παράκτια επικοινωνία



Όταν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα τα ηλεκτρόνια ρέουν και προς τις δύο κατευθύνσεις, το παραγόμενο ρεύμα λέγεται **εναλλασσόμενο**.



Η κίνηση ενός σύρματος στο πεδίο ενός μαγνήτη προκαλεί τη δημιουργία εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διαρρέει το σύρμα και λέγεται ρεύμα **εξ επαγωγής**.



Τα **μακρά** ραδιοφωνικά κύματα μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ τα **μεσαία** μεταδίδονται σε μικρότερες. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη μετάδοση μικρής έως μεσαίας εμβέλειας ραδιοφωνικών προγραμμάτων.

Στα **βραχεία** κύματα η απορρόφηση των κυμάτων επιφάνειας είναι πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα αυτά να μεταδίδονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη μετάδοση διηπειρωτικών ραδιοφωνικών προγραμμάτων.

νία, η ραδιοεπικοινωνία, η ραδιοφωνία, η ασύρματη τηλεοπτική μετάδοση κτλ. Για τη μετάδοση των σημάτων αυτών χρησιμοποιείται μια κεραία της οποίας το κύκλωμα διαρρέει εναλλασσόμενο ρεύμα, απελευθερώνοντας με αυτό τον τρόπο ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην ατμόσφαιρα. Στο άλλο άκρο ένα ασθενέστερο ηλεκτρικό ρεύμα, όπως αυτό που δημιουργήσε τα κύματα στον πομπό, παράγεται εξ επαγωγής στην κεραία λήψης, η οποία συλλέγει τα εκπεμπόμενα σήματα. Παρά το γεγονός ότι τα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιούνται σε πολλά είδη εκπομπών, συνηθίζεται να ονομάζονται **ραδιοκύματα** (*radio waves*). Τα ραδιοκύματα έχουν χαμηλότερες συχνότητες από τα μικροκύματα, διανύουν εκατοντάδες χιλιόμετρα, αλλά είναι αρκετά ευαίσθητα στις παρεμβολές. Προσφέρουν υψηλό βαθμό ευελιξίας<sup>3</sup>, μέτριες ταχύτητες και συνδέσεις κυμαινόμενης ποιότητας.

Ειδικότερα, τα ραδιοκύματα που χρησιμοποιούνται στην τηλεπικοινωνία εκπέμπονται από τις κεραίες (ηλεκτρικά δίπολα), όταν αυτές διεγείρονται κατάλληλα από τους πομπούς. Ανάλογα με το μήκος κύματός τους τα ραδιοκύματα υποδιαιρούνται στις παρακάτω κατηγορίες (ζώνες):

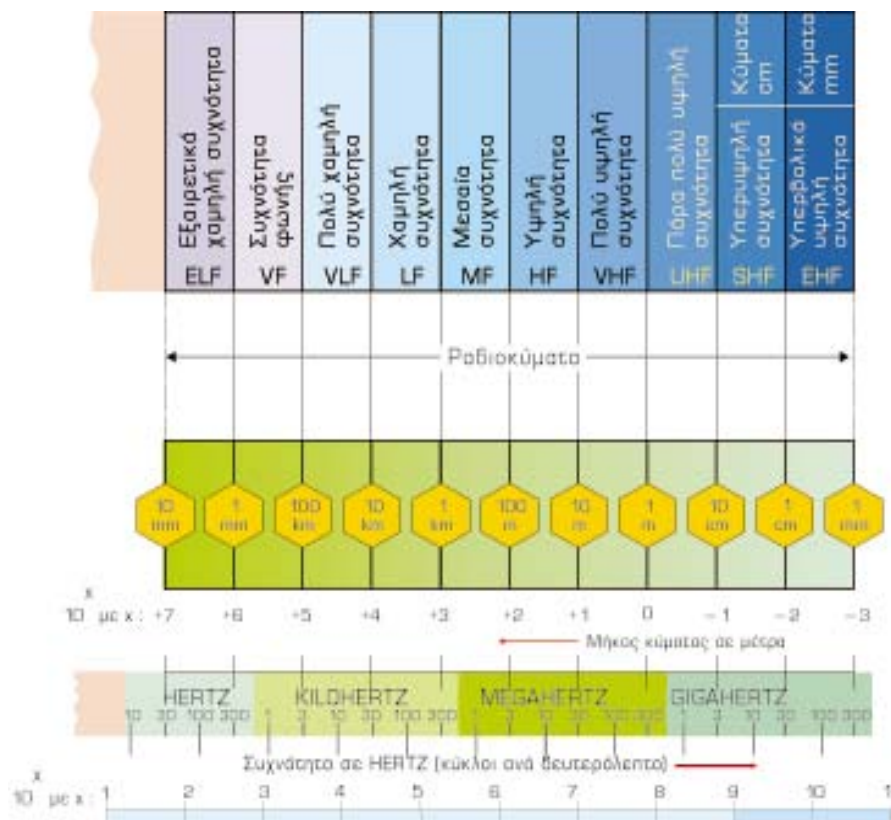
- ✓ **Υπερ-μακρά ή ζώνη πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF: Very Low Frequency):**  
λ από 10 έως 100 km, συχνότητα από 3 έως 30 KHz.
- ✓ **Μακρά ή ζώνη χαμηλής συχνότητας (LF: Low Frequency):**  
λ από 1 έως 10 km, συχνότητα από 30 έως 300 KHz.
- ✓ **Μεσαία ή ζώνη μεσαίας συχνότητας (MF: Medium Frequency):**  
λ από 100 m έως 1 km, συχνότητα από 300 KHz έως 3 MHz.
- ✓ **Βραχεία ή ζώνη υψηλής συχνότητας (HF: High Frequency):**  
λ από 10 έως 100 m, συχνότητα από 3 έως 30 MHz.
- ✓ **Υπερ-βραχεία ή ζώνη πολύ υψηλής συχνότητας (VHF: Very High Frequency):**  
λ από 1 έως 10 m, συχνότητα από 30 έως 300 MHz.

Ο κύριος όγκος των ραδιοσυχνοτήτων κυμαίνεται από 30 KHz έως 300 MHz. Όλες αυτές οι συχνότητες μπορούν να μεταφέρουν πληροφορίες, ενώ, για να διευκολυνθεί η κατανομή της χρήσης και ο έλεγχός τους, υποδιαιρούνται σε δέκα ζώνες (λογικά κανάλια), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.22. Από τις συχνότητες αυτές η ζώνη των πολύ υψηλών συχνοτήτων (*VHF*) χρησιμοποιείται στην τηλεόραση.

Ορισμένες συχνότητες έχουν δεσμευτεί με κυβερνητικές αποφάσεις για συγκεκριμένες χρήσεις επικοινωνίας (ήχου, εικόνας κτλ.). Αυτό οφείλεται τόσο στο γεγονός ότι κάποιες επηρεάζονται περισσότερο από παράγοντες όπως ο καιρός και οι αλλαγές στην ιονόσφαιρα όσο και στον απαιτούμενο έλεγχο των ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών.

<sup>3</sup> Η επικοινωνία δεν απαιτεί ο πομπός και ο δέκτης να έχουν μεταξύ τους οπτική επαφή.





Σχήμα 1.22: Ζώνες ραδιοσυχνοτήτων

Στην Ελλάδα οι ραδιοσταθμοί AM καθορίστηκε να εκπέμπουν από 530 έως 1.620 KHz, ενώ οι ραδιοσταθμοί FM από 87,5 έως 108 MHz. Ανάλογα, τα τηλεοπτικά κανάλια 5-12 καθορίστηκε να εκπέμπουν από 174 έως 230 MHz, ενώ τα κανάλια 21-66 από 470 έως 838 MHz. Τέλος, η κινητή τηλεφωνία (Panafon, Telestet) καθορίστηκε να εκπέμπει από 890 έως 960 MHz, ενώ η Cosmote από 1.760 έως 1.880 MHz. Επομένως τόσο η τηλεοπτική μετάδοση όσο και η κινητή τηλεφωνία εκτείνονται στο φάσμα των μικροκυμάτων.

### 1.2.3.2 Μικροκύματα

Τα **μικροκύματα** είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος που κυμαίνεται από 1 έως 30 cm, δηλαδή μεγαλύτερο του ορατού φωτός και μικρότερο των ραδιοκυμάτων. Επομένως οι μικροκυματικές ζεύξεις καλύπτουν την περιοχή φάσματος από 300 MHz έως 30 GHz, όμως το κύριο πεδίο εφαρμογής τους βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 2 και 8 GHz. Επίσης χρησιμοποιούνται και σε ζεύξεις στενού φάσματος, καλύπτοντας περιοχές κάτω από 2 GHz, ενώ στις επικοινωνίες που καλύπτουν την περιοχή πάνω από 10 GHz, καθώς και σε περιπτώσεις κακών καιρικών συνθηκών, όπως ισχυρή βροχή, ομίχλη, καπνός κτλ., η μετάδοσή τους καθίσταται προβληματική. Οι κύριες κατηγορίες (ζώνες) των μικροκυμάτων<sup>4</sup> είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Δεκατομετρικά (UHF: Ultra High Frequency):**  
λ από 1 dm έως 1 m, συχνότητα από 300 MHz έως 3 GHz.
- ✓ **Εκατοστομετρικά (SHF: Super High Frequency):**  
λ από 1 cm έως 1 dm, συχνότητα από 3 έως 30 GHz.

<sup>4</sup> Χρησιμοποιούνται και οι όροι: ζώνη πάρα πολύ υψηλής συχνότητας (UHF), ζώνη υπερ-υψηλής συχνότητας (SHF) και ζώνη υπερβολικά υψηλής συχνότητας (EHF).



Σχήμα 1.23: Μικροκυματική ζεύξη

✓ **Χιλιοστομετρικά (EHF: Extremely High Frequency):**

$\lambda$  από 1 mm έως 1 cm, συχνότητα από 30 έως 300 GHz.

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα μικρότερου μήκους των ραδιοκυμάτων, όπως τα υπερ-βραχέα και τα μικροκύματα, δεν ανακλώνται στην ιονόσφαιρα και επομένως μεταδίδονται αποκλειστικά σαν επιφανειακά κύματα. Επιπλέον μεταδίδονται ευθύγραμμα από το σταθμό εκπομπής προς το σταθμό λήψης (σχήμα 1.23), με αποτέλεσμα η μετάδοσή τους να έχει τα χαρακτηριστικά των κυμάτων φωτός παρά των ραδιοκυμάτων. Επομένως για την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων απαιτούνται στις περισσότερες περιπτώσεις αναμεταδότες, ώστε να ενισχυθεί και να αναμεταδοθεί το σήμα. Προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές, όπως είναι για παράδειγμα η καμπυλότητα της Γης, τα βουνά, τα ψηλά κτίρια κτλ., οι οποίες ενδεχομένως να παρεμποδίζουν την οπτική επαφή μεταξύ των κεραιών των δύο σταθμών, οι κεραιές τοποθετούνται σε ειδικούς πύργους που βρίσκονται σε ψηλά σημεία και σε απόσταση, ο ένας πύργος από τον άλλο, δεκάδες χιλιόμετρα μακριά (σχήμα 1.23). Όσο ψηλότερος είναι ο πύργος τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα κάλυψης μεγάλων αποστάσεων. Για παράδειγμα, με πύργους ύψους 100 m η απόσταση μεταξύ των πύργων μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 100 km.

Τα συστήματα των υπερ-βραχέων και των μικροκυματικών ζεύξεων χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνική, στη ραδιοφωνική και στην τηλεοπτική επικοινωνία. Ανάλογα με τις διαβιβαστικές ικανότητές τους τα συστήματα μικροκυματικών ζεύξεων διακρίνονται σε συστήματα **στενής ζώνης** συχνοτήτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στη ραδιοεπικοινωνία, και σε συστήματα **ευρείας ζώνης** συχνοτήτων, τα οποία χρησιμοποιούνται επιπλέον και στη μεταβίβαση τηλεοπτικών προγραμμάτων.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν λιγότερο χρόνο εγκατάστασης, ενώ υπάρχει δυνατότητα επέκτασης του αρχικού σχεδιασμού, ανάλογα με τις ανάγκες. Λόγω των πλεονεκτημάτων τους οι ζεύξεις αυτές χρησιμοποιούνται μαζί με τις καλωδιακές –και ειδικότερα τις ομοαξονικές– στο υπεραστικό δίκτυο. Επίσης, πολλές φορές, οι μικρο-



**Αναμεταδότες** ονομάζουμε τις διατάξεις που δέχονται το εξασθενημένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το ενισχύουν και το αναμεταδίδουν. Κάθε αναμεταδότης αποτελείται από ένα δέκτη, που δέχεται τα σήματα, έναν ενισχυτή και έναν πομπό, που επανεκπέμπει τα ενισχυμένα σήματα.

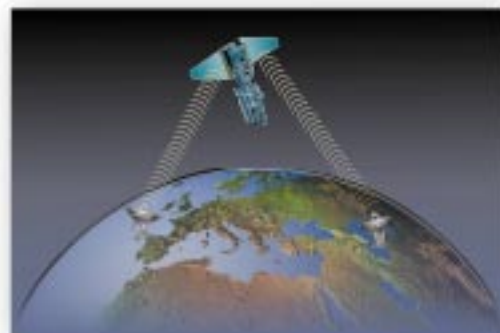
κυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται, για λόγους ασφάλειας του δικτύου, παράλληλα με καλωδιακές ζεύξεις, ώστε σε περίπτωση βλάβης της μιας ζεύξης να εξασφαλίζεται η επικοινωνία με την άλλη.

### 1.2.3.3 Δορυφορική επικοινωνία

Με τη δορυφορική επικοινωνία δημιουργήθηκε ένας δίαυλος πολύ υψηλής χωρητικότητας στο διάστημα. Τα δορυφορικά συστήματα αποτελούνται από τους επικοινωνιακούς δορυφόρους και τους αντίστοιχους σταθμούς εδάφους. Ο επικοινωνιακός δορυφόρος πρέπει να βρίσκεται πάντοτε σε οπτική επαφή με το σταθμό εδάφους με τον οποίο επικοινωνεί. Για το λόγο αυτό ο δορυφόρος τοποθετείται σε **γεωστατική τροχιά**, δηλαδή στην τροχιά του Ισημερινού και σε απόσταση περίπου 36.000 km πάνω από τη Γη. Στην απόσταση αυτή η γωνιακή ταχύτητα του δορυφόρου συμπίπτει με τη γωνιακή ταχύτητα<sup>5</sup> περιστροφής της Γης, με αποτέλεσμα ο δορυφόρος να φαίνεται από το σταθμό εδάφους ακίνητος, στην ίδια πάντα θέση του διαστήματος.

Ένας δορυφόρος επικοινωνιών (σχήμα 1.24) μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας μικροκυματικός μεταλλάκτης και συγχρόνως ένας μεγάλος επαναλήπτης μικροκυμάτων που βρίσκεται στο διάστημα. Λαμβάνει με τις κεραίες του σήματα μικροκυμάτων, σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων, από τους σταθμούς εκπομπής που βρίσκονται στη Γη, τα ενισχύει και τα αναμεταδίδει σε διαφορετική συχνότητα μέσω των αναμεταδοτών του στους αντίστοιχους σταθμούς λήψης. Κάθε αναμεταδότης χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα για την αναμετάδοση, γιατί διαφορετικά το ισχυρό σήμα που αναμεταδίδει θα παρεμβαλλόταν στο αδύνατο σήμα που φτάνει στο δορυφόρο. Ο εξοπλισμός που βρίσκεται στο έδαφος και αποτελείται από ένα δέκτη, έναν πομπό και μία κεραία ονομάζεται **επίγειος σταθμός**.

Στη δορυφορική επικοινωνία η συσκευή η οποία λαμβάνει ένα σήμα, το ενισχύει, αλλάζει τη συχνότητά του και το αναμεταδίδει ονομάζεται **δορυφορικός αναμεταδότης** (*transponder*). Οι περισσότεροι δορυφόροι έχουν 12 - 20 αναμεταδότες. Το εύρος ζώνης που διαχειρίζεται κάθε αναμεταδότης διαφέρει από τον ένα δορυφόρο στον άλλο. Οι σύγχρονοι δορυφόροι έχουν αναμεταδότες εύρους ζώνης 36 - 50 MHz. Ο τρόπος χρησιμοποίησης αυτού του εύρους ζώνης εξαρτάται από το είδος του εξο-



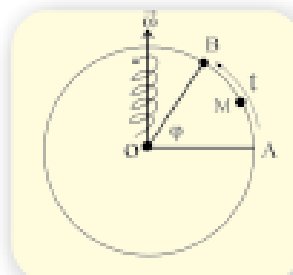
Σχήμα 1.24: Δορυφορική ζεύξη



Οι δίαυλοι T 1 είναι αμερικάνικης προτυποποίησης οι οποίοι χρησιμοποιούν ζεύγη συρμάτων με ψηφιακούς αναμεταδότες, που βρίσκονται σε απόσταση 1.850 m ο ένας από τον άλλο, και μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα έως 1.544 Kbps. Μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα 24 κανάλια φωνής και γενικά να πετύχουν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Λόγω των δυνατοτήτων τους χρησιμοποιήθηκαν στα δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα, ενώ τώρα διατίθενται και σε μονωμένους συνδρομητές.

<sup>5</sup> Ως γωνιακή ταχύτητα ( $\vec{\omega}$ ) του σημείου Μ που κινείται με ομαλή κυκλική κίνηση και διαγράφει σε χρόνους  $t$  το τόξο  $\widehat{AB}$  ορίζεται το διανυσματικό μέγεθος που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- σημείο εφαρμογής το κέντρο  $O$  της περιφέρειας που διαγράφει το κινητό Μ,
- διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της περιφέρειας που διαγράφει το κινητό Μ,
- φορά εκείνη της δεξιόστροφης βίδας, όταν περιστρέφεται με τη φορά του κινητού Μ,
- μέτρο  $|\vec{\omega}| = \frac{\phi}{t}$ , όπου  $\phi$  η γωνία που διαγράφει το κινητό Μ στο χρόνο  $t$ .







πλισμού που φέρει ο επίγειος σταθμός. Για παράδειγμα, στην ψηφιακή μετάδοση ένας τυπικός δορυφορικός αναμεταδότης εύρους ζώνης 50 MHz μπορεί να περιλαμβάνει:

- ✓ ένα δίαυλο έγχρωμης τηλεόρασης ή
- ✓ 1.200 διαύλους φωνής ή
- ✓ ένα δίαυλο των 50 Mbps ή
- ✓ 32 T1 διαύλους των 1.554 Kbps ή
- ✓ 800 διαύλους των 64 Kbps ή
- ✓ 1.200 διαύλους των 40 Kbps.



Το στοιχείο που δίνει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στη χρήση της δορυφορικής επικοινωνίας είναι ότι το κόστος δέσμευσης ενός καναλιού είναι ανεξάρτητο από την απόσταση που διανύουν τα σήματα.

Λόγω της μεγάλης απόστασης που διανύουν τα σήματα (επίγειος σταθμός - δορυφόρος - επίγειος σταθμός) παρατηρείται μια καθυστέρηση στη μετάδοση των σημάτων (της τάξης των 500 msec) και προς τις δύο κατευθύνσεις, που επιδρά ενοχλητικά, ιδιαίτερα στην τηλεφωνική επικοινωνία. Το μειονέκτημα αυτό, που με την εξέλιξη της τεχνολογίας συνεχώς αμβλύνεται, εξισορροπείται με το μεγάλο πλεονέκτημα του κόστους δέσμευσης ενός καναλιού ανεξάρτητα από την απόσταση που διανύουν τα σήματα. Η σύνδεση μεταξύ συνδρομητών από διαφορετικές χώρες γίνεται μέσω των σταθμών εδάφους του διεθνούς υπεραστικού δικτύου κάθε χώρας, οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται με το δορυφόρο. Οι δορυφόροι που λειτουργούν με βάση την παραπάνω πορεία σύνδεσης ονομάζονται **δορυφόροι έμμεσης εκπομπής**.

Οι δορυφορικές ζεύξεις εκτείνονται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μεταξύ 3 και 30 GHz, δηλαδή καταλαμβάνουν την περιοχή από το τέλος των δεκατομετρικών (*UHF*) έως την αρχή των εκατοστομετρικών (*SHF*) μικροκυμάτων. Όμως οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες δορυφορικές συχνότητες βρίσκονται στη ζώνη των 4 - 6 GHz, δηλαδή εντός της περιοχής των εκατοστομετρικών (*SHF*) μικροκυμάτων. Συγκεκριμένα, για την **κατερχόμενη επικοινωνία**, δηλαδή από το δορυφόρο προς το σταθμό, χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 3,7 - 4,2 GHz, ενώ για την **ανερχόμενη επικοινωνία**, δηλαδή από το σταθμό προς το δορυφόρο, χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 5,925 - 6,425 GHz.

### 1.2.3.4 Υπέρυθρα - Λείζερ

Στη συνέχεια των μικροκυμάτων βρίσκονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται από άτομα και πυρήνες. Πρόκειται για τις **υπέρυθρες ακτίνες** (*infrared*), το **ορατό φως** (*visible light*) και τις **υπεριώδεις ακτίνες** (*ultraviolet*). Τόσο οι υπέρυθρες ακτίνες όσο και οι ακτίνες λείζερ έχουν ευρύτατη εφαρμογή στις περιπτώσεις που τα ενσύρματα μέσα — λόγω υψηλού κόστους ή αδυναμίας εγκατάστασης — είναι ανεπιθύμητα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι, για παράδειγμα, τα δίκτυα περιορισμένης γεωγραφικής εμβέλειας, τα οποία περιλαμβάνουν τις σημείου προς σημείο συνδέσεις των κτιρίων ενός βιομηχανικού, εμπορικού ή εκπαιδευτικού συμπλέγματος κάποιας περιοχής ή ενός οικοδομικού τετραγώνου. Η ασύρματη επικοινωνία της τεχνολογίας αυτής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που η σύνδεση των



κτιρίων απαιτεί το σκάψιμο οδικών αρτηριών για την τοποθέτηση των καλωδίων. Η τοποθέτηση λέιζερ ή ενός πομπού και ενός δέκτη υπέρυθρων στη στέγη κάθε κτιρίου είναι σαφώς οικονομικότερη επιλογή, χωρίς δυσκολίες στην εγκατάσταση ή ιδιαίτερες νομικές διατυπώσεις.

Η επικοινωνία με λέιζερ ή υπέρυθρες ακτίνες είναι ψηφιακή και κατευθυνόμενη, με αποτέλεσμα τη σχεδόν ασφαλή και χωρίς παρεμβολές επικοινωνία της δέσμης. Το σύστημα προσφέρει υψηλή χωρητικότητα σε πολύ χαμηλό κόστος και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό, όταν ο καιρός είναι καλός. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή, αφού καιρικοί παράγοντες όπως η βροχή, η ομίχλη, το χιόνι ή η υψηλή θερμοκρασία είναι σε θέση να παρεμβληθούν προκαλώντας αλλαγή στην κατεύθυνση της δέσμης.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μέσο μετάδοσης, ζώνη εκπομπής, εύρος ζώνης, χωρητικότητα, ενσύρματα μέσα μετάδοσης, μέσα μετάδοσης βασικής ζώνης, μέσα μετάδοσης ευρείας ζώνης, συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων, αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, ομοαξονικό καλώδιο βασικής ζώνης, ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης, οπτική ίνα, πυρήνας οπτικής ίνας, περίβλημα οπτικής ίνας, μονότροπες οπτικές ίνες, πολύτροπες οπτικές ίνες, ασύρματα μέσα μετάδοσης, επιφανειακά κύματα, κύματα χώρου, ραδιοκύματα, ραδιοσυχνότητες, μικροκύματα, συστήματα στενής ζώνης συχνοτήτων, συστήματα ευρείας ζώνης συχνοτήτων, δορυφορική επικοινωνία, γεωστατική τροχιά, επίγειος σταθμός, αναμεταδότης, δορυφόροι έμμεσης εκπομπής, κατερχόμενη - ανερχόμενη επικοινωνία, υπέρυθρες ακτίνες, ορατό φως, υπεριώδεις ακτίνες.



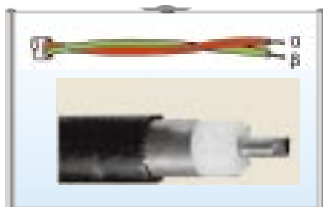


## Μάθημα 1.3: Σύγκριση των μέσων μετάδοσης

### 1.3.1 Σύγκριση των καλωδιακών μέσων

Αν και το ανώτερο καλωδιακό μέσο θεωρείται ότι είναι η οπτική ίνα, υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν, ώστε να μπορεί κάποιος με βεβαιότητα να αποφασίσει για το καλωδιακό μέσο που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει σε μια σύνδεση. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με την καταλληλότητα του καλωδιακού μέσου για το συγκεκριμένο περιβάλλον εγκατάστασης, με την τεχνολογία που εφαρμόζεται, με το κόστος του μέσου και των παρελκομένων, με το κόστος εγκατάστασης κτλ. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Επομένως κάθε οργανισμός, προκειμένου να λειτουργήσει ωφέλιμα και παραγωγικά, θα πρέπει να εκτιμήσει προσεκτικά τις άμεσες και τις μελλοντικές ανάγκες του και σε συνάρτηση με το επιτρεπόμενο κόστος σε πάγιες επενδύσεις να προχωρήσει σε επενδύσεις υποδομής, βελτιώνοντας τις δικτυακές υπηρεσίες του.

#### 1.3.1.1 Σύγκριση ομοαξονικού καλωδίου και καλωδίου *UTP* ή *STP*



Το μεγάλο πλεονέκτημα των καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους συνίσταται στο γεγονός ότι αυτά μπορούν να μεταδώσουν με ρυθμούς 10 ή και 100 φορές μεγαλύτερους από τους ρυθμούς των ομοαξονικών καλωδίων. Πέρα από αυτό, η συντήρηση και η επισκευή τους δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, όπως η περίπτωση των ομοαξονικών καλωδίων. Όμως ενώ η εγκατάσταση του ομοαξονικού καλωδίου είναι συνήθως εύκολη και περισσότερο οικονομική, όλες οι τηλεφωνικές εταιρείες αντικαθιστούν σταδιακά τις συνδέσεις ομοαξονικού καλωδίου μεγάλων αποστάσεων με καλώδιο *UTP* ή με οπτική ίνα.

Το κύριο πλεονέκτημα του ομοαξονικού καλωδίου έναντι του καλωδίου συνεστραμμένου ζεύγους (*UTP*, *STP*) είναι ότι αποτελεί έναν καλό συνδυασμό υψηλού εύρους ζώνης και εξαιρετικής ανοχής στο θόρυβο. Επειδή το ομοαξονικό καλώδιο διαθέτει καλή θωράκιση στο θόρυβο, η οποία είναι ανάλογη με αυτήν του *STP*, είναι κατάλληλο και για μεταδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Όμως το πόσο μεγάλο θα είναι το εύρος ζώνης του εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου. Για παράδειγμα, καλώδια του 1 km μπορούν να δώσουν ρυθμούς μετάδοσης 10 Mbps.

### 1.3.1.2 Σύγκριση οπτικής ίνας και καλωδίου *UTP* ή *STP*

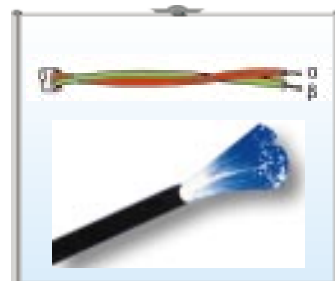
Οι οπτικές ίνες παρέχουν υπερβολικά μεγάλο εύρος ζώνης με μικρή απώλεια ισχύος, με αποτέλεσμα να μπορούν να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στους επαναλήπτες. Επίσης δεν επηρεάζονται από απότομες μεταβολές στην τάση του δικτύου, από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, από οξειδωτικές χημικές ουσίες, καθώς και από άλλα ατμοσφαιρικά ή βιομηχανικά παράσιτα, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιβαρημένο βιομηχανικό περιβάλλον, που θεωρείται ακατάλληλο για *UTP* ή ακόμη και για *STP* καλώδια. Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτές και ελαφριές, στοιχεία που προσδίδουν ένα μεγάλο συγκριτικό πλεονέκτημα ως προς την ευελιξία προσαρμογής τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα εγκατάστασης, ως προς την εξοικονόμηση χώρου και κόστους κτλ. Τέλος, δύσκολα γίνεται υποκλοπή, αφού, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια, η διακλάδωσή τους είναι αρκετά δύσκολη εργασία και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό.

Η τεχνολογία των οπτικών ινών είναι περισσότερο πολύπλοκη από αυτήν των καλωδίων *UTP*, με αποτέλεσμα και η εγκατάστασή τους να είναι πιο απαιτητική. Ειδικότερα, η διασύνδεση (συγκόλληση) και διακλάδωση των οπτικών ινών είναι τεχνικά δύσκολη εργασία, ενώ ο εξοπλισμός διασύνδεσης που απαιτείται είναι ευπαθής και ακριβός. Το κόστος αυτό αυξάνεται ακόμη περισσότερο, αν ληφθεί υπόψη ότι η μετάδοση είναι πάντοτε προς μία μόνο κατεύθυνση. Σε πολλές περιπτώσεις έχει υπολογιστεί ότι είναι προτιμότερη η προμήθεια και εγκατάσταση ενός καλωδίου *UTP* κατηγορίας 5, του οποίου το κόστος είναι πολύ μικρό, από την καλωδίωση οπτικής ίνας, αρκεί να ικανοποιούνται οι απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης των εκάστοτε δικτυακών εφαρμογών.

Ο πίνακας 1.1 παρέχει, σε συνοπτική μορφή, μια συγκριτική αξιολόγηση των ενσύρματων μέσων μετάδοσης.

	Συνεστραμμένο ζεύγος		Ομοαξονικό καλώδιο	Οπτική ίνα	
Ρυθμός μετάδοσης	Ανάλογα με την κατηγορία, έως 100 Mbps		Ίδιος ή υψηλότερος από τα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών	Από 100 Mbps έως μερικά Gbps	
Απόσταση	Δεκάδες μέτρα		Εκατοντάδες μέτρα	Πολλά χιλιόμετρα	
Ευσensθησία σε παρεμβολές	Μέτρια		Μέτρια	Χαμηλή	
Τεχνολογική κατάσταση	Ωριμη		Ωριμη	Αναπτυσσόμενη	
Ευκολία εγκατάστασης	Υψηλή		Μέτρια	Χαμηλή	
Ανάγκη αναμεταδοτών	Κάθε 3 - 4 km		Κάθε 3 - 4 km	Κάθε 40 - 60 km	
Επιλογή	Αθιωρόκαστο: λιγότερο αξιόπιστο σε μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης	Θιωρακισμένοι: λιγότερο ευαίσθητα σε παρεμβολές	50 Ohm, 5 mm: περισσότερο ευέλικτο (βασική ζώνη)	75 Ohm, 10 mm: μεγαλύτερο εύρος (ευρεία ζώνη)	Μονότροπη: υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης Πολύτροπη: φθηνότερη και πιο ευέλικτη

Πίνακας 1.1: Σύγκριση καλωδιακών μέσων μετάδοσης



Το κόστος κατασκευής δύο πύργων, απαραίτητων για την υλοποίηση κάποιας ασύρματης σύνδεσης, είναι συχνά πολύ φθηνότερο από τη διάνοιξη ενός υπόγειου αγωγού μήκους 100 km, την τοποθέτηση των καλωδίων και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου. Επίσης οι τεχνικές δυσκολίες που συναντώνται στη διάνοιξη αγωγών μεγάλου μήκους και στην αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου δεν πρέπει να υποτιμώνται, ιδιαίτερα αν οι αγωγοί πρέπει να περάσουν μέσα από κατοικημένες περιοχές.



### 1.3.2 Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης

Οι διαφορές μεταξύ των ενσύρματων και των ασύρματων μέσων μετάδοσης είναι αρκετές. Η καταλληλότητα κάποιου μέσου εξαρτάται κυρίως από τη φυσική θέση της σύνδεσης, τους επιζητούμενους ρυθμούς μετάδοσης, την ποιότητα της σύνδεσης, το αναμενόμενο κόστος κτλ. Επομένως η επιλογή του καταλληλότερου μέσου δεν είναι πάντα απλή, αλλά αποτελεί συνδυασμό πολλών παραγόντων. Οι κυριότερες διαφορές μπορούν να καταγραφούν ως ακολούθως:

- ✓ Μία από τις βασικές διαφορές των ενσύρματων από τις ασύρματες συνδέσεις συνίσταται στο υψηλότερο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του ενσύρματου μέσου. Είναι ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η διαφορά του κόστους αυτού φαίνεται να αυξάνεται, όσο μεγαλώνει η απόσταση που συνδέει τους σταθμούς επικοινωνίας.
- ✓ Στις ενσύρματες συνδέσεις η χρήση των αναμεταδοτών κατά μήκος όλης της διαδρομής είναι, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, αναπόφευκτη. Οι αναμεταδότες αυτοί πρέπει περιοδικά να συντηρούνται, γιατί τα καλωδιακά μέσα είναι ευαίσθητα σε φυσικές φθορές ή άλλης αιτιολογίας καταστροφές, όπως είναι για παράδειγμα το κόψιμο του καλωδίου από τρωκτικά, από γεωργικά ή κηπευτικά μηχανήματα κτλ. Αντίθετα, κανένα από αυτά τα προβλήματα δεν παρουσιάζεται στην περίπτωση των περισσότερων ασύρματων συνδέσεων.
- ✓ Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα μεταδίδονται με χαμηλότερους ρυθμούς στα χάλκινα καλώδια από ό,τι στον αέρα. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με τις οπτικές ίνες, οι οποίες μεταδίδουν αυτά τα σήματα με υψηλότερους ρυθμούς.
- ✓ Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ασύρματων συνδέσεων έχουν σχέση με τις γενικότερες αδυναμίες μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, όταν αυτά μεταδίδονται στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, τα σήματα από μια απλή κεραία είναι δυνατόν να διαχωριστούν και να μεταδοθούν ακολουθώντας ελαφρώς διαφορετικά μονοπάτια σε σχέση με την κεραία λήψης. Όταν αυτά τα εκτός φάσης σήματα επανασυνδεθούν, μπορεί να παρεμβληθούν το ένα στο άλλο, μειώνοντας έτσι την ισχύ του σήματος.
- ✓ Συνήθως η ασύρματη μετάδοση επηρεάζεται από ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όπως είναι οι καταιγίδες, η βροχή, τα σύννεφα, το χιόνι, η θερμοκρασία κτλ., φαινόμενα που σπάνια επηρεάζουν τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, είτε αυτά είναι οπτικές ίνες είτε απλώς θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.
- ✓ Τα ασύρματα μέσα μετάδοσης επηρεάζονται από βιομηχανικούς θορύβους πολύ περισσότερο από τα ενσύρματα μέσα, ιδιαίτερα αν τα δεύτερα είναι οπτικές ίνες ή θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.



Οι ενσύρματες συνδέσεις απαιτούν αναμεταδότες και έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης. Αντίθετα, οι ασύρματες συνδέσεις δεν απαιτούν αναμεταδότες και έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης.



Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα μεταδίδονται με χαμηλότερους ρυθμούς στα χάλκινα καλώδια από ό,τι στον αέρα. Ειδικότερα, η ασύρματη μετάδοση επηρεάζεται από ατμοσφαιρικά φαινόμενα και είναι πιο ευάλωτη σε θορύβους από ό,τι η ενσύρματη.





### 1.3.2.1 Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων συνδέσεων

Οι δορυφορικές συνδέσεις έχουν αρκετές ιδιότητες οι οποίες είναι εντελώς διαφορετικές από τις ιδιότητες των επίγειων ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων σημείου προς σημείο. Για το λόγο αυτό εξετάζονται χωριστά. Οι διαφορές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- ✓ Η τεράστια συνολικά απόσταση που πρέπει να διανύσουν τα σήματα προς και από ένα δορυφόρο, ακόμα και αν μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός (300.000 km/sec), προκαλεί μια σημαντική καθυστέρηση. Ανάλογα με την απόσταση μεταξύ του χρήστη και του επίγειου σταθμού, όπως και ανάλογα με το ύψος του δορυφόρου επάνω από τον ορίζοντα, ο χρόνος μετάδοσης, από άκρο σε άκρο, είναι μεταξύ 250 και 300 msec. Για λόγους σύγκρισης, οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις έχουν μια καθυστέρηση μετάδοσης ίση με 0,003 msec/km (3 msec/km) περίπου, ενώ στις ζεύξεις ομοαξονικών καλωδίων η καθυστέρηση είναι ίση με 0,005 msec/km (5 msec/km) περίπου.
- ✓ Στη δορυφορική επικοινωνία το κόστος της μετάδοσης ενός μηνύματος είναι ανεξάρτητο τόσο από την απόσταση όσο και από τον αριθμό των σταθμών λήψης του μηνύματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά, τα οποία συνιστούν συγχρόνως και ουσιαστική διαφορά με τις επίγειες συνδέσεις, οφείλονται στην ικανότητα **εκπομπής (broadcasting)** των δορυφορικών συνδέσεων, δηλαδή στην ικανότητα των σταθμών βάσης που λειτουργούν στο εύρος της συχνότητας εκπομπής να συλλέγουν ό,τι μεταδίδεται σ' αυτή τη συχνότητα (σχήμα 1.22). Είναι φανερό ότι με τις δορυφορικές συνδέσεις δημιουργείται η ανάγκη προστασίας των ατομικών πληροφοριών, αφού υπάρχει πάντοτε η δυνατότητα της ελεύθερης πρόσβασης των χρηστών σε ένα πλήθος πληροφοριών που μεταδίδεται σε συγκεκριμένη συχνότητα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές κρυπτογραφικές μέθοδοι, οι οποίες όμως δεν εξασφαλίζουν πάντα τους χρήστες.
- ✓ Ασφαλώς μία ακόμη αξιολογή διαφορά των δορυφορικών από τις επίγειες συνδέσεις είναι το εύρος ζώνης που διατίθεται. Ειδικότερα στο χώρο της ψηφιακής επικοινωνίας, οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης που συναντώνται σήμερα σε μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές με κανονική χρήση φθάνουν τα 56 Kbps, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν το προκαλούμενο υψηλό κόστος είναι αποδεκτό, χρησιμοποιούνται γραμμές T1 των 1,544 Mbps. Σε αντιδιαστολή, η δορυφορική επικοινωνία μέσω των σταθμών VSATs παρακάμπτει ολόκληρο το τηλεφωνικό σύστημα και μπορεί να προσφέρει πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Ο **σταθμός VSAT (Very Small Aperture Terminal)** χρησιμοποιεί, στην απλούστερη περίπτωση, μια μικρού κόστους κεραία στέγης για άμεση επικοινωνία με έναν ισχυρό επίγειο δορυφορικό σταθμό που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση (σχήμα 1.25). Ασφαλώς, επειδή η κυκλοφορία των πληροφοριών μεταξύ των υπολογιστών έχει τη μορφή **καταιγισμού**, η δυνατότητα να αποκτηθεί ένα τεράστιο εύρος ζώνης για ένα μικρό χρονικό διάστημα είναι αρκετά ελκυστική. Για παράδειγμα, για την αποστολή μιας μαγνητικής ταινίας μέσω μιας τηλεφωνικής γραμ-



Η ικανότητα εκπομπής των δορυφορικών συνδέσεων συνηθίζεται να λέγεται και ικανότητα ευρείας ή ανοικτής εκπομπής.



Με τον όρο **καταιγισμό** εννοούμε ότι σε ελάχιστο χρονικό διάστημα έχουμε τεράστιο όγκο πληροφοριών.



Σχήμα 1.25: Επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί VSATs, που χρησιμοποιούν δορυφορικό διανομέα για την επίτευξη της δορυφορικής επικοινωνίας.



Οι **VSATs** (*Very Small Aperture Terminals*) είναι χαμηλού κόστους τερματικοί σταθμοί εργασίας, που χρησιμοποιούν μικρές κεραίες (1m) χαμηλής ισχύος (1Watt). Παρέχουν συνδέσεις ανερχόμενης επικοινωνίας 19,2 Kbps και κατερχόμενης 5,12 Kbps περίπου. Σε περίπτωση που η ισχύς τους δεν επαρκεί για την άμεση επικοινωνία δύο VSATs, χρησιμοποιείται δορυφορικός διανομέας (σχήμα 1.25).

μής των 50 Kbps απαιτούνται 7 ώρες. Αντίθετα, για την αποστολή της ίδιας ταινίας μέσω ενός απλού δορυφορικού αναμεταδότη των 50 Mbps απαιτούνται 30 sec.

- ✓ Το κύριο πλεονέκτημα της οπτικής ίνας συνίσταται στο ότι διαθέτει πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο υπερκαλύπτει το εύρος ζώνης όλων των δορυφορικών ζεύξεων που προσφέρονται από όλους τους δορυφόρους επικοινωνίας. Όμως αυτό το εύρος ζώνης δεν είναι διαθέσιμο στην πλειονότητα των μεμονωμένων χρηστών. Συγκεκριμένα, είναι πολύ περιορισμένος ο αριθμός εκείνων των χρηστών που διαθέτουν πρόσβαση σε γραμμές οπτικών ινών. Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί, που αντικαθιστούν σήμερα σταδιακά τις χάλκινες συνδέσεις με οπτικές ίνες, τις χρησιμοποιούν στο τηλεφωνικό σύστημα για τη διαχείριση πολλών ταυτόχρονων κλήσεων μεγάλης απόστασης και όχι για να εφοδιάσουν μεμονωμένους χρήστες με υψηλό εύρος ζώνης.
- ✓ Σε αντιδιαστολή, οι δορυφορικές συνδέσεις προσφέρουν ένα ασύγκριτα πρακτικό αποτέλεσμα στους χρήστες, οι οποίοι με ένα μικρό σχετικά κόστος εγκατάστασης μπορούν να τοποθετήσουν μια κεραία στην οροφή του κτιρίου τους και να επιτύ-





χουν δορυφορική ζεύξη, παρακάμπτοντας με αυτό τον τρόπο πλήρως το τηλεφωνικό σύστημα. Η ιδέα αυτή — που είναι αρκετά ελκυστική για τις χώρες των οποίων το έδαφος δε διευκολύνει τέτοιου είδους εγκατάσταση και οι οποίες διαθέτουν ελάχιστη τηλεπικοινωνιακή υποδομή — ενισχύει διαρκώς τη δημοτικότητα των δορυφορικών επικοινωνιών. Είναι φυσικό ο ανταγωνισμός αυτός να αυξάνεται, ιδιαίτερα όσο προχωρεί η αντικατάσταση των χάλκινων καλωδιακών μέσων των ψηφιακών τηλεφωνικών συστημάτων με οπτικές ίνες. Ασφαλώς οι οπτικές ίνες έχουν ένα πολύ μεγάλο μερίδιο στην τηλεπικοινωνιακή αγορά των μέσων μετάδοσης, εκτός ίσως από τις περιπτώσεις εκείνες που απαιτούν εφαρμογές εκπομπής, όπως είναι για παράδειγμα η τηλεοπτική μετάδοση.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ρυθμός μετάδοσης, απόσταση, τεχνολογική κατάσταση, ευαισθησία σε παρεμβολές, ευκολία εγκατάστασης, εκπομπή δορυφορικών συνδέσεων, καταίγισμός, χαμηλού κόστους τερματικοί σταθμοί εργασίας (VSATs).





## Μάθημα 1.4: Εξασθένηση, παραμόρφωση, θόρυβος

### 1.4.1 Βλάβη σήματος

Όπως διαπιστώσαμε από τα προηγούμενα μαθήματα, τα μέσα μετάδοσης έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν το σήμα να περάσει αναλλοίωτο. Αυτό είναι μια φυσική αιτία<sup>6</sup> που έχει διπλό αποτέλεσμα: πρώτον το σήμα εξασθενεί, δηλαδή χάνει μέρος από την ισχύ του, και δεύτερον παραμορφώνεται η σύνθεσή του και αυτό που λαμβάνει τελικά ο αποδέκτης προσεγγίζει απλώς το αρχικό ψηφιακό σήμα.

Εκτός όμως από τη φυσική αυτή αιτία, στη διαδικασία μετάδοσης πληροφοριών (σημάτων) δημιουργούνται και κάποιες βλάβες. Γενικότερα, **βλάβη** ή **σφάλμα** (*impairment*) σήματος ονομάζουμε οποιαδήποτε φυσική ή τεχνητή αιτία η οποία έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί ο αποδέκτης να αναπαραγάγει το αρχικό σήμα που εκπέμπει ο πομπός. Μερικά από αυτά τα σφάλματα που εξασθενούν και παραμορφώνουν το σήμα που μεταδίδεται είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η **εξασθένηση** (*attenuation*) της ισχύος του σήματος με την απόσταση, που οφείλεται στην ηλεκτρική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μέσο μετάδοσης. Η εξασθένηση μετριέται σε **decibel** ανά χιλιόμετρο (db/km), ενώ το ποσό της ενέργειας που χάνεται εξαρτάται από τη συχνότητα. Εάν η εξασθένηση υπερβεί μια συγκεκριμένη τιμή, ο τελικός αποδέκτης δύσκολα μπορεί να αποκτήσει την πληροφορία από το σήμα που λαμβάνει.
- ✓ Η **παραμόρφωση πλάτους**, που οφείλεται στη διαφορετική εξασθένηση την οποία προκαλούν τα μέσα μετάδοσης στα διαφορετικά πλάτη ενός σήματος.



**Ηλεκτρική αντίσταση** ονομάζουμε την αντίσταση που παρουσιάζει ένα υλικό στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της κατασκευής του.

<sup>6</sup> Στην παράγραφο 1.1.4 είδαμε ότι ένα ψηφιακό σήμα παριστάνεται με μια τετραγωνική κυματομορφή και αποτελείται από ένα σύνολο διαφορετικών αρμονικών. Οι συχνότητες των αρμονικών αυτών είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της αρχικής (θεμελιώδους) συχνότητας. Έτσι το πλάτος αυτών των αρμονικών ελαττώνεται, εφόσον μεγαλώνει η συχνότητα, με αποτέλεσμα στις πολύ υψηλές αρμονικές το πλάτος να είναι στην ουσία αμελητέο, σχεδόν μηδενικό. Αντίστροφα, αν πάρουμε όλες αυτές τις αρμονικές και τις τοποθετήσουμε τη μία επάνω στην άλλη, θα πάρουμε γραφικά το αρχικό ψηφιακό σήμα. Για να αναπαραχθεί όμως απόλυτα το ψηφιακό σήμα, απαιτείται, όπως είναι φανερό, ένα μέσο μετάδοσης με απεριόριστο εύρος ζώνης. Στην πραγματικότητα, όλα τα μέσα που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση σημάτων έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης, δηλαδή εμποδίζουν κάποιες από αυτές τις διαφορετικές αρμονικές του σήματος να διαπεράσουν το μέσο. Η φυσική αυτή αιτία προκαλεί την εξασθένηση του σήματος, δηλαδή το σήμα χάνει μέρος από την ισχύ του, αφού αποκόπτονται κάποιες αρμονικές. Ταυτόχρονα το σήμα παραμορφώνεται, αφού με τη σύνθεση των λίγων αρμονικών που λαμβάνει τελικά ο αποδέκτης προσεγγίζει απλώς το αρχικό ψηφιακό σήμα (όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11). Είναι ωστόσο δυνατόν να προσεγγίσουμε την τετραγωνική κυματομορφή του σήματος παίρνοντας μόνο τις πρώτες αρμονικές (π.χ. τις οκτώ πρώτες), επειδή αυτές έχουν και το μεγαλύτερο πλάτος.



- ✓ Η **παραμόρφωση λόγω καθυστέρησης** (*delay distortion*), που οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται μέσα στις γραμμές οι συχνότητες ενός σήματος εξαιτίας της ελαστικότητας και της πυκνότητας του συγκεκριμένου μέσου μετάδοσης που χρησιμοποιείται. Αυτά τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης ευθύνονται για την αλλαγή της φάσης των σημείων του από την είσοδο στην έξοδο της γραμμής. Ειδικά στην ψηφιακή μετάδοση η παραμόρφωση αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο.
- ✓ Ο **θόρυβος**, δηλαδή κάθε ανεπιθύμητη και συχνά απρόβλεπτη ηλεκτρική ή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, τεχνητής ή φυσικής προέλευσης, η οποία παρεμβάλλεται στο σήμα που μεταδίδεται, με αποτέλεσμα να αλλοιώνει την ποιότητά του και να προκαλεί την παραμόρφωσή του.



### 1.4.2 Είδη θορύβου

Ο θόρυβος παρουσιάζεται σε όλα τα συστήματα επικοινωνιών, ανεξάρτητα από το αν αυτά είναι ενσύρματα ή ασύρματα. Τα είδη του θορύβου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκει ο **εξωτερικός θόρυβος**, ο οποίος δημιουργείται από αιτίες που βρίσκονται εκτός του συστήματος επικοινωνίας, δηλαδή προκαλούνται από τον ανθρώπινο ή άλλο εξωγενή παράγοντα. Έχει σχέση με τα λεγόμενα **βιομηχανικά παράσιτα**, δηλαδή με τις διάφορες ηλεκτρομηχανικές συσκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σύστημα, με την ηλεκτρική τροφοδότηση των συσκευών κτλ. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα λεγόμενα **ατμοσφαιρικά παράσιτα**, όπως είναι για παράδειγμα οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις, δηλαδή οι ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές που προέρχονται από την ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια καταιγίδων ή ακόμα και από το μεσοαστρικό διάστημα. Ο θόρυβος αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη συχνότητα και ανάλογος προς το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, σε χαμηλές συχνότητες, της τάξης των 500 KHz, ο εξωτερικός θόρυβος που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά και βιομηχανικά παράσιτα είναι πολύ πιο έντονος από ό,τι σε υψηλές συχνότητες, της τάξης των 300 MHz.

Στη δεύτερη κατηγορία θορύβου ανήκει ο **εσωτερικός θόρυβος**, ο οποίος προκαλείται από το ίδιο το μέσο. Θόρυβοι αυτής της μορφής είναι ο **θερμικός θόρυβος** (*thermal noise*), που προκύπτει από συγκρούσεις των ηλεκτρονίων του μέσου μετάδοσης, ο **θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης** (*inter-modulation noise*), που οφείλεται στη συνύπαρξη σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων, όταν αυτά μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, καθώς και η **συνακρόαση** (*cross-talk*), που προκαλείται, όταν δύο ξένα μεταξύ τους σήματα συζευχθούν για κάποιον ανεξάρτητο λόγο.

Ο εσωτερικός θόρυβος που δημιουργείται από αυτές τις αιτίες δεν εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις που ο εξωτερικός θόρυβος δεν είναι έντονος (υψηλές συχνότητες), ο εσωτερικός θόρυβος είναι εμφανής και παίζει σημαντικό ρόλο η εξάλειψη ή η μείωσή του. Αντίθετα, τις περιπτώσεις που ο εξωτερικός θόρυβος είναι έντονος (χαμηλές συχνότητες), ο εσωτερικός δεν είναι εμφανής, αφού καλύπτεται από τον εξωτερικό που είναι εντονότερος, με αποτέλεσμα να προέχει η εξάλειψη του εξωτερικού θορύβου παρά του εσωτερικού. Σημειώ-

Οι διάφορες διατάξεις ενός συστήματος επικοινωνίας είναι σχεδιασμένες πολύ προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται παραμορφώσεις του σήματος και να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις του θορύβου. Μ' αυτό τον τρόπο γίνεται δυνατή μια πιστή αναπαραγωγή του μηνύματος που εκπέμφθηκε.



**Ανοχή** είναι το όριο επάνω από το οποίο δεν επιτρέπεται να μεταβληθεί το εύρος ζώνης. Οποιαδήποτε υπέρβαση έχει συνέπειες στο ρυθμό μετάδοσης.



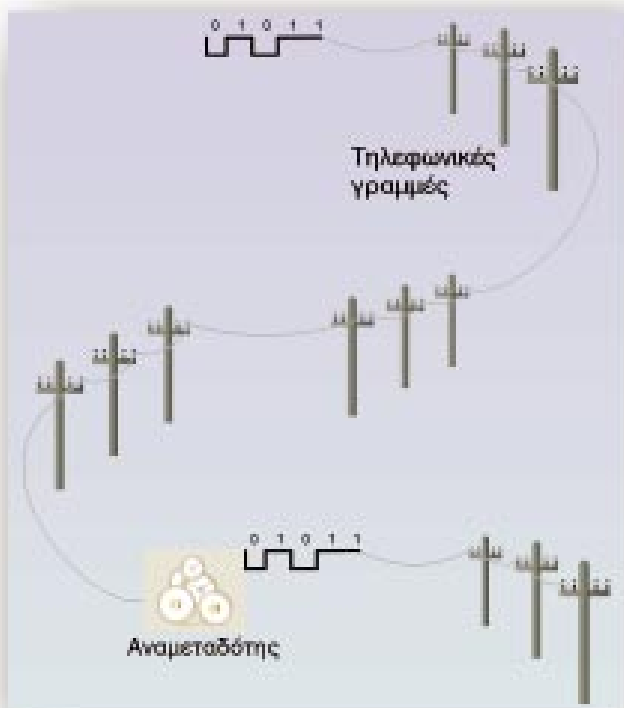
Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μπορούν να μειωθούν οι επιπτώσεις του θορύβου είναι η αύξηση της ισχύος του σήματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενισχυτών. Ο **ενισχυτής** είναι μια συσκευή που αποτελείται από τρανζίστορ ή άλλα στοιχεία, τα οποία μπορούν να ελέγχουν και να αυξάνουν το πλάτος ενός σήματος. Όμως το πλάτος του σήματος δεν αυξάνεται πέρα από ένα ορισμένο επίπεδο, γιατί μπορεί να αλλάξει η μορφή του (παράμορφωση).

νεται ότι η παραδοσιακή μέθοδος για την αντιμετώπιση του θορύβου είναι η μείωση του εύρους ζώνης του σήματος μέχρι κάποιο όριο **ανοχής**, πέρα από το οποίο η μείωση αυτή περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης.

Μια σύγχρονη μέθοδος που ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις του θορύβου είναι η **ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP: Digital Signal Processing)**. Η DSP αφορά τεχνικές που χρησιμοποιούνται προκειμένου να βελτιώσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των ψηφιακών σημάτων. Ένα κύκλωμα DSP έχει την ικανότητα να διακρίνει το θόρυβο ανάμεσα στα διάφορα ψηφιακά σήματα που εκπέμπονται και να τον απομακρύνει. Σε περίπτωση όμως που το σήμα είναι αναλογικό, τότε το μετατρέπει πρώτα σε ψηφιακό και, αφού το απαλλάξει από το θόρυβο, το επαναφέρει πάλι σε αναλογικό. Ασφαλώς μια άλλη προσέγγιση στο πρόβλημα του θορύβου αποτελεί η χρήση τεχνολογίας λιγότερο ευαίσθητης στο θόρυβο, όπως είναι η χρήση οπτικών ινών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κάθε μέσο μετάδοσης, ανεξάρτητα από τον τύπο του, προκαλεί με διάφορους τρόπους εξασθένηση του σήματος που μεταφέρει. Επιπλέον το σήμα παραμορφώνεται τόσο λόγω της εξασθένησης που υφίσταται από αιτίες που οφείλονται στις ατέλειες και στις ηλεκτρικές ιδιότητες που παρουσιάζει το μέσο μετάδοσης, όπως είναι η χωρητικότητα, η αντίσταση και η επαγωγή, όσο και λόγω της παρουσίας θορύβου και παρεμβολών. Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργεί η εξασθένηση μπορούν να

εξαλειφθούν με τη χρήση αναμεταδοτών, οι οποίοι είναι συσκευές που ανιχνεύουν τα σήματα που στέλνονται και στη συνέχεια τα αναμεταδίδουν με την αρχική τους ένταση και οξύτητα (σχήμα 1.26). Ο αναμεταδότης προλαβαίνει τα σήματα, πριν αυτά αλλοιωθούν ανεπανόρθωτα από το θόρυβο ή τα απαλλάσσει απ' αυτόν αναπαράγοντάς τα από την αρχή. Αν οι αναμεταδότες βρίσκονται αρκετά κοντά ο ένας στον άλλο, μπορεί να επιτευχθεί η μετάδοση ενός πολύ υψηλού ρυθμού σημάτων σε αποστάσεις που θεωρητικά είναι απεριόριστες. Αν το μέσο μετάδοσης είναι χαλκινα καλώδια, οι αποστάσεις μεταξύ των αναμεταδοτών πρέπει να κυμαίνονται από 2 έως 4 km, ενώ, αν είναι οπτικές ίνες, από 40 έως 60 km.



Σχήμα 1.26: Οι αναμεταδότες ανιχνεύουν τα σήματα που στέλνονται και τα αναμεταδίδουν με την αρχική τους ένταση και οξύτητα.



Βέβαια οι επιπτώσεις του θορύβου δεν μπορούν να εξαλειφθούν τελείως. Ωστόσο ο πρωταρχικός στόχος της σχεδίασης ενός επικοινωνιακού συστήματος θα πρέπει να επικεντρώνεται στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποφυγή των επιπτώσεων του θορύβου, ώστε να μπορεί να γίνεται πιστή αναπαραγωγή του μηνύματος που εκπέμπεται.

### 1.4.3 Μέτρηση εξασθένησης - ενίσχυσης σήματος και θορύβου

Τόσο η εξασθένηση όσο και η ενίσχυση του σήματος μετριοούνται σε **decibel (db)**. Αν συμβολίσουμε με  $P_1$  και  $P_2$  τα επίπεδα ισχύος των σημάτων που αποστέλλονται και λαμβάνονται από τον πομπό και το δέκτη αντίστοιχα, τότε ορίζεται:

$$\text{εξασθένηση} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \text{db}$$

$$\text{ενίσχυση} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \text{db}$$

Επειδή οι μονάδες των  $P_1$  και  $P_2$  είναι Watt, τα db είναι μεγέθη χωρίς διάσταση, που μετρούν απλώς το σχετικό μέγεθος των επιπέδων των δύο σημάτων.

Ανάλογα, ο θόρυβος υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος του σήματος  $S$  προς την ισχύ του θορύβου  $N$ , δηλαδή από το  $S/N$ , που ονομάζεται **λόγος του σήματος προς θόρυβο** ( $SNR$ : *Signal-to-Noise-Ratio*) και είναι ένας σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει την επικοινωνία. Ο θόρυβος αποδίδεται σε db και ορίζεται από τον τύπο:

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right) \text{db}$$

Για παράδειγμα, αν  $SNR = 10 \text{ db}$ , τότε θα έχουμε:

$$10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \text{db}, \text{ οπότε } \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right) = 1, \text{ και επομένως } \left( \frac{S}{N} \right) = 10^1 = 10.$$

Με τον ίδιο τρόπο, αν  $SNR = 20 \text{ db}$ , παίρνουμε  $S/N = 100$ , ενώ, αν είναι  $SNR = 30 \text{ db}$ , παίρνουμε  $S/N = 1.000$  κ.ο.κ.

[Περισσότερα για τον παράγοντα αυτό και για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει τη χωρητικότητα ενός μέσου μετάδοσης θα αναφερθούν στην επόμενη ενότητα.]

### Παράδειγμα V

Μια γραμμή μετάδοσης μεταξύ δύο τερματικών διατάξεων αποτελείται από τρία



Ένα κανάλι με χρησιμοποιήσιμο εύρος ζώνης 3.000 Hz και  $SNR$  ίσο με 30 db (ή  $S/N = 10^3$ ) αποτελεί τυπική περίπτωση μιας αναλογικής τηλεφωνικής σύνδεσης χωρητικότητας 30 Kbps. Στην πράξη όμως ο ρυθμός μετάδοσης στα κανάλια αυτά δεν υπερβαίνει τα 9.600 bps.



## Μάθημα 1.5: Διαμόρφωση σήματος

### 1.5.1 Εισαγωγή

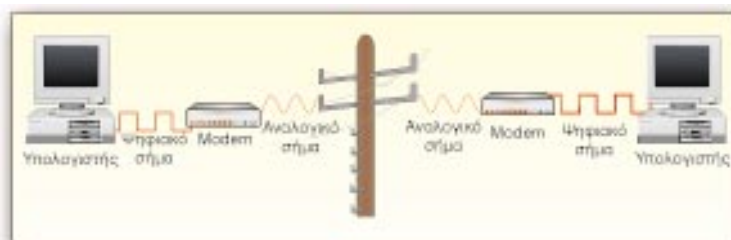
Από το προηγούμενο μάθημα φάνηκε ότι ένα μέσο μετάδοσης μπορεί να λειτουργεί περισσότερο αποδοτικά (χωρίς θόρυβο) σε υψηλές συχνότητες, όπως είναι για παράδειγμα οι συχνότητες της τάξης των 70 έως 150 MHz περίπου. Επομένως ήταν αναγκαίο να βρεθεί ένας τρόπος, ώστε τα σήματα υψηλών συχνοτήτων να μπορούν να μεταφέρουν και τις χαμηλότερες συχνότητες. Η τεχνική σύμφωνα με την οποία μεταφέρονται οι χαμηλές συχνότητες από τις υψηλές ονομάζεται **διαμόρφωση** (*modulation*), ενώ η διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται αυτό ονομάζεται **διαμορφωτής** (*modulator*). Η διαμόρφωση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός σήματος υψηλής συχνότητας, που ονομάζεται **φέρων σήμα** (λέγεται και **φορέας** ή **φέρουσα κυματομορφή** ή απλώς **φέρων**), το οποίο μεταβάλλεται κατάλληλα (δηλαδή διαμορφώνεται) από το σήμα με τις χαμηλές συχνότητες που πρόκειται να μεταδοθεί. Οι υψηλές συχνότητες του φορέα ονομάζονται **φέρουσες συχνότητες** ή **συχνότητες φέρωντος** (*carrier frequency*). Ο φορέας μπορεί να είναι είτε αναλογικό σήμα είτε μια σειρά παλμών.

Με τη διαμόρφωση επιτυγχάνεται η συστηματική μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού της φέρουσας κυματομορφής, όπως είναι για παράδειγμα το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση της, ώστε το σήμα να μπορέσει να περάσει από το μέσο μετάδοσης. Μετά από αυτή τη διαδικασία ο αποστολέας στέλνει το διαμορφωμένο σήμα στον αποδέκτη, ο οποίος με τη σειρά του αποδιαμορφώνει το σήμα που λαμβάνει και εξαγάγει το σήμα χαμηλών συχνοτήτων που τον ενδιαφέρει. Επομένως **αποδιαμόρφωση** (*demodulation*) είναι ο μηχανισμός που επαναφέρει το διαμορφωμένο σήμα στην κανονική του μορφή και επιτυγχάνεται από ειδική συσκευή που λέγεται **αποδιαμορφωτής** (*demodulator*).

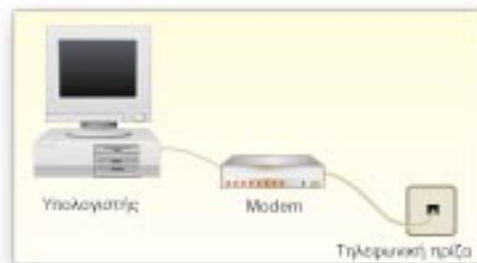
Η διαδικασία διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης φαίνεται στο σχήμα 1.27. Σημειώνεται ότι συνήθως οι λειτουργίες των διαμορφωτών και των αποδιαμορφωτών ενοποιούνται σε μια διάταξη που ονομάζεται **διαποδιαμορφωτής** (*MODEM: Modulator - Demodulator*). Στα διάφορα συστήματα επικοινωνίας ο διαποδιαμορφωτής συνδέει τον υπολογιστή με το μέσο μετάδοσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.28. Σήμερα οι διαποδιαμορφωτές εκτελούν και διάφορες άλλες εργασίες, όπως είναι ο διαχωρισμός συχνοτήτων, ο έλεγχος της μορφής και της ισχύος του σήματος, ο συγχρονισμός του πομπού και του δέκτη κτλ.



Η λέξη *MODEM* προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων *MOdulator-DEModulator*, που σημαίνουν διαμορφωτής - αποδιαμορφωτής ή, πιο σύντομα, διαποδιαμορφωτής.



Σχήμα 1.27: Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση σήματος



Σχήμα 1.28: Διασύνδεση υπολογιστή με την τηλεφωνική γραμμή μέσω διαποδιαμορφωτή (*modem*) για επιλογική (*dial-up*) σύνδεση



Η διαμόρφωση είναι απαραίτητη, γιατί:

- ✓ Προσαρμόζει το σήμα στις απαιτήσεις και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης (π.χ. ομοαξονικό, UTP, οπτικές ίνες κτλ.).
- ✓ Περιορίζει το θόρυβο και τις παρεμβολές.
- ✓ Χρησιμοποιείται για την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών σημάτων μέσα από το ίδιο μέσο μετάδοσης.
- ✓ Χρησιμοποιείται για να ξεπεραστούν μερικοί περιορισμοί στις επιδόσεις των συσκευών επεξεργασίας.

### Παράδειγμα VI

Η τεχνική της διαμόρφωσης χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη ραδιοφωνία για την εκπομπή ομιλίας και μουσικής μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία μεταδίδονται ελεύθερα στο χώρο. Μια υψηλή συχνότητα που μπορεί να μεταδοθεί από μια κεραία χρησιμεύει ως φορέας. Οι χαμηλές συχνότητες, δηλαδή η ομιλία και η μουσική, που δεν μπορούν, για πολλούς λόγους, να μεταδοθούν στον ελεύθερο χώρο, διαμορφώνουν την υψηλή συχνότητα και μεταδίδονται μαζί της.



### Παράδειγμα VII

Όπως είναι γνωστό, για τη μετάδοση της φωνής χρησιμοποιείται εύρος ζώνης 4.000 Hz (δηλαδή 3.100 Hz και κάποια ακόμη επιπλέον Hz που απαιτούνται για το διαχωρισμό των λογικών καναλιών), ενώ η συχνότητα του φέροντος πρέπει να είναι 30 KHz. Η διαδικασία της διαμόρφωσης πρέπει να αλλάξει τις αρχικές συχνότητες από 0 - 4.000 Hz σε 30.000 - 34.000 Hz, δηλαδή πρέπει να μεταφέρει το εύρος του σήματος σε υψηλότερες συχνότητες, έτσι ώστε αυτό να περιέλθει στο εύρος του καναλιού και επομένως να μπορεί να μεταδοθεί. Το εύρος ζώνης εξακολουθεί να είναι 4.000 Hz και μπορεί να μεταφέρει την ίδια ποσότητα πληροφοριών, είτε πρόκειται για φωνή είτε για δεδομένα.

**Φυσικό κανάλι** είναι η ίδια η γραμμή επικοινωνίας. **Λογικά κανάλια** είναι οι ζώνες μικρότερης συχνότητας στις οποίες μπορεί να διαχωριστεί ένα φυσικό κανάλι.

## 1.5.2 Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος

Υπάρχουν πολλές τεχνικές διαμόρφωσης σήματος. Οι κυριότερες είναι η **διαμόρφωση συνεχούς φέροντος κύματος** και η **διαμόρφωση παλμών** ή **παλμοκωδική διαμόρφωση** (PCM: *Pulse Code Modulation*). Στη διαμόρφωση συνεχούς φέροντος κύματος η κυματομορφή του φέροντος είναι συνεχής (αναλογική κυματομορφή<sup>7</sup>), με ένα από τα χαρακτηριστικά της να μεταβάλλεται αναλογικά με το σήμα του μηνύματος. Στη διαμόρφωση παλμών η φέρουσα κυματομορφή είναι η τετραγωνική (ψηφια-

<sup>7</sup> Συνήθως πρόκειται για μια ημιτονοειδή κυματομορφή.



κή κυματομορφή), με ένα από τα χαρακτηριστικά της να μεταβάλλεται και πάλι αναλογικά με το σήμα του μηνύματος. Και στις δύο περιπτώσεις το χαρακτηριστικό του φέροντος, που μεταβάλλεται αναλογικά με το σήμα μηνύματος, μπορεί να διαμορφώνεται είτε με συνεχή είτε με διακριτό τρόπο. Η **διακριτή διαμόρφωση παλμών** (*discrete PCM*), που λέγεται και **ψηφιακή διαμόρφωση** (*digital modulation*), είναι μια μέθοδος η οποία προσφέρεται καλύτερα για μηνύματα που από τη φύση τους είναι διακριτά, όπως είναι για παράδειγμα η έξοδος κάποιου τηλετύπου.

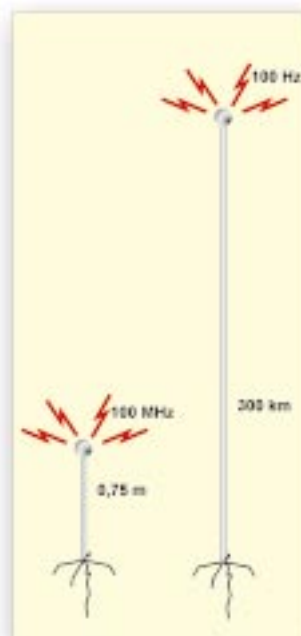
Ένα μήνυμα αποτελείται από μια σειρά συμβόλων κάποιου συγκεκριμένου αλφαβήτου. Κάθε σύμβολο διαβιβάζεται μέσω του μέσου μετάδοσης με μια συγκεκριμένη ηλεκτρική κυματομορφή που είναι γνωστή. Έτσι τα μηνύματα που παριστάνονται με μια σειρά από γνωστές κυματομορφές γίνονται αντιληπτά από το δέκτη, ο οποίος είναι σε θέση να αναγνωρίζει όλα τα σύμβολα που διαβιβάζονται κάθε χρονική στιγμή. Στην περίπτωση όμως της μετάδοσης αναλογικών (συνεχών) σημάτων ο αριθμός των δυνατών κυματομορφών είναι απεριόριστος και άγνωστος. Για παράδειγμα, στη ραδιοφωνική ή στην τηλεοπτική εκπομπή έχουμε άπειρο αριθμό δυνατών μηνυμάτων και οι αντίστοιχες κυματομορφές δεν είναι όλες γνωστές.

### 1.5.3 Πλεονεκτήματα διαμόρφωσης σήματος

Αν το μέσο μετάδοσης είναι από τη φύση του χαμηλών συχνοτήτων, τότε το σήμα μπορεί να διαβιβαστεί μέσα από αυτό χωρίς διαμόρφωση. Η επικοινωνία αυτής της μορφής αναφέρεται και ως επικοινωνία βασικής ζώνης (βλ. και Μάθημα 1.2). Όμως τα περισσότερα μέσα μετάδοσης έχουν και μία συγκεκριμένη υψηλή περιοχή συχνοτήτων, οπότε, για να μεταδοθεί το σήμα χαμηλών συχνοτήτων, είναι αναγκαία η διαμόρφωση, η οποία θα προσαρμόσει το εύρος ζώνης των χαμηλών συχνοτήτων του σήματος στη συγκεκριμένη υψηλή περιοχή του μέσου μετάδοσης. Η προσαρμογή αυτή έχει ως συνέπεια μερικά άλλα πλεονεκτήματα, τα οποία αξίζει να αναφερθούν:

#### ✓ Διαμόρφωση για εύκολη μετάδοση

Αν το κανάλι επικοινωνίας είναι ο αέρας, χρειάζεται κεραία τόσο για την εκπομπή όσο και για τη λήψη του σήματος. Η αποτελεσματική εκπομπή των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων απαιτεί κεραίες με διαστάσεις τέτοιες, όσο είναι και το μήκος κύματος του σήματος που μεταδίδεται. Επειδή ωστόσο πολλά σήματα, όπως τα ακουστικά, έχουν χαμηλές συχνότητες, της τάξης π.χ. των 100 Hz, για να μεταδοθούν, θα απαιτούσαν κεραίες μήκους πολλών χιλιομέτρων, π.χ. 300 km. Αν όμως χρησιμοποιηθεί η τεχνική της διαμόρφωσης προκειμένου να αποτυπωθεί το σήμα σε ένα φέρον υψηλής συχνότητας, π.χ. των 100 MHz, τότε η κεραία που θα χρειαζόταν δε θα ξεπερνούσε το ένα μέτρο ( $\lambda/4 = 3\text{m}/4 = 0,75\text{ m}$ ).





Ο όρος **πολυπλεξία** αναφέρεται σε κάθε διαδικασία που επιτρέπει σε περισσότερα από ένα αυτοτελή σήματα να μεταδοθούν ταυτόχρονα μέσω ενός μοναδικού φυσικού διαύλου.



Το **φίλτρο** είναι ένα σύστημα που επεξεργάζεται κάποιο σήμα, με σκοπό την ανίχνευση και κατόπιν το διαχωρισμό ενός επιθυμητού σήματος από το ανεπιθύμητο σύνολο θορύβων ή άλλων σημάτων που συνθέτουν το αρχικό σήμα.



#### ✓ Διαμόρφωση για πολυπλεξία

Όταν περισσότερα από ένα σήματα χρησιμοποιούν το ίδιο μέσο μετάδοσης, η διαμόρφωση μπορεί να χρησιμεύσει για να αλλάξει τις θέσεις εύρους ζώνης των διάφορων σημάτων, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο στο δέκτη να επιλέξει το επιθυμητό σήμα. Αυτό, για παράδειγμα, γίνεται στη στερεοφωνική ραδιοφωνία *FM*.

#### ✓ Διαμόρφωση για την υπέρβαση των περιορισμών των συσκευών μετάδοσης σημάτων

Η ευκολία με την οποία μπορούν να κατασκευαστούν οι συσκευές επεξεργασίας σημάτων, όπως είναι τα φίλτρα και οι ενισχυτές, εξαρτάται από το εύρος του σήματος και τη συχνότητά του. Δηλαδή είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν συσκευές που δέχονται σήματα με στενό εύρος ζώνης παρά το αντίθετο. Όπως είναι γνωστό, η διαμόρφωση μπορεί να αλλάξει τη συχνότητα του σήματος και να μετατρέψει ένα σήμα με μεγάλο εύρος σε ένα άλλο με στενό εύρος. Επομένως, στην περίπτωση που η συχνότητα της συσκευής με τη συχνότητα του σήματος δεν ταιριάζουν, διαμορφώνεται η συχνότητα του σήματος στη σταθερή συχνότητα της συσκευής.

#### ✓ Διαμόρφωση για παραχώρηση συχνότητας

Η διαμόρφωση δίνει τη δυνατότητα στους διάφορους ραδιοφωνικούς ή τηλεοπτικούς σταθμούς να εκπέμπουν συγχρόνως σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες. Επίσης επιτρέπει στους δέκτες να συντονίζονται προκειμένου να επιλέξουν διαφορετικούς σταθμούς.

#### ✓ Διαμόρφωση για περιορισμό θορύβου και παρεμβολών

Ο θόρυβος και οι παρεμβολές δεν μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς. Είναι όμως δυνατόν να περιοριστούν οι επιπτώσεις τους χρησιμοποιώντας ορισμένους τύπους διαμόρφωσης, γεγονός που το παίρνουν πάντα υπόψη τους οι σχεδιαστές συστημάτων επικοινωνίας.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Διαμόρφωση, διαμορφωτής, φέρον σήμα, φέρουσες συχνότητες, αποδιαμόρφωση, διαποδιαμορφωτής (*modem*), παλμοκωδική διαμόρφωση, ψηφιακή διαμόρφωση, πολυπλεξία.

## Μάθημα 1.6: Είδη διαμόρφωσης

### 1.6.1 Αναλογική μετάδοση και διαμόρφωση

Τα μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες είναι τέτοια, που δεν επιτρέπουν πάντα τη μετάδοση των σημάτων στην αρχική τους μορφή, δηλαδή χωρίς να έχουν υποστεί κάποιου είδους διαμόρφωση. Αυτό οφείλεται κυρίως:

- ✓ στις επαγωγικές επιδράσεις και στη χωρητικότητα που υπάρχει στις γραμμές επικοινωνίας,
- ✓ στο πρόβλημα του θορύβου και
- ✓ στην προσπάθεια για καλύτερη αξιοποίηση του μέσου μετάδοσης.

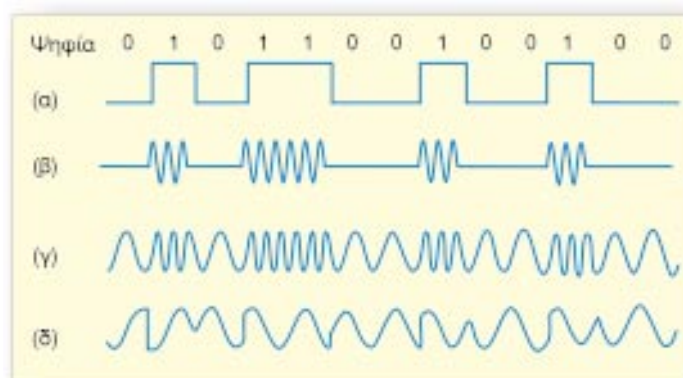
Σε όλα τα είδη διαμόρφωσης αυτό που γίνεται στην πραγματικότητα είναι η μετάδοση ενός αναλογικού σήματος (φορέα) επάνω στο οποίο προστίθεται το ψηφιακό σήμα, μεταβάλλοντας ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του (πλάτος, συχνότητα, φάση). Επομένως, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.29, έχουμε τρεις μορφές διαμόρφωσης:

- ✓ **διαμόρφωση πλάτους** (*AM: Amplitude Modulation*) (σχήμα 1.29β),
- ✓ **διαμόρφωση συχνότητας** (*FM: Frequency Modulation*) (σχήμα 1.29γ) και
- ✓ **διαμόρφωση φάσης** (*PM: Pulse Modulation*) (σχήμα 1.29δ).

Κατά τη **διαμόρφωση πλάτους** (*AM: Amplitude Modulation*) το πλάτος του αναλογικού σήματος (φορέα) που μεταδίδεται από το διαποδιαμορφωτή μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος. Για παράδειγμα, στο δυαδικό σήμα 010110 του σχήματος 1.30α το φέρον μπορεί να αναπαραστήσει τα δύο ψηφία 1 και 0 εναλλάσσοντας το πλάτος του με δύο συγκεκριμένα επίπεδα (στάθμες). Έτσι στο σχήμα 1.30β το ψηφίο 1 αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη στάθμη και το ψηφίο 0 στη μικρότερη, ενώ στο σχήμα 1.30γ το ψηφίο 1 αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη στάθμη και το ψηφίο 0 στη μηδενική (μικρότερη). Φυσικά ο διαποδιαμορφωτής είναι σε θέση να καθορίσει τη διαφορά μεταξύ των δύο επιπέδων του πλάτους και επομένως να επαναφέρει το αρχικό σήμα.

Στα τηλεφωνικά δίκτυα το κύριο πρόβλημα που υφίσταται με τη διαμόρφωση πλάτους είναι η εξασθένηση. Στον τερματισμό του το σήμα φθάνει εξασθενημένο, με αποτέλεσμα ο διαποδιαμορφωτής να μην μπορεί να ξεχωρίσει αν το εισερχόμενο σήμα μικρού πλάτους (χαμηλής στάθμης) είναι πράγματι μικρό ή ήταν μεγάλο και

**Επαγωγή** είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο το ηλεκτρικό φορτίο ενός κυκλώματος μεταφέρει αντίθετα φορτία σε ένα γειτονικό του κύκλωμα.



Σχήμα 1.29: Μορφές διαμόρφωσης του δυαδικού σήματος (α): ως προς το πλάτος (β), ως προς τη συχνότητα (γ) και ως προς τη φάση (δ)

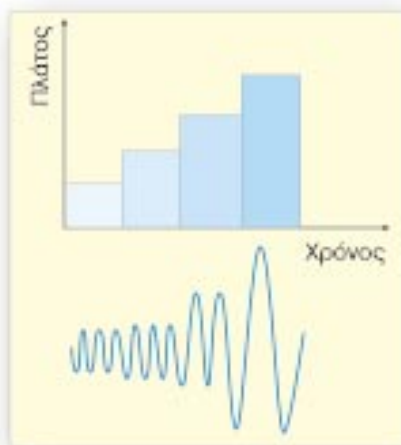




**Στάθμη** ονομάζεται μια τιμή της ηλεκτρικής τάσης, π.χ.  $\pm 5$  Volt.

μειώθηκε. Επομένως ο διαποδιαμορφωτής του δέκτη ενδιαφέρεται κυρίως για τις σχετικές τιμές που έχουν τα πλάτη και όχι για τις ακριβείς τιμές τους.

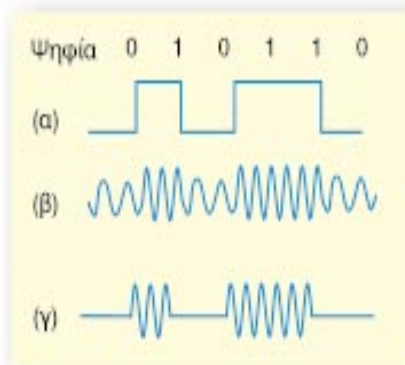
Στην περίπτωση του ψηφιακού σήματος οι ορθογώνιοι παλμοί, αφού μετατραπούν σε αναλογικό σήμα, διέρχονται από ένα φίλτρο που επιτρέπει να περάσουν όσες αρμονικές χωρούν στο πλάτος του μέσου μετάδοσης και απορρίπτει τις αρμονικές των υψηλότερων συχνοτήτων. Οι χαμηλές αρμονικές στη συνέχεια διαμορφώνουν κατά πλάτος το αναλογικό σήμα του φέροντος, το οποίο τελικά διαβιβάζεται στο μέσο. Όμως το πλάτος του σήματος μπορεί να πάρει περισσότερες τιμές, οπότε κάθε στάθμη θα αντιπροσωπεύεται με περισσότερα από ένα ψηφία. Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.31 το πλάτος του φέροντος παίρνει τέσσερις τιμές, που αντιπροσωπεύουν τα τέσσερα ζεύγη ψηφίων 00, 01, 10, 11, διπλασιάζοντας μ' αυτό τον τρόπο το ρυθμό μετάδοσης.



Σχήμα 1.31: Διαμόρφωση πλάτους με περισσότερες τιμές

και 0.

Η διαμόρφωση συχνότητας δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τη διαμόρφωση πλάτους, επειδή το πλάτος της συχνότητας του σήματος που εισέρχεται είναι πάντοτε μεγαλύτερο από κάποιο επίπεδο, πράγμα που επηρεάζει τη δυνατότητα του διαποδιαμορφωτή να αντιληφθεί αν το εισερχόμενο σήμα είναι πράγματι χαμηλής στάθμης ή όχι.



Σχήμα 1.30: Διαμόρφωση AM

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, επειδή το σύστημα είναι ευαίσθητο σε θορύβους και επειδή η παραγωγή του φέροντος απαιτεί πολλές μεταβολές στο πλάτος του, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολα υλοποιήσιμη.

Μία από τις πιο συνηθισμένες μορφές διαμόρφωσης είναι η **μετατόπιση συχνότητας** (FSK: Frequency Shift Keying). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετάθεση της συχνότητας του αναλογικού σήματος, αφού ληφθεί υπόψη και το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα. Επομένως ένα εισερχόμενο 0 μετατοπίζεται σε κάποια χαμηλή συχνότητα, ενώ ένα εισερχόμενο 1 σε κάποια υψηλή συχνότητα (σχήμα 1.29 γ), ή αντίστροφα. Ο διαποδιαμορφωτής, αφού λάβει το σήμα, διαχωρίζει τις εισερχόμενες συχνότητες, ερμηνεύοντας με αυτό τον τρόπο τα ψηφία 1



## Παράδειγμα VIII

Όπως είναι γνωστό, ο διαμοδιαμορφωτής είναι η συσκευή που μπορεί να διαμορφώσει και να αποδιαμορφώσει ένα σήμα. Για το λόγο αυτό η συσκευή τοποθετείται και στον αποστολέα και στον αποδέκτη του σήματος. Έστω ότι το κανάλι επικοινωνίας μπορεί να χωριστεί σε δύο λογικά κανάλια, εκ των οποίων το λογικό κανάλι 1 παρέχει συχνότητες στα 1.075 - 1.275 Hz προς την κατεύθυνση του αποδέκτη και το λογικό κανάλι 2 παρέχει συχνότητες στα 2.025 - 2.225 Hz προς την κατεύθυνση του αποστολέα. Τότε, επάνω στην ίδια γραμμή, την ίδια χρονική στιγμή, μπορεί να συνυπάρχουν τα ίδια ή διαφορετικά ψηφία 1 ή 0, μόνο που θα οδεύουν προς αντίθετες κατευθύνσεις.

Η επιλογή των παραπάνω συχνοτήτων έγινε, επειδή η περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στην τηλεφωνία είναι από 300 έως 3.400 Hz. Αυτό έχει ως συνέπεια, όπου χρησιμοποιούνται οι τηλεφωνικές γραμμές για επικοινωνία ηλεκτρονικών υπολογιστών, να ακολουθείται το ίδιο εύρος ζώνης συχνοτήτων που παρέχουν αυτές οι γραμμές (300 - 3.400 Hz). Έτσι με το χωρισμό του καναλιού επικοινωνίας σε δύο λογικά κανάλια είναι δυνατόν να παρασχεθεί ταυτόχρονη αμφίπλευρη μετάδοση (*full duplex*).

Κατά τη **μετατόπιση φάσης (PSK: Phase Shift Keying)** ή, διαφορετικά, **διαμόρφωση φάσης** μετατοπίζεται η φάση του αναλογικού σήματος (φορέα) ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος που μεταδίδεται από το διαμοδιαμορφωτή. Η συχνότητα του σήματος δεν αλλάζει. Με την είσοδο των ψηφίων 0 και 1, μόνο η φάση του σήματος αλλάζει. Στην απλούστερη των περιπτώσεων το ψηφίο 1 μπορεί να επιφέρει μετατόπιση της φάσης του κατά  $180^\circ$  σε σχέση με την προηγούμενη φάση του αναλογικού (ημιτονοειδούς) σήματος, ενώ το ψηφίο 0 δεν επιφέρει καμιά αλλαγή φάσης. Επομένως η μέθοδος βασίζεται στη μεταβολή της φάσης του αναλογικού σήματος και λαμβάνει υπόψη της και το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα.

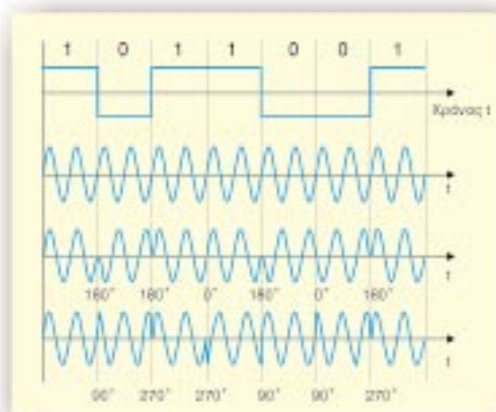
Υπάρχουν δύο τεχνικές διαμόρφωσης φάσης. Στην πρώτη, που λέγεται μέθοδος **σταθερής αναφοράς<sup>8</sup>**, ο αποδέκτης χρειάζεται κάποιο σήμα αναφοράς με το οποίο θα βρίσκεται σε σταθερή φάση, ώστε να μπορεί να ερμηνεύει ποια φάση παριστάνει το ψηφίο 0 και ποια το 1. Το μειονέκτημα της μεθόδου συνίσταται στη σύγκριση με το σήμα αναφοράς του δέκτη. Στη δεύτερη, που λέγεται **διαφορική διαμόρφωση φάσης (DPSK: Differential PSK)**, δε χρειάζεται το σταθερό σήμα, γιατί δε συγκρίνονται οι ίδιες οι φάσεις του φέροντος αλλά η μεταξύ τους σχέση. Τα ψηφία κωδικοποιούνται σε σχέση με κάποια μεταβολή της φάσης του φέροντος. Για παράδειγμα, μια μετατόπιση της φάσης κατά  $90^\circ$  μπορεί να παριστάνει το ψηφίο 0 και μια μετατόπιση κατά  $270^\circ$  το ψηφίο 1. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να παραστήσουμε και συνδυασμούς ψηφίων με διάφορες μετατοπίσεις φάσης, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό μετάδοσης. Μετατοπίσεις φάσεων συμβαίνουν σε κάθε μεταβολή από το ψηφίο 0 ή 1, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο αυτά μεταδίδονται. Στο σχήμα 1.32 μια μετατό-

Η περιοχή συχνοτήτων από 300 έως 3.400 Hz, που χρησιμοποιείται από την τηλεφωνία, θεωρείται η καταλληλότερη, από άποψη ευκρίνειας, για την ακοή του ανθρώπου.



Η μετάδοση αναλογικών σημάτων όσον αφορά την κατεύθυνσή της είναι τριών ειδών: η **μονόπλευρη** μετάδοση (*simplex*), όπου τα σήματα κινούνται μόνο προς μία κατεύθυνση (π.χ. οι εκπομπές της τηλεόρασης), η **ημίπλευρη** μετάδοση (*half duplex*), όπου τα σήματα κινούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις, όχι όμως ταυτόχρονα (π.χ. ο κλασικός ασύρματος), και τέλος η **αμφίπλευρη** μετάδοση (*full duplex*), όπου τα σήματα κινούνται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

<sup>8</sup>Η μέθοδος, στην πλέον γνωστή μορφή της, χρησιμοποιεί δύο σταθερά σήματα ως φορείς, που αντιπροσωπεύουν τα ψηφία 0 και 1, με διαφορά φάσης  $180^\circ$ .



Σχήμα 1.32: Μέθοδος σταθερής αναφοράς και διαφορική διαμόρφωση φάσης

πιση φάσης  $90^\circ$  σε σχέση με το τρέχον σήμα υπονοεί ότι το επόμενο ψηφίο είναι 0, ενώ μια μετατόπιση  $270^\circ$  υπονοεί το ψηφίο 1.

Για την παράσταση περισσότερων ψηφίων σε κάθε μετατόπιση φάσης χρειαζόμαστε περισσότερες φάσεις και οπωσδήποτε περισσότερες γωνίες, που στην πράξη δύσκολα επιτυγχάνονται ή ανιχνεύονται. Σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης χρησιμοποιούνται συνδυασμοί διαμορφώσεων πλάτους και φάσης. Το είδος αυτό της διαμόρφωσης καλείται **ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους** (QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*) και χρησιμοποιείται σε εξελιγμένες διατάξεις μετατροπής.

## 1.6.2 Ψηφιακή μετάδοση και διαμόρφωση

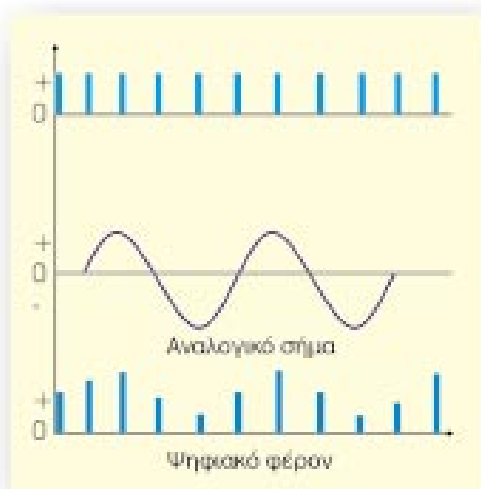
Οι μέθοδοι που περιγράψαμε στην παράγραφο 1.6.1 αφορούν την αναλογική μετάδοση των σημάτων, όπου ο φορέας είναι αναλογικό σήμα. Όμως τα τελευταία χρόνια, παράλληλα με τη ραγδαία εξέλιξη στη μικροηλεκτρονική, έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό και οι τεχνικές που αφορούν την ψηφιακή μετάδοση των σημάτων. Είναι πλέον ορατό σε όλους τους χώρους εφαρμογών ότι επιτελείται σταδιακά, αλλά με διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς, η αντικατάσταση των αναλογικών μέσων μετάδοσης με ψηφιακά, τα οποία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων. Οι σημαντικότερες συνθήκες που ευνόησαν την εξέλιξη αυτή είναι:

- ✓ Η ανάγκη για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- ✓ Οι μικρότερες παραμορφώσεις που υφίστανται τα ψηφιακά σήματα σε σχέση με τα αναλογικά.
- ✓ Η δυνατότητα ελέγχου και διόρθωσης των ψηφιακών σημάτων στους αναμεταδότες και στους αποδέκτες, πράγμα που δεν είναι δυνατόν να γίνει στα αναλογικά σήματα.
- ✓ Η ανάπτυξη νέων μέσων μετάδοσης σημάτων και οι τεχνολογικές βελτιώσεις άλλων, όπως είναι οι οπτικές ίνες, οι δορυφόροι κτλ.

Η διαμόρφωση στην ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνεται ως εξής: ένα αναλογικό σήμα διαμορφώνει ένα ψηφιακό φέρον, δηλαδή μια σειρά παλμών των οποίων μεταβάλλει το πλάτος, και κατόπιν το σήμα που προκύπτει αποστέλλεται για μετάδοση (σχήμα 1.33). Σε τακτά χρονικά διαστήματα παίρνονται δείγματα από το πλάτος του αναλογικού σήματος και με βάση αυτά καθορίζεται το πλάτος των αντίστοιχων παλμών του



Παράδειγμα μιας τέτοιας εξέλιξης αποτελεί το τηλεφωνικό σύστημα, το οποίο χρησιμοποιούσε μέχρι πρόσφατα αναλογικές τεχνικές μετάδοσης, που όμως σήμερα έχουν σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από την ψηφιακή μετάδοση.



Σχήμα 1.33: Παλμοκωδική διαμόρφωση

φέροντος. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, η συχνότητα με την οποία παίρνονται τα δείγματα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος ζώνης που καλύπτει το σήμα. Έτσι, για παράδειγμα, στο τηλεφωνικό σύστημα στο οποίο διατίθεται ένα εύρος ζώνης 4.000 Hz για την πιστή αναπαραγωγή της ομιλίας θα χρειαστούν  $4.000 \times 2 = 8.000$  δείγματα παλμών το δευτερόλεπτο.

Η διαμόρφωση του ψηφιακού φέροντος επιτυγχάνεται μέσω ενός αναλογικού σήματος, το οποίο μπορεί επίσης να μεταβάλλει είτε τη διάρκεια των παλμών, οπότε έχουμε τη μέθοδο **διαμόρφωσης διάρκειας παλμών** (PDM: *Pulse Duration Modulation*), είτε τη θέση των παλμών, οπότε έχουμε τη μέθοδο **διαμόρφωσης**

**θέσης παλμών** (PPM: *Pulse Position Modulation*). Όμως η μέθοδος που κατακτά όλο και περισσότερο έδαφος είναι αυτή της **παλμοκωδικής διαμόρφωσης** (PCM: *Pulse Code Modulation*), σύμφωνα με την οποία τα αναλογικά σήματα μετατρέπονται σε σειρές ψηφίων κατά παρόμοιο τρόπο με τα δεδομένα των υπολογιστών. Η μέθοδος PCM προδιαγράφει τον τρόπο μετάδοσης των αναλογικών και των ψηφιακών σημάτων μέσω ψηφιακών συστημάτων. Η μετάδοσή τους γίνεται με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς ( $> 10^6$  bps) από αυτούς των αναλογικών συστημάτων.

Από την πλευρά του αποστολέα, εάν τα σήματα είναι ψηφιακά, είναι ήδη έτοιμα για μετάδοση και δε χρειάζονται καμιά προσαρμογή. Αν όμως είναι αναλογικά, τότε πρέπει να ψηφιοποιηθούν. Η ψηφιοποίηση γίνεται ως ακολούθως:

- ✓ Λαμβάνονται δείγματα του σήματος με συχνότητα που πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος ζώνης που καλύπτει το σήμα.
- ✓ Κωδικοποιούνται τα δείγματα έτσι, ώστε να αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο χαρακτήρα.
- ✓ Τοποθετούνται στο μέσο μετάδοσης ένα - ένα όλα τα ψηφία που αποτελούν τους χαρακτήρες του δείγματος προκειμένου να σταλούν προς τον αποδέκτη.

Από την πλευρά του αποδέκτη, η αναγνώριση του ψηφιοποιημένου σήματος γίνεται ως ακολούθως:

- ✓ Συλλέγονται τα ψηφία που αποστέλλονται σύμφωνα με τη σειραϊκή μετάδοση (Μάθημα 2.2) και ομαδοποιούνται σε χαρακτήρες δειγμάτων.
- ✓ Αποκωδικοποιούνται τα δείγματα (*decoding*), δηλαδή αναγνωρίζονται από τους συγκεντρωμένους χαρακτήρες.
- ✓ Μετατρέπονται τα δείγματα του ψηφιακού σήματος σε σήμα αναλογικής μορφής (*digital/analog conversion*).



Το **PCM** ανοίγει νέους ορίζοντες στη μεταφορά ήχου, εικόνας και δεδομένων μέσω ενός ψηφιακού δικτύου ολοκληρωμένων υπηρεσιών (ISDN).



Κάθε χαρακτήρας (byte) απο-  
τελείται από ένα συνδυασμό 8  
ψηφίων 0 ή 1, που ονομάζο-  
νται bits.



Κάθε πομπός και κάθε δέκτης  
διαθέτουν ένα ρολόι που εκ-  
πέμπει παλμούς σε κάποια συ-  
γκεκριμένη συχνότητα, στην  
οποία συντονίζεται κάθε εκ-  
πεμπόμενο σήμα.



Στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται  
οι γραμμές E1 (αντιστοιχούν  
στις γραμμές T1 που χρησι-  
μοποιούνται στις Η.Π.Α.) οι  
οποίες στηρίζονται στο πρω-  
τόκολλο PCM 30 της CCITT.  
Με βάση το πρωτόκολλο αυτό  
μεταφέρονται ταυτόχρονα σή-  
ματα 32 καναλιών με ρυθμό  
 $32 \times 64 \text{ Kbps} = 2.048 \text{ Mbps}$ .

Επομένως το πλάτος κωδικοποίησης προδιαγράφει την αξιοπιστία μεταξύ του σή-  
ματος που αποστέλλεται και του σήματος που λαμβάνεται. Αποτελεί σημαντικό παρά-  
γοντα, αφού η σωστή επιλογή του αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη ανεκτού  
SNR, σύντομης διάρκειας και χαμηλού κόστους μετάδοσης.

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την κωδικοποίηση της πληροφορίας εξαρτά-  
ται από ορισμένους παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Το εύρος ζώνης που χρειάζεται ο πομπός για τη μετάδοση των δεδομένων.
- ✓ Η ευκολία με την οποία ο δέκτης διαχωρίζει το σήμα από τον παλμό του ρολο-  
γιού του πομπού.
- ✓ Η ευκολία με την οποία ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει σφάλματα που δη-  
μιουργήθηκαν κατά τη μετάδοση της πληροφορίας.
- ✓ Η ευκολία κατασκευής του κωδικοποιητή / αποκωδικοποιητή.
- ✓ Η ανοχή στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο που δημιουργούν οι διάφορες συσκευές,  
ο οποίος αποτελεί έναν από τους λόγους δημιουργίας σφαλμάτων κατά τη μετά-  
δοση.

### 1.6.3 Κωδικοποίηση

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες κωδικοποίησης σημάτων. Η πρώτη είναι η **μο-  
νοπολική**, στην οποία εκτός από τη μηδενική στάθμη χρησιμοποιείται και άλλη μία,  
όπως στο απλό ψηφιακό σήμα. Είναι η απλούστερη ως προς την εφαρμογή της  
κατηγορία κωδικοποίησης. Η δεύτερη κατηγορία είναι η **διπολική**, στην οποία υπάρ-  
χουν άλλες δύο στάθμες εκτός από τη μηδενική, συνήθως η μία μικρότερη και η  
άλλη μεγαλύτερη από τη μηδενική. Οι μέθοδοι κωδικοποίησης που υπάρχουν σήμε-  
ρα είναι αρκετές, εδώ όμως θα αναφερθούν οι πιο γνωστές και ευρύτερα χρησιμο-  
ποιούμενες (σχήμα 1.34).

- ✓ Η μέθοδος **μη επαναφοράς στο μηδέν** (NRZ: *Non Return to Zero*) αποτελεί  
την κλασική μέθοδο μονοπολικής κωδικοποίησης, στην οποία το λογικό μη-  
δέν παριστάνεται από τη μηδενική στάθμη και το λογικό ένα από την υψηλό-  
τερη στάθμη.
- ✓ Η μέθοδος της **διπολικής επαναφοράς στο μηδέν** (BRZ: *Bipolar Return to Zero*)  
είναι μία από τις διπολικές μεθόδους κωδικοποίησης σύμφωνα με την οποία το  
λογικό μηδέν (0) παριστάνεται από τη στάθμη που είναι χαμηλότερη της μηδενι-  
κής και συνήθως συμβολίζεται με  $-1$ , ενώ το λογικό ένα (1) παριστάνεται από την  
υψηλότερη της μηδενικής στάθμη. Οι στάθμες αυτές διαρκούν μόνο για χρονικό  
διάστημα ίσο με το πρώτο μισό του χρόνου μετάδοσης του δυαδικού ψηφίου, ενώ

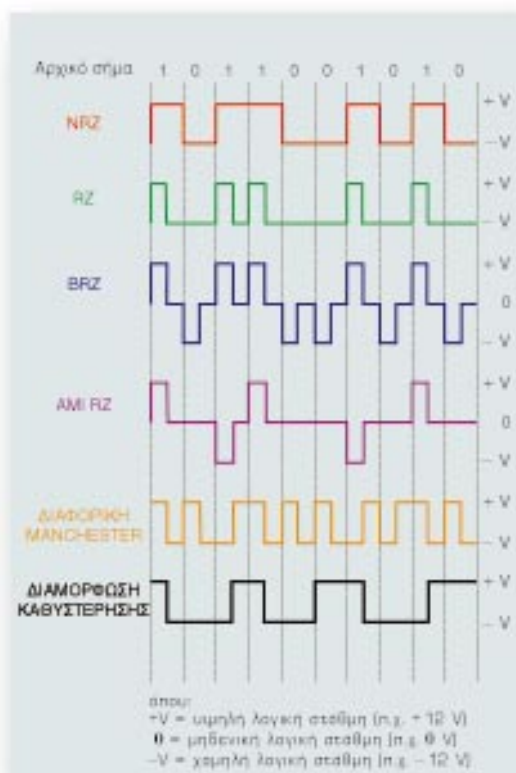


στη συνέχεια το κανάλι επανέρχεται στη μηδενική στάθμη.

- ✓ Με τη μέθοδο της **κωδικοποίησης Manchester** (*Manchester code*) ο χρόνος μετάδοσης κάθε δυαδικού ψηφίου διαιρείται σε δύο ίσα διαστήματα. Ένα δυαδικό ψηφίο με τιμή 1 αποστέλλεται έχοντας τη στάθμη υψηλή κατά τη διάρκεια του πρώτου διαστήματος και χαμηλή κατά τη διάρκεια του δεύτερου. Ένα δυαδικό ψηφίο με τιμή 0 αποστέλλεται ανάποδα, δηλαδή πρώτα η χαμηλή και μετά η υψηλή στάθμη. Αυτό το σχήμα εξασφαλίζει ότι ο χρόνος μετάδοσης κάθε δυαδικού ψηφίου έχει μια μεταβολή κατάστασης στο μέσο, δηλαδή εναλλαγή της τάσης (π.χ. από  $-5\text{ V}$  σε  $+5\text{ V}$  ή και αντίστροφα), διευκολύνοντας τον αποδέκτη να συγχρονιστεί με τον αποστολέα. Ένα μειονέκτημα αυτής της κωδικοποίησης είναι ότι απαιτεί δύο φορές το εύρος ζώνης της άμεσης δυαδικής κωδικοποίησης, επειδή οι παλμοί έχουν το μισό πλάτος.

- ✓ Η **διαφορική κωδικοποίηση Manchester** (*Manchester differential code*) είναι μία μονοπολική μέθοδος, παραλλαγή της βασικής κωδικοποίησης Manchester. Με τη μέθοδο αυτή υπάρχει πάντα αλλαγή στάθμης στο μέσο κάθε δυαδικού ψηφίου. Εάν το δυαδικό ψηφίο που μεταδίδεται είναι το λογικό ένα (1), τότε η στάθμη δεν αλλάζει στην αρχή του συγκεκριμένου δυαδικού ψηφίου. Εάν είναι το λογικό μηδέν (0), τότε υπάρχει αλλαγή στάθμης, εκτός από το μέσο, και στην αρχή του συγκεκριμένου δυαδικού ψηφίου. Η διαφορική κωδικοποίηση *Manchester* απαιτεί πιο πολύπλοκο εξοπλισμό, αλλά προσφέρει καλύτερη ανοχή στο θόρυβο.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.34, άλλες μέθοδοι κωδικοποίησης είναι η **επαναφορά στο μηδέν** (*RZ: Return to Zero*), η μέθοδος **εναλλακτικού σημείου αντιστροφής** (*AMI-RZ: Alternate Mark Inversion-RZ*) και τέλος η μέθοδος της **διαμόρφωσης καθυστέρησης** (*delayed modulation*).



Σχήμα 1.34: Διάφορες μέθοδοι κωδικοποίησης



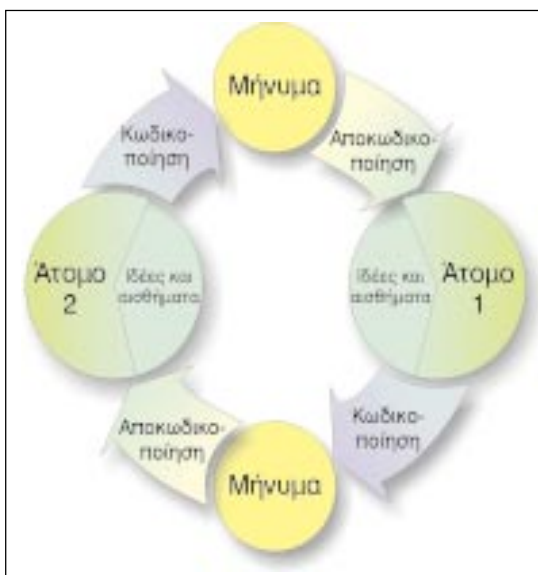
Οι διάφορες μέθοδοι κωδικοποίησης διακρίνονται μεταξύ τους ως ακολούθως:

- ✓ Όταν το ψηφίο 1 αντιστοιχεί σε υψηλή τάση και το ψηφίο 0 σε αποβολή ρεύματος, έχουμε τη μέθοδο NRZ.
- ✓ Όταν το ψηφίο 0 αντιστοιχεί σε χαμηλή τάση και το ψηφίο 1 σε υψηλή, δηλαδή έχουμε δύο τάσεις για τα ψηφία 0 και 1, τότε έχουμε τη διπολική μέθοδο.
- ✓ Όταν το ψηφίο 0 αντιστοιχεί με αλλαγή της τάσης, ενώ το ψηφίο 1 με την ίδια τάση με την αρχική, πριν δηλαδή από την εκπομπή, έχουμε τη μέθοδο της διαφορικής κωδικοποίησης Manchester.

## Μάθημα 1.7: Μοντέλο επικοινωνίας

Ως επικοινωνία νοείται η **μεταβίβαση πληροφοριών** από κάποιον αποστολέα σε κάποιον παραλήπτη μέσω ενός κοινού συστήματος συμβόλων. Επομένως η επικοινωνία σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα – σύμφωνα και μ' αυτά που έχουν παρουσιαστεί μέχρι τώρα – είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη ορισμένων λειτουργικών τμημάτων, δηλαδή ενός **πομπού**, ενός **δέκτη** και ενός **μέσου μεταφοράς** της πληροφορίας. Εάν η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι μικρή, τότε το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας είναι ο αέρας. Εάν η απόσταση είναι μεγάλη, τότε θα πρέπει να είναι κάποια τηλεφωνική γραμμή. Τα ανωτέρω συνιστούν ένα απλό μοντέλο επικοινωνίας (σχήμα 1.35).

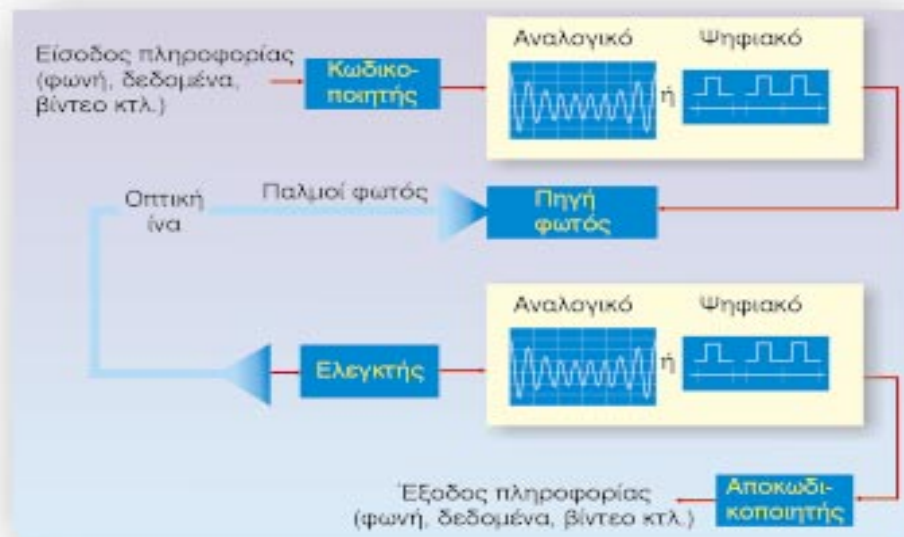
Στο σχήμα 1.36 παρουσιάζεται ένα σύνθετο μοντέλο επικοινωνίας, του οποίου φαίνονται όλα τα λειτουργικά τμήματα. Η πληροφορία που παράγεται και εκπέμπεται από κάποια πηγή εισάγεται, μέσω κάποιας ηλεκτρικής κυματομορφής, στον πομπό. Ο τελικός σκοπός του συστήματος επικοινωνίας είναι η μεταβίβαση μηνυμάτων ή ακολουθίας συμβόλων στο σημείο προορισμού, με όσο γίνεται μεγαλύτερο ρυθμό μεταβίβασης και υψηλότερη πιστότητα. Η πηγή της πληροφορίας και το σημείο προορισμού βρίσκονται σαφώς σε κάποια απόσταση μεταξύ τους και συνδέονται με μία γραμμή επικοινωνίας (κανάλι).



Σχήμα 1.35: Απλό μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία

Στην αρχή η πληροφορία που πρόκειται να μεταδοθεί κωδικοποιείται με τη βοήθεια κάποιου κώδικα. Ο πομπός λαμβάνει την παραγόμενη σειρά δυαδικών ψηφίων και τη μετατρέπει σε διαμορφωμένο σήμα, κατάλληλο για μεταφορά από το μέσο μετάδοσης, προκειμένου να τη στείλει στον προορισμό της. Ο δέκτης θα πρέπει να παρακολουθεί το μέσο μετάδοσης, για να αναγνωρίσει την πληροφορία που μεταδίδεται. Όταν ο δέκτης λάβει το σήμα, το αποδιαμορφώνει και μεταφέρει στο σημείο εξόδου την πληροφορία, πάλι με τη μορφή ηλεκτρικής κυματομορφής, για περαιτέρω επεξεργασία. Ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης της μεταφερόμενης πληροφορίας, το είδος του μέσου μεταφοράς και τον τρόπο συντονισμού του δέκτη με τον πομπό, προκύπτουν οι διαφορετικές τεχνικές μετάδοσης.

Η γραμμή επικοινωνίας δέχεται ηλεκτρικά / ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Η έξοδος του σήματος είναι συνήθως μια παραλλαγή της εισόδου του, λόγω της μη ιδανικής



Σχήμα 1.36: Σύνθετο μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία

συμπεριφοράς του καναλιού. Επιπλέον η πληροφορία έχει υποστεί φθορά από απρόβλεπτα ηλεκτρικά σήματα (θόρυβος), που οφείλονται τόσο σε ανθρώπινες όσο και σε φυσικές αιτίες. Η παραμόρφωση και ο θόρυβος δημιουργούν σφάλματα στην πληροφορία που μεταβιβάζεται και έτσι περιορίζουν το ρυθμό με τον οποίο η πληροφορία θα μπορούσε να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό της. Η κύρια λειτουργία του κωδικοποιητή, του διαμορφωτή, του αποδιαμορφωτή και τέλος του αποκωδικοποιητή είναι να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της υποβάθμισης του σήματος από το κανάλι και να μεγιστοποιήσουν το ρυθμό και την ακρίβεια της πληροφορίας που μεταδίδεται.

Με βάση τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, καθώς και το είδος της πληροφορίας, μπορούμε να διακρίνουμε τα συστήματα επικοινωνίας στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- ✓ Αναλογικά συστήματα επικοινωνίας, σχεδιασμένα για τη μετάδοση αναλογικής πληροφορίας με χρήση αναλογικών μεθόδων διαμόρφωσης.
- ✓ Ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας, σχεδιασμένα για τη μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων διαμόρφωσης.
- ✓ Μεικτά (υβριδικά) συστήματα επικοινωνίας, που χρησιμοποιούν ψηφιακές μεθόδους διαμόρφωσης για τη μετάδοση διακριτών τιμών από αναλογικό σήμα μηνύματος.

Σημειώνεται ότι υπάρχουν και άλλοι τρόποι διάκρισης των συστημάτων επικοινωνίας σε κατηγορίες, που βασίζονται στη συχνότητα του φέροντος και στη φύση του καναλιού επικοινωνίας.



Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, το καθένα από τα λειτουργικά τμήματα ενός συστήματος επικοινωνίας θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ Οι **πηγές** πληροφορίας μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες με βάση το είδος των σημάτων εξόδου τους: στις πηγές αναλογικής πληροφορίας και στις πηγές ψηφιακής (διακριτής) πληροφορίας. Οι πηγές αναλογικής πληροφορίας — όπως το μικρόφωνο, όταν διεγείρεται από ομιλία, ή η βιντεοκάμερα, όταν κάνει λήψη μιας σκηνής — δίνουν ένα ή περισσότερα σήματα που μεταβάλλονται συνεχώς μέσα στο χρόνο. Αντίθετα, η έξοδος των πηγών ψηφιακής πληροφορίας — όπως ένα τηλέτυπο ή το αποτέλεσμα μιας διεργασίας που βλέπουμε στην οθόνη ενός υπολογιστή — αποτελείται από μια σειρά διακριτών συμβόλων ή γραμμάτων.
- ✓ Το **μέσο μετάδοσης** πραγματοποιεί τη φυσική (ηλεκτρική) σύνδεση μεταξύ της πηγής και του προορισμού της πληροφορίας. Η γραμμή επικοινωνίας μπορεί να είναι ένα ζεύγος συρμάτων ή ένα τηλεφωνικό καλώδιο ή μια οπτική ίνα ή ακόμα ο ελεύθερος χώρος μέσα στον οποίο μεταδίδεται το σήμα που μεταφέρει την πληροφορία.
- ✓ Ο **δέκτης**, αφού πάρει το εξασθενημένο σήμα από το μέσο μετάδοσης, το επαναφέρει στην πραγματική του κατάσταση. Επιτελεί τη λειτουργία αυτή με τη διεργασία της αποδιαμόρφωσης, η οποία είναι η αντίστροφη της διαμόρφωσης που επιτελείται στον πομπό. Λόγω της παρουσίας θορύβου και άλλων παραμορφωτικών σημάτων, ο δέκτης δεν μπορεί να επαναφέρει τέλεια το σήμα του μηνύματος. Εκτός από την αποδιαμόρφωση, ο δέκτης κάνει συνήθως ενίσχυση και φιλτράρισμα του σήματος.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πηγή, πομπός, δέκτης, μέσο μεταφοράς ή μετάδοσης μοντέλο επικοινωνίας.





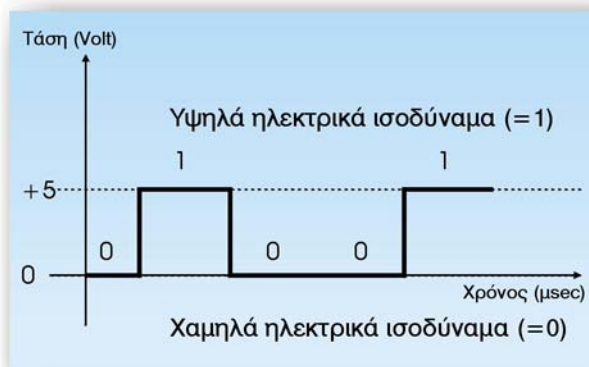
## Μάθημα 2.1: Βασικές έννοιες

### 2.1.1 Εισαγωγή



Στο γνωστό δεκαδικό σύστημα αρίθμησης χρησιμοποιούμε τα δέκα ψηφία 0, 1, 2, ..., 9, σε αντιδιαστολή με το δυαδικό σύστημα αρίθμησης στο οποίο χρησιμοποιούμε μόνο τα ψηφία 0 και 1.

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1, η πληροφορία, που στην ουσία συνιστά σήμα, μπορεί να είναι οποιασδήποτε μορφής: μια ομιλία στο τηλέφωνο, η εικόνα που λαμβάνει μια κάμερα από ένα βιντεοτηλέφωνο, κάποιο πληκτρολογημένο μήνυμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα μήνυμα τηλεομοιοτυπίας (*fax*), μια ιστοσελίδα (*WWW page*) από περιήγηση στο Διαδίκτυο (*Internet*) και γενικώς οτιδήποτε άλλο μπορεί να διακινηθεί μέσα σε ένα σύστημα με τη μορφή δεδομένων (*data*). Τα **δεδομένα**, που αποτελούν το ακατέργαστο πληροφοριακό υλικό (κείμενο, γραφικά, εικόνα, ήχος, βίντεο κτλ.), μπορεί να είναι είτε ανεξάρτητα το ένα από το άλλο είτε να συνδυάζο-



Σχήμα 2.1: Το δυαδικό (ψηφιακό) σήμα



Το **bit**, η μικρότερη μονάδα δεδομένων, ισοδυναμεί με έναν παλμό σήματος ή με ένα σημείο σε κάποιο μαγνητικό μέσο που είναι ικανό να αποθηκεύσει το δυαδικό ψηφίο 0 ή 1.

νται μεταξύ τους. Η βασική μονάδα δεδομένων είναι το **δυαδικό ψηφίο (binary digit)**, το οποίο αναφέρεται διεθνώς ως **bit** και παίρνει δύο τιμές, 1 και 0, σύμφωνα με το δυαδικό σύστημα αρίθμησης που έχει βάση το 2.

Τόσο κατά την επεξεργασία των δεδομένων όσο και κατά τη μετάδοσή τους τα ψηφία παριστάνονται με ηλεκτρικά ισοδύναμα (παλμούς) υψηλής ή χαμηλής στάθμης. Έτσι, για την παράσταση των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, ένα σήμα υψηλής στάθμης (π.χ. +5 Volt) παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 1, ενώ ένα σήμα χαμηλής στάθμης (π.χ. 0 Volt) το δυαδικό ψηφίο 0 (σχήμα 2.1).





## 2.1.2 Κωδικοποίηση δεδομένων

Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα τα δεδομένα παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο που απεικονίζονται και στο εσωτερικό ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Συνδυάζονται κατά ομάδες, συννηθέστερα των 8 δυαδικών ψηφίων, τους γνωστούς **χαρακτήρες** (*bytes*), οι οποίοι συνιστούν τη βάση των κωδικών παράστασης των αριθμών, των αλφαριθμητικών χαρακτήρων, των ειδικών συμβόλων κτλ. και αποτελούν τα συστατικά στοιχεία των δεδομένων. Επομένως ο **κώδικας** είναι ένα σύνολο από σύμβολα και κανόνες οι οποίοι μας βοηθούν να παραστήσουμε κάποια πληροφορία. Στους κώδικες κάθε χαρακτήρας αντιστοιχεί σε έναν και μοναδικό αλφαριθμητικό ή αριθμητικό χαρακτήρα, σε ένα σημείο στίξης, σε ένα ειδικό σύμβολο κτλ. Γνωστοί κώδικες, οι οποίοι προσδιορίζουν τη μοναδική παράσταση ενός χαρακτήρα με συγκεκριμένο αριθμό δυαδικών ψηφίων, είναι οι κώδικες *ASCII*, *BCD* και *EBCDIC*.

Ειδικότερα, στον κώδικα *ASCII* χρησιμοποιούνται επτά δυαδικά ψηφία (τρανζίστορ), με τα οποία μπορούμε να παραστήσουμε  $2^7$  (δηλαδή 128) διαφορετικούς χαρακτήρες. Συνοπτικά, ο κώδικας περιλαμβάνει 26 κεφαλαία λατινικά γράμματα, 26 μικρά γράμματα, 10 αριθμούς, σημεία στίξης, σύμβολα και 33 ειδικούς χαρακτήρες. Οι ειδικοί χαρακτήρες χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό της πληροφορίας, τον έλεγχο της επικοινωνίας, τον έλεγχο των συσκευών κτλ.

Όμως η ανάγκη να παρασταθούν και άλλοι χαρακτήρες, όπως για παράδειγμα το αλφάβητο μιας άλλης γλώσσας εκτός από την αγγλική, οδήγησε στη δημιουργία του επεκτεταμένου κώδικα *ASCII*. Στον κώδικα αυτό χρησιμοποιούνται οκτώ δυαδικά ψηφία και επομένως μπορούν να παρασταθούν  $2^8$  (δηλαδή 256) διαφορετικοί χαρακτήρες. Για την Ελλάδα η επέκταση του *ASCII* στα οκτώ δυαδικά ψηφία ονομάζεται *ΕΛΟΤ 928* και έγινε από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης. Οι πρώτοι 128 χαρακτήρες είναι σχεδόν όμοιοι με τους αντίστοιχους του κώδικα *ASCII*, ενώ στους επόμενους 128 έχουμε τα ελληνικά γράμματα (κεφαλαία και μικρά). Αξίζει να σημειωθεί πως ο *ΕΛΟΤ 928* έχει υιοθετηθεί από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (*ISO: International Standards Organization*) και αναφέρεται ως *ISO 8859-7*. Στο εξής, όταν θα αναφερόμαστε στον κώδικα *ASCII*, θα εννοούμε τον επεκτεταμένο κώδικα.

Ένας άλλος κώδικας είναι ο *BCD*, που χρησιμοποιεί έξι δυαδικά ψηφία για την παράσταση ενός χαρακτήρα, με αποτέλεσμα να προκύπτουν  $2^6$  (δηλαδή 64) διαφορετικοί χαρακτήρες. Οι χαρακτήρες αυτοί αποτελούνται από τα λατινικά γράμματα (μικρά και κεφαλαία), από 28 ειδικά σύμβολα και από τα σημεία στίξης. Όταν ο κώδικας χρησιμοποιείται στην επικοινωνία, ένα επιπλέον ψηφίο πλαισιώνει καθέναν από τους 64 χαρακτήρες, γνωστό και ως δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας, προκειμένου να ανιχνευτούν τυχόν σφάλματα μετάδοσης μέσω της τεχνικής της δυαδικής ισοτιμίας.

Επέκταση του κώδικα *BCD* στα οκτώ δυαδικά ψηφία αποτελεί ο κώδικας *EBCDIC*, ο οποίος περιλαμβάνει λατινικούς και ελληνικούς χαρακτήρες, κεφαλαία και μικρά, ειδικούς χαρακτήρες και σημεία στίξης. Ο κώδικας *EBCDIC* δε χρησιμοποιείται συχνά στη μετάδοση δεδομένων, παραμένει ωστόσο ένας σημαντικός κώδικας, κυρίως λόγω της ευρείας χρήσης του εξοπλισμού της εταιρείας IBM.



Με ένα τρανζίστορ μπορούμε να παραστήσουμε 2 καταστάσεις, δηλαδή  $2^1$ . Με κ τρανζίστορ μπορούμε να παραστήσουμε  $2^k$  διαφορετικές καταστάσεις.



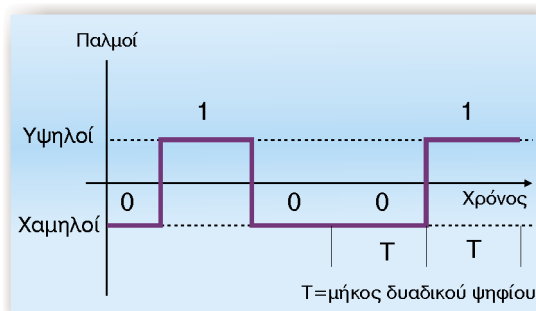
Σύμφωνα με τον κώδικα *ASCII*, κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε οκτώ δυαδικά ψηφία, τα οποία αποτελούν ένα χαρακτήρα. Όμως στον *ΕΛΟΤ 928*, αν και ορισμένα γράμματα του ελληνικού αλφαβήτου είναι ίδια με του λατινικού, η παράστασή τους δεν είναι η ίδια.

Για παράδειγμα, το γράμμα Α του λατινικού αλφαβήτου παριστάνεται με το χαρακτήρα 01000001, ενώ του ελληνικού ως 01000000.



### 2.1.3 Περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου

Συνυφασμένη με την έννοια της μετάδοσης δεδομένων είναι η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου. Όπως αναφέρθηκε, τα δυαδικά ψηφία παριστάνονται στο φορέα με ηλεκτρικά ισοδύναμα ή παλμούς (υψηλούς, χαμηλούς). Οι παλμοί αυτοί μεταδίδονται με κάποια χρονική διάρκεια που είναι σταθερή. Επομένως ως **περίοδος (T)** ενός δυαδικού ψηφίου ορίζεται η χρονική διάρκεια του παλμού (σχήμα 2.2). Η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου αναφέρεται επίσης και ως **μήκος ή διάρκεια δυαδικού ψηφίου**.



Σχήμα 2.2: Περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου

### 2.1.4 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

Έχοντας καθορίσει τη χρονική διάρκεια ενός δυαδικού ψηφίου, είναι δυνατόν να οριστεί το πρώτο χαρακτηριστικό της γραμμής μετάδοσης, που είναι ο **ρυθμός μετάδοσης δεδομένων**. Πρόκειται για τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που τοποθετεί ο πομπός στο μέσο μετάδοσης ανά μονάδα χρόνου. Επειδή ως μονάδα χρόνου θεωρούμε συνήθως το ένα δευτερόλεπτο, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μετριέται σε **αριθμό δυαδικών ψηφίων ανά δευτερόλεπτο (bps: bits per second)**.

Επομένως, αν ένας πομπός μεταδίδει  $m$  δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο, τότε ο ρυθμός μετάδοσης της γραμμής θα είναι  $m$  δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο ή, απλούστερα,  $m$  bps. Τυπικές τιμές ρυθμού μετάδοσης είναι οι: 2.400 bps, 9.600 bps, 14.400 bps, 33,6 Kbps, 56 Kbps, 2 Mbps, 10 Mbps, 34 Mbps, 155 Mbps και 2 Gbps.

#### Παράδειγμα Ι

Για ρυθμό μετάδοσης 2.400 bps απαιτείται φορέας που να εναλλάσσει το σήμα του (δηλαδή να έχει συχνότητα) 2.400 φορές το δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση αυτή η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου θα είναι:



Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων εξαρτάται τόσο από το είδος του μέσου μετάδοσης όσο και από τις δυνατότητες του διαποδιαμορφωτή που υπάρχει στον πομπό και στο δέκτη.



$$T = \frac{1}{v} = \frac{1}{2.400} \text{ sec} = 0,000416 \text{ sec ή } 416 \text{ μsec}$$

όπου:

$T$  = η περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου και

$v$  = ο αριθμός των εναλλαγών του σήματος.

Επομένως, αν ένας πομπός στέλνει μια σειρά από δυαδικά ψηφία τα οποία έχουν χρονική διάρκεια  $T$  sec το καθένα και κατά τη μετάδοσή τους χρησιμοποιεί  $M$  λογικές στάθμες, τότε ο ρυθμός μετάδοσης  $S$  μπορεί να δοθεί από τον τύπο:

$$S = \frac{1}{T} \cdot \log_2 M$$

όπου:

$S$  = ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων,

$T$  = η χρονική διάρκεια κάθε δυαδικού ψηφίου και

$M$  = οι στάθμες που χρησιμοποιούνται κατά τη μετάδοση.

## Παράδειγμα II

Εάν ένας πομπός χρησιμοποιεί 2 λογικές στάθμες για τη μετάδοση, ενώ κάθε δυαδικό ψηφίο διαρκεί 29,762 μsec, τότε ο ρυθμός μετάδοσης θα είναι:

$$S = \frac{1}{29,762 \cdot 10^{-6}} \cdot \log_2 2 = 33.600 \text{ bps}$$

Είναι φανερό ότι, για να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης σε ένα κανάλι, αρκεί ο πομπός να στέλνει τα δυαδικά ψηφία με μικρότερη περίοδο το καθένα ή να χρησιμοποιεί περισσότερες λογικές στάθμες. Βέβαια ο ρυθμός μετάδοσης είναι ένα τεχνικό χαρακτηριστικό, που εξαρτάται από την τεχνολογία του φορέα.

Σημειώνουμε ότι, αν ο φορέας έχει δυνατότητα μετάδοσης 2.400 bps και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά χαρακτήρων *ASCII*, για την παράσταση των οποίων απαιτούνται 8 δυαδικά ψηφία για κάθε χαρακτήρα, τότε σε ένα δευτερόλεπτο θα μεταδοθούν:

$$S = \frac{Q}{n} = \frac{2.400}{8} = 300 \text{ Bps}$$

όπου:

$S$  = ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε Bps (*Bytes per second*),

$Q$  = η δυνατότητα μετάδοσης του φορέα σε bps και

$n$  = το πλήθος των ψηφίων του χαρακτήρα.



Στην ψηφιακή μετάδοση οι λογικές στάθμες είναι 2, ο παλμός για το λογικό 0 και ο παλμός για το λογικό 1.



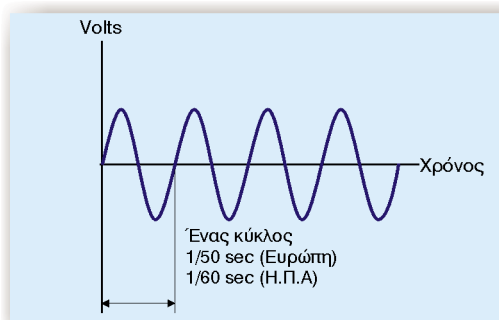
## 2.1.5 Χωρητικότητα γραμμών επικοινωνίας

Όπως είναι γνωστό και από το Μάθημα 1.2, η **χωρητικότητα** (*capacity*) εκφράζει τη δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων μιας γραμμής επικοινωνίας και ορίζεται ως το μέγιστο ποσό των πληροφοριών που μπορεί να μεταδοθεί διαμέσου της γραμμής αυτής κάτω από ιδανικές συνθήκες. Επειδή η μικρότερη μονάδα πληροφορίας που χρησιμοποιείται είναι το δυαδικό ψηφίο, η δυνατότητα αυτή είναι βολικό να εκφράζεται σε ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή σε αριθμό δυαδικών ψηφίων ανά δευτερόλεπτο (*bps*), που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή. Φυσικά αυτή η πληροφορία, με αυτή τη μορφή, μεταβιβάζεται στο μέσο μετάδοσης, όπως για παράδειγμα μια τηλεφωνική γραμμή, προκειμένου να διαμορφωθούν τα ψηφιακά δεδομένα σε κάποιας μορφής ημιτονοειδές σήμα (φέρων) και να μεταδοθούν.

Υπάρχει περιορισμός στη συχνότητα του αναλογικού σήματος που μπορεί να μεταφερθεί. Για παράδειγμα, στις κανονικές τηλεφωνικές γραμμές είναι γνωστό ότι το όριο αυτό βρίσκεται στην περιοχή των 3.000 Hz (σχήμα 2.3). Οι αρχικές τεχνικές επέτρεπαν διαμορφώσεις του ενός δυαδικού ψηφίου ανά κύκλο της θεμελιώδους φέρουσας συχνότητας, με αποτέλεσμα ένας διαποδιαμορφωτής (*modem*) των 1.200 bps να χρησιμοποιείται από φορέα των 1.200 Hz διαμορφώνοντας ένα μόνο δυαδικό ψηφίο ανά κύκλο. Νεότερες τεχνικές επέτρεψαν τη διαμόρφωση περισσότερων δυαδικών ψηφίων ανά κύκλο της φέρουσας συχνότητας, με αποτέλεσμα διαποδιαμορφωτές των 2.400 bps, που χρησιμοποιούν φορείς των 1.200 Hz, να διαμορφώνουν δύο δυαδικά ψηφία ανά κύκλο. Ανάλογα, διαποδιαμορφωτές των 4.800 bps, που χρησιμοποιούν φορείς των 1.600 Hz, διαμορφώνουν τρία δυαδικά ψηφία ανά κύκλο, ενώ διαποδιαμορφωτές των 9.600 bps, που χρησιμοποιούν φορείς των 2.400 Hz, διαμορφώνουν τέσσερα δυαδικά ψηφία ανά κύκλο.



Η μονάδα baud δε χρησιμοποιείται συχνά, σε αντιδιαστολή με τη μονάδα bps, που είναι πολύ γνωστή και έχει σαφέστερο νόημα.



Σχήμα 2.3: Ο κύκλος εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ισοδύναμων σημείων του κύματος

Η **φέρουσα συχνότητα**, όπως περιγράφηκε παραπάνω, αποτελεί ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γραμμής μεταφοράς δεδομένων, που λέγεται επίσης και **ρυθμός διαμορφωμένου σήματος** ή **ρυθμός σηματοδότησης** (*baud rate*). Πρόκειται για τον αριθμό των αλλαγών της τάσης του διαμορφωμένου σήματος ανά δευτερόλεπτο,



που μετριέται σε **baud**. Επομένως σε ένα σύστημα μετάδοσης στο οποίο χρησιμοποιούνται μόνο δύο στάθμες τάσης ο ρυθμός μετάδοσης δυαδικών ψηφίων, που μετριέται σε bps, θα είναι ίσος με το ρυθμό σηματοδοσίας, που μετριέται σε baud.

Στο χώρο των υπολογιστών οι δύο όροι, ρυθμός μετάδοσης (*bps*) και ρυθμός σηματοδοσίας (*baud*), παρουσιάζονται συχνά ως συνώνυμοι. Αυτό δε δημιουργεί πρόβλημα, αρκεί οι όροι αυτοί να χρησιμοποιούνται με συνέπεια. Για παράδειγμα, θα μπορούσε κάποιος να αναφερθεί ισοδύναμα σε διαμοδιαμορφωτή των 9.600 baud ή διαμοδιαμορφωτή των 9.600 bps που χρησιμοποιεί φορέα των 2.400 baud, εννοώντας την ύπαρξη τεσσάρων σταθμών (αλλαγών τάσης), που επιτρέπουν το πέρασμα τεσσάρων δυαδικών ψηφίων ανά κύκλο σε φορέα συχνότητας 2.400 Hz.

### Παράδειγμα III

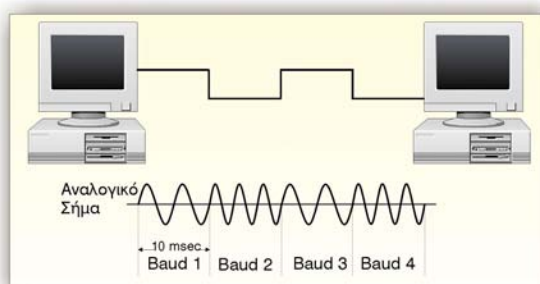
Αν ένα σύστημα μετάδοσης χρησιμοποιεί τέσσερις στάθμες τάσης για τη μετάδοση του διαμορφωμένου σήματος, τότε κάθε μεταβολή του διαμορφωμένου σήματος μπορεί να μεταφέρει δύο δυαδικά ψηφία. Επομένως ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θα είναι διπλάσιος του ρυθμού μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος.

Για παράδειγμα, αν το διαμορφωμένο σήμα αλλάζει δύο στάθμες τάσης κάθε 10 ms (σχήμα 2.4), τότε σύμφωνα με τον τύπο  $S = \left(\frac{1}{T}\right) \cdot \log_2 M$  θα έχουμε:

$$S = \frac{1}{0,010} \cdot \log_2 2 = 100 \text{ bps}$$

δηλαδή ο ρυθμός του διαμορφωμένου σήματος ή ρυθμός σηματοδοσίας θα είναι 100 bps. Ο ρυθμός αυτός διπλασιάζεται, αν ανά 10 ms το διαμορφωμένο σήμα αλλάζει 4 στάθμες τάσης, αφού με εφαρμογή του ίδιου τύπου προκύπτει ότι ο ρυθμός σηματοδοσίας είναι 200 bps.

Συνεπώς σε συστήματα κωδικοποίησης με περισσότερα από δύο επίπεδα τάσης μπορούμε να πετύχουμε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης.



Σχήμα 2.4: Ρυθμός μετάδοσης διπλάσιος του ρυθμού σηματοδοσίας





Στην πράξη, τον τελικό χρήστη τον ενδιαφέρει ο ρυθμός μετάδοσης της **ωφέλιμης** ή **καθαρής πληροφορίας**. Πρόκειται για ένα άλλο χαρακτηριστικό της γραμμής μετάδοσης, το οποίο εκφράζει τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων πληροφορίας που τοποθετεί ο πομπός στο μέσο μετάδοσης. Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι  $m$  bps, δηλαδή ότι σε ένα δευτερόλεπτο μεταφέρονται  $m$  δυαδικά ψηφία, εννοούμε ότι στα ψηφία αυτά υπάρχουν και πρόσθετες πληροφορίες, όπως είναι τα ψηφία εκκίνησης και τέλους της μετάδοσης, αν πρόκειται για ασυγχρόνιστη μετάδοση, ή τα ψηφία συγχρονισμού, αν πρόκειται για συγχρονισμένη μετάδοση (Μάθημα 2.4), τα ψηφία ελέγχου σφαλμάτων κτλ. Επομένως η ωφέλιμη πληροφορία που μεταφέρεται και ενδιαφέρει τελικά το χρήστη δεν είναι  $m$  δυαδικά ψηφία αλλά λίγο μικρότερη.

### Παράδειγμα IV

Στην ασυγχρόνιστη επικοινωνία, με ένα ψηφίο εκκίνησης και ένα ψηφίο τέλους, κάθε χαρακτήρας (byte) απαιτεί 10 δυαδικά ψηφία (8+2). Αφού λοιπόν στα 10 δυαδικά ψηφία τα 8 συνιστούν την ωφέλιμη πληροφορία, ανάλογα στα 1.200 δυαδικά ψηφία η ωφέλιμη πληροφορία θα είναι 960 δυαδικά ψηφία. Επομένως, για ρυθμούς μετάδοσης 1.200 bps, ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας θα είναι 960 bps.

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 1.2, στην περίπτωση της ψηφιακής μετάδοσης η χωρητικότητα  $C$  μιας γραμμής μετάδοσης ορίζεται ως ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων που δεν ενέχει σφάλμα. Η χωρητικότητα είναι στενά συνυφασμένη με το εύρος ζώνης, το οποίο μετριέται σε Hertz και εκφράζει τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα στην οποία μπορεί η γραμμή να μεταδώσει. Στην περίπτωση αυτή το εύρος ζώνης εκφράζει το μέγιστο αριθμό των δυαδικών ψηφίων που μπορούν να μεταφερθούν μέσω του καναλιού στη μονάδα του χρόνου. Επομένως ένας πομπός με ρυθμό μετάδοσης ίσο ή μικρότερο από το εύρος ζώνης του καναλιού θα μπορέσει να μεταδώσει χωρίς σφάλμα την πληροφορία. Εάν ο ρυθμός μετάδοσης του πομπού είναι μεγαλύτερος, τότε η πληροφορία θα φτάσει στο δέκτη λανθασμένη, χωρίς αυτός να μπορεί να τη διορθώσει.

Στην ιδανική περίπτωση του καναλιού χωρίς θόρυβο, ο τύπος του Nyquist δίνει τη χωρητικότητα του καναλιού ως:

$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

όπου:

$M$  = ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων (στάθμες τάσης) του σήματος,

$B$  = το εύρος ζώνης συχνοτήτων του καναλιού σε Hertz και

$C$  = η χωρητικότητα του καναλιού σε bps.

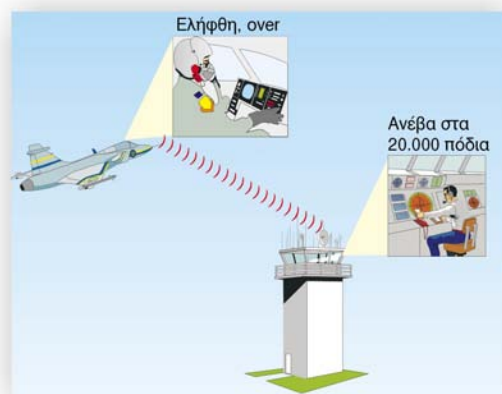


## Μάθημα 2.2: Χαρακτηριστικά μετάδοσης δεδομένων

### 2.2.1 Μορφές μετάδοσης δεδομένων

Η γραμμή επικοινωνίας είναι ένα μέσο το οποίο μεταφέρει πληροφορίες σε ένα δίκτυο επικοινωνίας δεδομένων. Επειδή η γραμμή επικοινωνίας μεταφέρει δεδομένα, συχνά αναφέρεται και ως γραμμή δεδομένων ή γραμμή μετάδοσης ή απλώς γραμμή. Συνήθως η γραμμή αποτελείται από ένα ή περισσότερα κανάλια, με κάθε κανάλι να μεταφέρει πληροφορίες προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση της γραμμής. Γενικά και σε σχέση με την κατεύθυνση των δεδομένων μπορούν να αναγνωριστούν τρία είδη, που περιγράφονται στη συνέχεια.

- ✓ **Μετάδοση μονόπλευρης κατεύθυνσης (simplex):** Σ' αυτή τη μορφή μετάδοσης οι πληροφορίες κινούνται πάντοτε μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Η μετάδοση αυτή λέγεται απλώς και **μονόπλευρη** ή **μονόδρομη**. Παραδείγματα τέτοιας μορφής μετάδοσης αποτελούν οι μεταδόσεις εκπομπής, όπως είναι π.χ. οι ραδιοφωνικές εκπομπές, όπου η πληροφορία μεταδίδεται πάντα από το ραδιοφωνικό πομπό προς τους δέκτες ή η αποστολή δεδομένων από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή προς κάποια τερματική διάταξη.
- ✓ **Μη ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης (half duplex):** Εδώ οι πληροφορίες μπορούν να κινούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά όχι ταυτόχρονα. Η μετάδοση αυτή λέγεται απλώς και **ημίπλευρη** ή **μη ταυτόχρονη αμφίδρομη**. Κλασικό παράδειγμα μιας τέτοιας μετάδοσης αποτελεί ο ασύρματος, όπου ο εκάστοτε ομιλητής πρέπει πρώτα να σταματήσει να μιλά, λέγοντας το γνωστό «over», για να μπορέσει ο άλλος να μιλήσει. Ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή της κατεύθυνσης ροής των πληροφοριών ονομάζεται **χρόνος επανεπιστροφής (turnaround time)**.
- ✓ **Ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης (full duplex):** Στην περίπτωση αυτή οι πληροφορίες μπορούν να κινούνται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Η μετάδοση αυτή λέγεται απλώς και **αμφίπλευρη** ή **αμφίδρομη**. Κλασικό παράδειγμα αυτής της μορφής μετάδοσης είναι η τηλεφωνική επικοινωνία, όπου και οι δύο συνομιλητές μπορούν να μιλούν ταυτόχρονα. Στη μετάδοση αυτή είτε υπάρ-



Σχήμα 2.5: Παραδείγματα μετάδοσης μονόπλευρης, ημίπλευρης και αμφίπλευρης κατεύθυνσης



χουν διαφορετικά κυκλώματα λήψης και εκπομπής είτε δημιουργούνται λογικά κανάλια για λήψη και εκπομπή στο ίδιο μέσο μετάδοσης. Εννοείται ότι στην αμφίπλευρη μετάδοση δεν υπάρχει χρονική καθυστέρηση (χρόνος επανεπιστροφής) για την αλλαγή της κατεύθυνσης ροής των πληροφοριών.

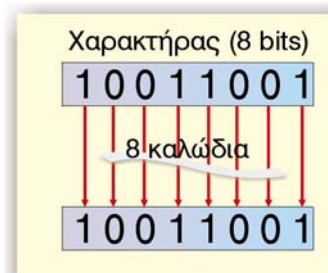
Στο σχήμα 2.5 απεικονίζονται ένα παράδειγμα μονόπλευρης μετάδοσης, ένα ημίπλευρης και ένα αμφίπλευρης.

## 2.2.2 Τρόποι ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων

### 2.2.2.1 Παράλληλη μετάδοση δεδομένων

Ως **παράλληλη μετάδοση** (*parallel transmission*) νοείται η ομαδική μεταφορά χαρακτήρων. Στην ψηφιακή μετάδοση υλοποιείται με την ταυτόχρονη μεταφορά των δυαδικών ψηφίων κάθε χαρακτήρα (σχήμα 2.6α). Κατά συνέπεια για κάθε δυαδικό ψηφίο του χαρακτήρα αφιερώνεται μια ιδιαίτερη γραμμή μετάδοσης. Στην πράξη όμως χρησιμοποιούνται καλώδια πολλών αγωγών, τα οποία επιτρέπουν την ταυτόχρονη διέλευση των ψηφιακών σημάτων. Το μεγάλο μειονέκτημα της παράλληλης μετάδοσης είναι το μεγάλο μήκος της καλωδίωσης που απαιτείται, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της σύνδεσης. Σε αντιδιαστολή, το βασικό πλεονέκτημα της μετάδοσης αυτής είναι ο μικρότερος χρόνος μεταφοράς των δεδομένων σε σύγκριση με αυτόν της σειραϊκής μετάδοσης.

Η παράλληλη μετάδοση χρησιμοποιείται ευρύτατα στην επικοινωνία μεταξύ της κεντρικής μονάδας ενός συστήματος ηλεκτρονικών υπολογιστών και των περιφερειακών του μονάδων, όπως είναι για παράδειγμα οι εκτυπωτές, οι ταινίες, οι δίσκοι, οι ψηφιακές κάμερες κτλ. Οι περιφερειακές αυτές συσκευές πρέπει να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση (συνήθως μικρότερη από 15 μέτρα) από την κεντρική μονάδα. Σε τέτοια απόσταση η παράλληλη μετάδοση μπορεί να πετύχει υψηλούς ρυθμούς, ενώ είναι ενδεχόμενο να δημιουργηθούν προβλήματα, όσο η απόσταση μεγαλώνει.



Σχήμα 2.6α: Παράλληλη μετάδοση πληροφορίας

### 2.2.2.2 Σειραϊκή μετάδοση δεδομένων

Στη **σειραϊκή μετάδοση** (*serial transmission*) ψηφιακών δεδομένων τα δυαδικά ψηφία κάθε χαρακτήρα στέλνονται διαδοχικά, το ένα μετά το άλλο (σε σειρά), από τον πομπό στο δέκτη, διαμέσου μίας γραμμής επικοινωνίας (σχήμα 2.6β). Παρά το γεγονός ότι με την παράλληλη σύνδεση η μεταφορά των δεδομένων είναι ταχύτερη, η σειραϊκή μετάδοση χρησιμοποιείται περισσότερο, επειδή:



Η σημασία της παράλληλης μετάδοσης έγκειται στο γεγονός ότι τα δυαδικά ψηφία ενός χαρακτήρα μεταδίδονται όλα μαζί, αν και οι ίδιοι οι χαρακτήρες μεταδίδονται ο ένας μετά τον άλλο (σειραϊκά).



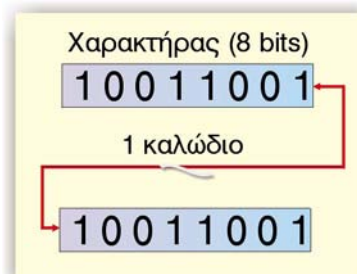
Η παράλληλη μετάδοση δεδομένων συνδέεται με τον καταμερισμό του χώρου, ενώ η σειραϊκή με τον καταμερισμό του χρόνου.



- ✓ Απαιτούνται λιγότεροι αγωγοί από ό,τι στην παράλληλη μετάδοση, με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος σύνδεσης.
- ✓ Η υφιστάμενη παραμόρφωση του σήματος κατά τη μεταφορά της πληροφορίας είναι μικρότερη από ό,τι στην παράλληλη μετάδοση.

Στις σειραϊκές συνδέσεις χρησιμοποιούνται καλώδια τα οποία επιτρέπουν τη διέλευση των δεδομένων μέσα από ένα μόνο αγωγό. Η μεταφορά δεδομένων είναι αργή, αλλά το σήμα ελέγχεται από τον πομπό και περνά το μέσο με τις μικρότερες κατά το δυνατόν παραμορφώσεις. Από το δέκτη χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική, με τον αντίστροφο όμως τρόπο. Αφού τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία, θα πρέπει να είναι γνωστό το σημείο που τερματίζεται ένας χαρακτήρας και αρχίζει ο επόμενος. Για το σκοπό αυτό στη σειραϊκή μετάδοση εφαρμόζονται δύο τεχνικές, η συγχρονισμένη και η ασυγχρονιστή μετάδοση. Σε κάθε περίπτωση ο συγχρονισμός μεταξύ του σημείου αποστολής (πομπός) και του σημείου αποδοχής (δέκτης) του σήματος είναι απαραίτητος.

Τόσο με την έννοια του συγχρονισμού του πομπού και του δέκτη όσο και με τις δύο τεχνικές σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων θα ασχοληθούμε στο επόμενο μάθημα.



Σχήμα 2.6β: Σειραϊκή μετάδοση πληροφορίας.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μετάδοση μονόπλευρης κατεύθυνσης, μη ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης, ταυτόχρονη μετάδοση αμφίπλευρης κατεύθυνσης, παράλληλη μετάδοση, σειραϊκή μετάδοση.



## Μάθημα 2.3: Ασυγχρόνιστη και συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση

### 2.3.1 Εισαγωγή

Όπως είναι ήδη γνωστό, για να είναι επιτυχής η μεταφορά της πληροφορίας από ένα σημείο σε ένα άλλο, πρέπει να υπάρχει συνεργασία μεταξύ του πομπού και του δέκτη, δηλαδή ο χρόνος αποστολής ενός δυαδικού ψηφίου από τον πομπό πρέπει να συμπίπτει με το χρόνο ανίχνευσης του μέσου μετάδοσης από το δέκτη. Μικρές αποκλίσεις στα συστήματα χρονισμού του πομπού και του δέκτη συσσωρεύονται και μπορεί να οδηγήσουν σε λήψη εσφαλμένης πληροφορίας ή και σε απώλεια δεδομένων. Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης των δεδομένων, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνικές συγχρονισμού των κυκλωμάτων του πομπού και του δέκτη, τις οποίες και θα αναλύσουμε στη συνέχεια.

Πριν προχωρήσουμε όμως στην αναλυτική παρουσίαση των δύο τεχνικών μετάδοσης δεδομένων, είναι απαραίτητο να δοθεί ο ορισμός μερικών εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

- ✓ **Ομάδα (block)** ονομάζεται ένα μικρό σύνολο χαρακτήρων που είναι έτοιμοι προς μετάδοση. Στην περίπτωση μηνυμάτων με πολλούς χαρακτήρες, είναι δυνατόν πολλές ομάδες να συνιστούν ένα **πλαίσιο (frame)**.
- ✓ **Προπορευόμενα δυαδικά ψηφία (preamble bits)** ονομάζονται τα δυαδικά ψηφία που προηγούνται της ομάδας δεδομένων και καθορίζουν την αρχή της.
- ✓ **Παραπόμενα δυαδικά ψηφία (postamble bits)** ονομάζονται τα δυαδικά ψηφία που ακολουθούν την ομάδα δεδομένων και καθορίζουν το τέλος της.

Μία από τις βασικές απαιτήσεις κατά τη μεταφορά των ψηφιακών δεδομένων είναι η συσκευή - δέκτης να γνωρίζει το ρυθμό μετάδοσης και τις χρονικές στιγμές άφιξης των δυαδικών ψηφίων που στέλνονται από τη συσκευή - πομπό. Για το λόγο αυτό ο **συγχρονισμός** μεταξύ του σημείου που στέλνει και του σημείου που λαμβάνει το σήμα είναι απαραίτητη προϋπόθεση, ώστε να μην υπάρξει εσφαλμένη λήψη ή και απώλεια δεδομένων. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων κυκλωμάτων χρονισμού, τα οποία καθορίζουν το ρυθμό μετάδοσης και λήψης στον πομπό και στο δέκτη αντίστοιχα. Αν, για παράδειγμα, ο πομπός στέλνει ένα δυαδικό ψηφίο κάθε 10 ms, θα πρέπει αντίστοιχα ο δέκτης να ανιχνεύει το μέσο μετάδοσης κάθε 10 ms και κατά προτίμηση στη μέση περίπου της διάρκειας εκπομπής ενός δυαδικού ψηφίου.

### Παράδειγμα VIII

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7, ο συγχρονισμός του πομπού με το δέκτη γίνεται μέσω ενός φορέα που αντιστοιχεί σε ένα περιοδικό σήμα περιόδου  $T$ . Έτσι ο πομπός στέλνει ανά δευτερόλεπτο  $1/T$  αριθμό δυαδικών ψηφίων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση αποστολής δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης 1.600 bps, ο πομπός στέλνει ένα δυαδικό ψηφίο κάθε  $1/1.600$  sec και ο δέκτης πρέπει να ελέγχει το μέσο μετάδο-





σης ακριβώς κάθε 1/1.600 sec.

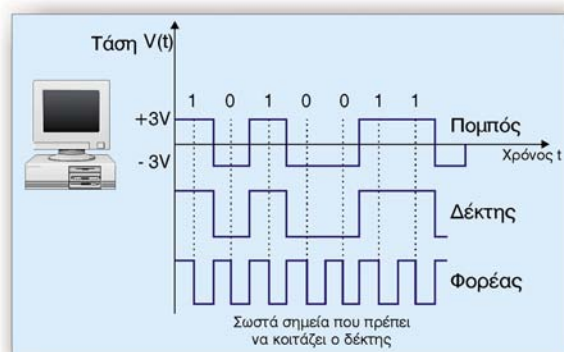
Η χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης συνίσταται στο γεγονός ότι στην ασυγχρόνιστη τα δύο σημεία επικοινωνίας πρέπει να βρίσκονται σε συγχρονισμό μόνο κατά το χρονικό διάστημα που γίνεται η μετάδοση και η λήψη ενός χαρακτήρα. Το χρονικό διάστημα μεταξύ των διαδοχικών μεταδόσεων δύο χαρακτήρων δεν έχει συγχρονισμό και λέγεται **άεργος χρόνος** (*idle time*). Αντίθετα, στη συγχρονισμένη μετάδοση τα σημεία που επικοινωνούν πρέπει να βρίσκονται σε διαρκή συγχρονισμό. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται μια ξεχωριστή γραμμή συγχρονισμού ή ενσωματώνεται η πληροφορία συγχρονισμού στα δεδομένα.

Στην ασυγχρόνιστη μετάδοση οι χαρακτήρες μεταδίδονται ένας - ένας, αφού όμως πριν και μετά από κάθε χαρακτήρα μεταδοθούν ειδικά ψηφία που σηματοδοτούν την έναρξη και το τέλος της αποστολής του, με σκοπό να ειδοποιηθεί ο αποδέκτης που παίρνει το μήνυμα. Αντίθετα, στη συγχρονισμένη μετάδοση οι χαρακτήρες αποστέλλονται συνήθως κατά ομάδες.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο συγχρονισμός στη σειραϊκή μετάδοση μπορεί να επιτευχθεί είτε με ασυγχρόνιστη είτε με συγχρονισμένη μετάδοση. Στην πρώτη περίπτωση κάθε χαρακτήρας του μηνύματος υφίσταται ανεξάρτητο χειρισμό, με αποτέλεσμα ο δέκτης να επανασυγχρονίζεται αμέσως μετά τη λήψη του. Αντίθετα στη δεύτερη περίπτωση το όλο μήνυμα, υπό μορφή πλαισίου χαρακτήρων, μεταδίδεται σαν συνεχόμενη σειρά δυαδικών ψηφίων και ο δέκτης έχει την ευθύνη του συγχρονισμού κάθε εισερχόμενου δυαδικού ψηφίου και για όλη τη διάρκεια μετάδοσης του πλαισίου.

Όμως, ανεξάρτητα από το αν η μετάδοση είναι συγχρονισμένη ή ασυγχρόνιστη, η σειραϊκή μετάδοση παρουσιάζει ορισμένα, όπως θα δούμε σε επόμενα μαθήματα, προβλήματα συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη, τα οποία μπορεί να διευθετηθούν με διεργασίες γνωστές ως:

- ✓ **συγχρονισμός προσανατολισμένος προς δυαδικό ψηφίο** (*bit ή clock oriented synchronization*),
- ✓ **συγχρονισμός προσανατολισμένος προς χαρακτήρα** (*character ή byte oriented synchronization*) και
- ✓ **συγχρονισμός προσανατολισμένος προς πλαίσιο** (*frame ή block oriented synchronization*).



Σχήμα 2.7: Συγχρονισμός

## 2.3.2 Ασυγχρόνιστη μετάδοση

Η παλαιότερη και πιο απλή μέθοδος μετάδοσης είναι η **ασυγχρόνιστη μετάδοση** (*asynchronous transmission*). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τα δεδομένα μεταδίδονται με τη μορφή χαρακτήρων. Ο συγχρονισμός ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη γίνεται με τη βοήθεια του **παλμού αρχής** (*pulse start*) και του **παλμού τέρματος** (*pulse stop*) που πλαισιώνουν κάθε μεταδιδόμενο χαρακτήρα. Με βάση τους παλμούς αυ-



τούς ο δέκτης αναγνωρίζει την αρχή και το τέρμα του εκάστοτε μεταδιδόμενου χαρακτήρα (σχήμα 2.8). Έτσι, κατά τη μετάδοση, πριν από κάθε χαρακτήρα υπάρχει ο παλμός αρχής, που έχει την τιμή του δυαδικού ψηφίου 0. Το δυαδικό αυτό ψηφίο χρησιμοποιείται για να ειδοποιήσει το δέκτη ότι ακολουθούν τα υπόλοιπα δυαδικά ψηφία που αποτελούν το χαρακτήρα. Μετά τη μετάδοση του χαρακτήρα ακολουθεί ο παλμός τέρματος, που μπορεί να είναι, ανάλογα με την περίπτωση, ένα ή δύο δυαδικά ψηφία. Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα προς μετάδοση, ο πομπός στέλνει έναν παλμό τέρματος.

Ο δέκτης αναγνωρίζει την αρχή ενός καινούριου χαρακτήρα με τη μετάβαση από το 1 στο 0.

Η ασυγχρόνιστη μετάδοση (σχήμα 2.8) είναι ο απλούστερος τρόπος σειριακής μετάδοσης. Η αποστολή της πληροφορίας γίνεται με τη διαδοχική μετάδοση χαρακτήρων του ίδιου κώδικα (π.χ. ASCII). Κάθε χαρακτήρας μεταδίδεται χωριστά, ενώ τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν στη μετάδοση των χαρακτήρων ποικίλλουν. Για την αναγνώριση της αρχής και του τέρματος κάθε χαρακτήρα υπάρχει μια καλά καθορισμένη διαδικασία που προβλέπει τα ακόλουθα:

✓ Το δυαδικό ψηφίο είναι το ελάχιστο ποσό πληροφορίας που μπορεί να αποσταλεί. Κάθε δυαδικό ψηφίο αντιστοιχεί σε μία λογική στάθμη (λογικό 1 ή λογικό 0), που υποδεικνύει μία στάθμη τάσης (π.χ. +12 Volt για το λογικό 1 και -12 Volt για το λογικό 0).

- ✓ Όταν δε μεταδίδονται χαρακτήρες, η γραμμή μετάδοσης θεωρείται ότι βρίσκεται σε υψηλή λογική στάθμη, δηλαδή στο λογικό 1, ενώ, όταν μεταδίδονται χαρακτήρες, η γραμμή θεωρείται ότι βρίσκεται σε χαμηλή λογική στάθμη, δηλαδή στο λογικό 0.
- ✓ Για την αποστολή ενός χαρακτήρα ο πομπός ρίχνει τη στάθμη στο λογικό 0 για χρονικό διάστημα ενός δυαδικού ψηφίου, προκειμένου να σηματοδοτήσει την έναρξη της αποστολής του. Αυτή η πτώση της τάσης παριστάνει τον παλμό αρχής.
- ✓ Ο πομπός στέλνει στο δέκτη διαδοχικά τα δυαδικά ψηφία που αντιστοιχούν στο χαρακτήρα που μεταδίδεται. Προαιρετικά, ο πομπός μπορεί να συμπεριλάβει στην αποστολή του και ένα δυαδικό ψηφίο που ονομάζεται **δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας** ή **bit ισοτιμίας** (*parity bit*), το οποίο χρησιμοποιείται από το δέκτη προκειμένου να αναγνωρίσει τυχόν λάθος στη μετάδοση.
- ✓ Η αποστολή τερματίζεται με την επαναφορά της στάθμης του μέσου μετάδοσης στο λογικό 1, τουλάχιστον για χρονικό διάστημα ενός δυαδικού ψηφίου, πριν ξεκινήσει η μετάδοση του επόμενου χαρακτήρα. Αυτή η ανόρθωση της τάσης παριστάνει τον παλμό τέρματος και μπορεί να έχει διάρκεια ίση με 1, 1,5 ή 2 φορές τη διάρκεια ενός δυαδικού ψηφίου.

Για την απόκτηση των δυαδικών ψηφίων από το χαρακτήρα ο δέκτης πρέπει να γνωρίζει τη διάρκεια κάθε δυαδικού ψηφίου. Στην ασυγχρόνιστη μετάδοση ο δέκτης επανασυγχρονίζεται με κάθε παλμό τέρματος, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται μια



Σχήμα 2.8: Ασυγχρόνιστη μετάδοση ενός χαρακτήρα



μικρή απόκλιση σε ό,τι αφορά το χρόνο διάρκειας των δυαδικών ψηφίων. Ο ρόλος του παλμού αρχής είναι να προκαλέσει την εκκίνηση ενός χρονοδιακόπτη (ρολόι) που υπάρχει στο δέκτη, ο οποίος θα κάνει δειγματοληψία στη γραμμή τόσες φορές όσα είναι τα δυαδικά ψηφία του χαρακτήρα που αποστέλλεται (π.χ. 8 φορές, αν πρόκειται για χαρακτήρα *ASCII*) και με συχνότητα που καθορίζεται από το ρυθμό της μετάδοσης. Ο παλμός τέρματος χρησιμοποιείται για να επαναφέρει το δέκτη σε μια τέτοια κατάσταση, ώστε να μπορεί να αναγνωρίσει ένα νέο παλμό αρχής.

Για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της ασυγχρόνιστης μετάδοσης, συνήθως αναφέρονται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων ανά χαρακτήρα, η ύπαρξη ή μη δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας, καθώς και η χρονική διάρκεια (σε αριθμό δυαδικών ψηφίων) του παλμού τέρματος. Για παράδειγμα, γράφοντας «28800 bps 8N1» εννοούμε ασυγχρόνιστη μετάδοση στα 28.800 bps με 8 δυαδικά ψηφία ανά χαρακτήρα, χωρίς δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας (*None parity*) και με διάρκεια παλμού τέρματος ένα δυαδικό ψηφίο.

Επειδή η υλοποίησή της είναι εύκολη, η ασυγχρόνιστη επικοινωνία έχει καθιερωθεί ως κύρια μέθοδος στην περίπτωση συσκευών χαμηλού κόστους, όπως είναι για παράδειγμα η κατηγορία των προσωπικών υπολογιστών (*PC*).

### 2.3.3 Συγχρονισμένη μετάδοση

Αντίθετα από την ασυγχρόνιστη μετάδοση, όπου κάθε χαρακτήρας μεταδίδεται χωριστά, στη **συγχρονισμένη μετάδοση** (*synchronous transmission*) οι χαρακτήρες μεταδίδονται κατά ομάδες (σχήμα 2.9).

Όμως, επειδή τα δυαδικά ψηφία των δεδομένων οδηγούνται στο δέκτη το ένα μετά το άλλο, πρέπει να υπάρχει ένας τρόπος που να καθορίζει πού αρχίζει το μήνυμα και πού τελειώνει. Ο καθορισμός της αρχής και του τέλους του μηνύματος γίνεται με την αποστολή ειδικών χαρακτήρων, των προπορευόμενων και των παρεπόμενων δυαδικών ψηφίων αντίστοιχα, και λέγεται **συγχρονισμός**. Το πώς είναι δομημένες οι μορφές των προπορευόμενων και των παρεπόμενων δυαδικών ψηφίων εξαρτάται από το εάν η μετάδοση είναι προσανατολισμένη προς χαρακτήρα, προς δυαδικό ψηφίο ή προς πλαίσιο.

Συνήθως η συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση εφαρμόζεται στην αποστολή μεγάλου αριθμού δεδομένων, όπου απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην επικοινωνία απομακρυσμένων συστημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, στο βιντεοτηλέφωνο, το οποίο σήμερα αποτελεί ένα από τα πιο εξελιγμένα μέσα επικοινωνίας στο χώρο της τηλεφωνίας, κ.α. Το κόστος της σειραϊκής επικοινωνίας δε θεωρείται σήμερα υψηλό, αυξάνεται όμως με το μήκος της καλωδιακής εγκατάστασης.

Στην περίπτωση της συγχρονισμένης σειραϊκής μετάδοσης που είναι **προσανατολισμένη προς χαρακτήρα** (*character oriented*), η αναγνώριση εκκίνησης μιας ομάδας χαρακτήρων γίνεται με την αποστολή ενός ειδικού χαρακτήρα στην αρχή της ομάδας, που ονομάζεται **χαρακτήρας συγχρονισμού (SYNC)**. Είναι όμως ενδεχόμενο ο χαρακτήρας



Στον κώδικα ASCII ο χαρακτήρας συγχρονισμού είναι γνωστός ως **SYN** και έχει τιμή 3232 στο δεκαεξαδικό ή 00010110 στο δυαδικό σύστημα αρίθμησης.



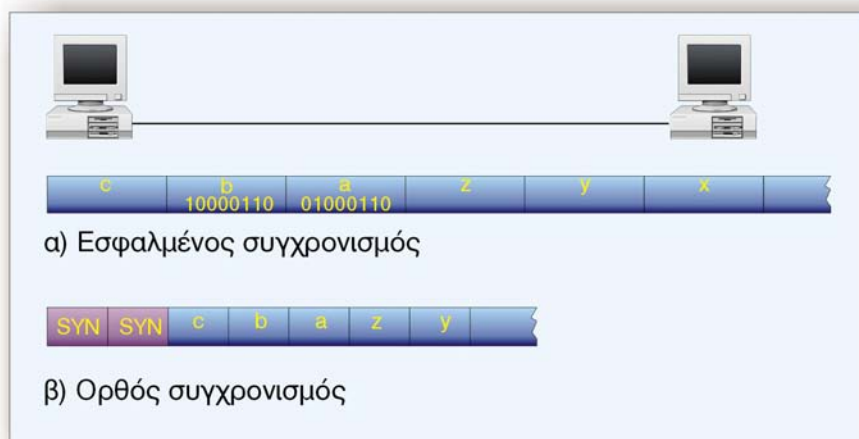
Σχήμα 2.9: Παράσταση ασυγχρόνιστης και συγχρονισμένης μετάδοσης

συγχρονισμού να εκφράζει επίσης και κάποιο χαρακτήρα δεδομένων που αποστέλλεται, με αποτέλεσμα ο δέκτης να θεωρήσει, εσφαλμένα, ότι ξεκινά μια νέα ομάδα χαρακτήρων. Για την αποφυγή ενός τέτοιου ενδεχόμενου ο χαρακτήρας συγχρονισμού αποστέλλεται δύο φορές στην αρχή κάθε πακέτου. Κατόπιν αποστέλλονται οι χαρακτήρες της πληροφορίας, ενώ το τέλος της ομάδας βεβαιώνεται με την αναγνώριση από το δέκτη ενός άλλου χαρακτήρα τερματισμού, που συμβολίζεται ως **EOB** (End Of Block). Στο σχήμα 2.10 απεικονίζεται μία τυπική περίπτωση

εσφαλμένης και μία περίπτωση ορθής συγχρονισμένης μετάδοσης.

Η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να επιτευχθεί ο συγχρονισμός είναι η ακόλουθη:

- ✓ Ο δέκτης που περιμένει μήνυμα συγκρίνει την τιμή του **καταχωρητή μετατόπισης (shift register)** με την τιμή που έχει ο χαρακτήρας συγχρονισμού.
- ✓ Αν οι δύο αυτές τιμές δε συμπίσουν, δεν επιτυγχάνεται συγχρονισμός (σχήμα 2.11).
- ✓ Αν οι δύο αυτές τιμές συμπίσουν, επιτυγχάνεται συγχρονισμός.
- ✓ Στην περίπτωση συγχρονισμού ένας μετρητής αυξάνεται κατά μία μονάδα κάθε φορά που εισέρχεται ένα δυαδικό ψηφίο στο δέκτη (σχήμα 2.12). Όταν ο μετρητής καταγράψει την είσοδο όλων των δυαδικών ψηφίων του χαρακτήρα (π.χ. 8



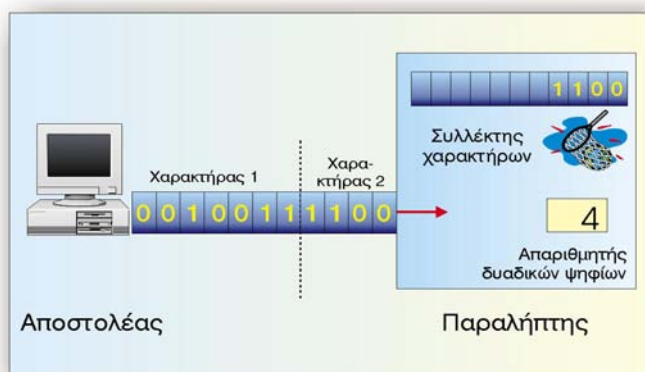
Σχήμα 2.10: Παράδειγμα εσφαλμένης και ορθής συγχρονισμένης μετάδοσης



δυναμικά ψηφία για ASCII χαρακτήρες), ο μετρητής μηδενίζεται, προκειμένου να μετρήσει τα δυναμικά ψηφία του χαρακτήρα που ακολουθεί.

- ✓ Ένας ειδικός χαρακτήρας, γνωστός ως **EOF** (End Of File), σηματοδοτεί τον τερματισμό της μετάδοσης του μηνύματος.

Η διαδικασία συγχρονισμού στη σειραϊκή μετάδοση δεδομένων προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση ενός κοινού ρολογιού, στο μεν πομπό για τη μετακίνηση των δεδομένων από τον καταχωρητή μετατόπιση στη γραμμή μετάδοσης, στο δε δέκτη για τον έλεγχο του χρόνου στη γραμμή της δειγματοληψίας. Η ύπαρξη κοινού ρολογιού στον πομπό και στο δέκτη απαλλάσσει τη μετάδοση από τη χρησιμοποίηση των παλμών αρχής και τέρματος κάθε χαρακτήρα που μεταδίδεται. Επομένως, προκειμένου να συγχρονιστεί ο δέκτης με τον πομπό, είναι αναγκαίο, εκτός από το σήμα που μεταφέρει την πληροφορία, να μεταδίδεται και το σήμα χρονισμού.



Σχήμα 2.12: Διαδικασία συγχρονισμού

τος στα αντίστοιχα δυαδικά ψηφία που παριστάνει, τα οποία τοποθετούνται στη συνέχεια σε σειρά, το ένα μετά το άλλο, προκειμένου να γίνει η μετάδοση. Το κύκλωμα αυτό τοποθετείται στον πομπό, ενώ και από την πλευρά του δέκτη απαιτείται αναλογικά η μετατροπή των δυαδικών ψηφίων, ένα προς ένα, και η αντιστοίχισή τους σε χαρακτήρες. Μ' αυτό τον τρόπο στον πομπό γίνεται η **κατάτμηση** του χαρακτήρα, ενώ στο δέκτη η **επανασύνθεσή** του. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα που κάνει αυτές τις μετατροπές έχει τυποποιηθεί και ονομάζεται **πρότυπο κύκλωμα RS-232C** (περισσότερα γι' αυτό στην επόμενη παράγραφο). Τέλος, όπως και στην ασynchρονιστη σειραϊκή μετάδοση, έτσι και στη συγχρονισμένη χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές για την αναγνώριση λαθών κατά τη μετάδοση, όπως είναι το δυαδικό ψηφίο ισότητας, ο κώδικας CRC κτλ., θέματα που θα αναλυθούν στο Μάθημα 2.6.

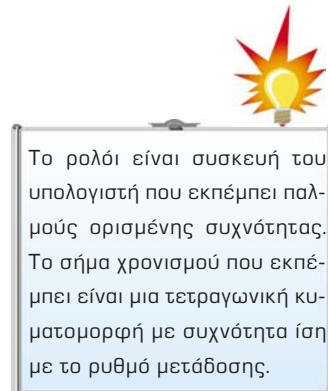
Στην περίπτωση της μετάδοσης που είναι **προσανατολισμένη προς δυαδικό ψηφίο** (*bit oriented*), το τμήμα των δεδομένων αντιμετωπίζεται σαν μια διαδοχή από δυαδικά



Σχήμα 2.11: Παράδειγμα εσφαλμένου συγχρονισμού

δεται και το σήμα χρονισμού. Εναλλακτικές τεχνικές χρησιμοποιούν ξεχωριστή γραμμή συγχρονισμού ή ενσωματώνουν την πληροφορία συγχρονισμού στα δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση ο ακριβής χρόνος αποστολής και άφιξης κάθε δυαδικού ψηφίου είναι γνωστός.

Πέρα από το συγχρονισμό πομπού και δέκτη, απαιτείται ένα κύκλωμα μετατροπής κάθε χαρακτήρα του μηνύμα-

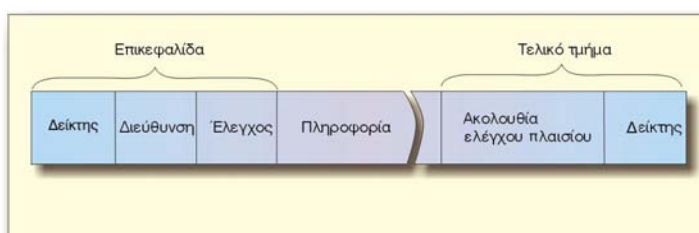






ψηφία. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, δύο ειδικής μορφής χαρακτήρες δηλώνουν την αρχή μιας ομάδας, ενώ ένας ειδικός χαρακτήρας, με το συμβολισμό **EOT** (*End Of Transmission*), σηματοδοτεί τον τερματισμό της μετάδοσης του μηνύματος.

Στη μετάδοση που είναι **προσανατολισμένη προς πλαίσιο** (*frame oriented*) η σειρά χαρακτήρων του μηνύματος ομαδοποιείται και διαιρείται σε πλαίσια (*frames*), τα οποία συμπεριλαμβάνουν και τους χαρακτήρες συγχρονισμού. Ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να βρίσκονται σε πλήρη συγχρονισμό για όλο το χρονικό διάστημα που διαρκεί η μετάδοση του πλαισίου. Το συνολικό πλαίσιο αποκτά μια συγκεκριμένη δομή (σχήμα 2.13) και αποτελείται από τους χαρακτήρες συγχρονισμού, οι οποίοι με τη σειρά τους συγκροτούν την **επικεφαλίδα** (*header*), το μήνυμα που μερικές φορές μπορεί να είναι μεταβλητού μήκους, το **τέλος του κειμένου** (*trailer*) κτλ.



Σχήμα 2.13: Δομή πλαισίου μετάδοσης

## 2.3.4 Το κύκλωμα EIA-232D/V.24

Το κύκλωμα *EIA-232D* έχει αναγνωριστεί ως το διεθνές πρότυπο σύμφωνα με το οποίο όλες οι μονάδες επικοινωνιών μπορούν να συνδεθούν φυσικά με μια γραμμή επικοινωνίας. Καθιερώθηκε το 1986, σε αντικατάσταση του κυκλώματος *RS-232C*, με το οποίο διαφοροποιείται ελάχιστα. Είναι επίσης γνωστό και ως πρότυπο *V.24*. Διαθέτει 25 ακροδέκτες, καθένας από τους οποίους προορίζεται για συγκεκριμένη λειτουργία. Για παράδειγμα, ο ακροδέκτης 1 αφορά τη γείωση της συσκευής, ο 2 μεταδίδει δεδομένα από το τερματικό στο διαποδιαμορφωτή, ο 3 λαμβάνει δεδομένα από το διαποδιαμορφωτή, ο 4 χρησιμοποιείται για να ζητηθεί να αποσταλούν δεδομένα στο διαποδιαμορφωτή, ο 5 για να δηλωθεί ότι ο διαποδιαμορφωτής είναι έτοιμος να δεχτεί δεδομένα κτλ.

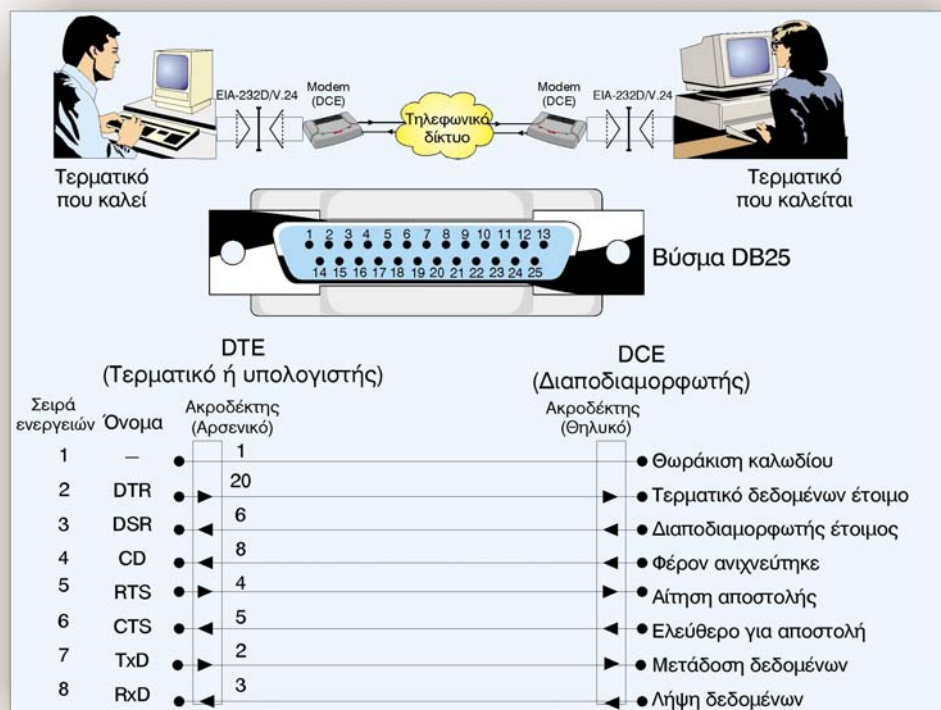
Αναλυτικότερα:

- ✓ Οι μηχανικές προδιαγραφές του κυκλώματος *EIA-232 D/V.24* αφορούν ένα συνδετήρα 25 ακροδεκτών, με πλάτος  $47,04 \pm 1,3$  mm (από κέντρο σε κέντρο βίδας) και με εξίσου ακριβείς προδιαγραφές για όλες τις άλλες διαστάσεις. Η επάνω σειρά έχει ακροδέκτες με αρίθμηση από 1 έως 13 (από αριστερά προς τα δεξιά), ενώ η κάτω σειρά έχει ακροδέκτες με αρίθμηση από 14 έως 25 (με την ίδια σειρά) (σχήμα 2.14).
- ✓ Οι ηλεκτρικές προδιαγραφές του κυκλώματος *RS-232C/D* ορίζουν ότι μια τάση από  $-15$  έως  $-3$  Volt παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 1, ενώ μια άλλη τάση από  $+3$  έως  $+15$  Volt παριστάνει το δυαδικό ψηφίο 0.
- ✓ Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων δεν υπερβαίνει τα 20 Kbps.



Το κύκλωμα *RS-232D* συνιστά πρότυπο και αποτελεί εξέλιξη του κυκλώματος *RS-232C*. Σχεδιάστηκε από το Σύνδεσμο Ηλεκτρονικών Βιομηχανιών (*EIA: Electronic Industry Association*) και αναφέρεται ως πρότυπο **EIA/RS-232C**.

- ✓ Το μήκος της επιτρεπόμενης καλωδίωσης φθάνει τα 15 μέτρα.
- ✓ Οι λειτουργικές προδιαγραφές καθορίζουν τα κυκλώματα που είναι συνδεδεμένα σε καθέναν από τους 25 ακροδέκτες, καθώς και το περιεχόμενό τους (σχήμα 2.14). Καθένα από αυτά τα κυκλώματα εκτελεί μια ειδική λειτουργία.
- ✓ Από τις 25 λειτουργίες που καθορίζονται από τους αντίστοιχους ακροδέκτες οι 8 υλοποιούνται σχεδόν πάντοτε. Η υλοποίησή τους γίνεται με την ακόλουθη σειρά:



Σχήμα 2.14: Το κύκλωμα EIA-232D/V.24

- Όταν η τερματική μονάδα τεθεί σε λειτουργία, τίθεται σε λογικό 1 η λειτουργία **τερματικό δεδομένων έτοιμο** (DTR: Data Terminal Ready), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 20.
- Όταν ο διαποδιαμορφωτής τεθεί σε λειτουργία, τίθεται σε λογικό 1 η λειτουργία **διαποδιαμορφωτής έτοιμος** (DSR: Data Set Ready), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 6.
- Όταν ο διαποδιαμορφωτής ανιχνεύσει ένα φέρον στην τηλεφωνική γραμμή, τίθεται σε λογικό 1 η λειτουργία **φέρον ανιχνεύτηκε** (CD: Carrier Detect), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 8.
- Η λειτουργία **αίτηση αποστολής** (RTS: Request To Send), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 4, δηλώνει ότι η τερματική μονάδα θέλει να στείλει δεδομένα.
- Η λειτουργία **ελεύθερο για αποστολή** (CTS: Clear To Send), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 5, δηλώνει ότι ο διαποδιαμορφωτής είναι προετοιμασμένος για να λάβει δεδομένα.
- Η λειτουργία **μετάδοση δεδομένων** (TxD: Transmitted Data), που καθορίζεται από τον ακροδέκτη 2, δηλώνει ότι τα δεδομένα μεταδίδονται στο κύκλωμα μετάδοσης.
- Η λειτουργία **λήψη δεδομένων** (RxD: Received Data), που καθορίζεται από



τον ακροδέκτη 3, δηλώνει ότι τα δεδομένα παραλήφθηκαν από το κύκλωμα λήψης.

Είναι αξιοσημείωτο ότι η διαδοχή των λειτουργιών βασίζεται σε ζεύγη δράσης - αντίδρασης. Για παράδειγμα, όταν το τερματικό θέσει σε λογικό 1 τη λειτουργία *RTS* (αίτηση αποστολής), ο διαποδιαμορφωτής, εάν είναι σε θέση να πάρει δεδομένα, αποκρίνεται με τη λειτουργία *CTS* (ελεύθερο για αποστολή). Τέλος, παρέχονται και άλλα πρόσθετα κυκλώματα, όπως για παράδειγμα η επιλογή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, η δοκιμή και ο έλεγχος του διαποδιαμορφωτή, ο χρονισμός των δεδομένων, η αναγνώριση σημάτων κουδουνιού, η αποστολή δεδομένων στην αντίθετη κατεύθυνση σε ένα δευτερεύον κανάλι κτλ., όμως σπανίως χρησιμοποιούνται στην πράξη.

### 2.3.5 Το κύκλωμα RS-499

Το κύκλωμα *RS-499* είναι το νεότερο πρότυπο, το οποίο οφείλει την επικράτησή του αφ' ενός στην αδυναμία του *EIA/RS-232D/V.24* να ξεπεράσει τους τεχνικούς περιορισμούς των 15 μέτρων καλωδίωσης και του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης των 20 Kbps και αφ' ετέρου στην υποστήριξή του από ολόκληρο τον τεχνικό κόσμο. Είναι γνωστό ότι το *ANSI* (*American National Standards Institute*) δεν αναγνωρίζει το *EIA-232D/V.24* ως πρότυπο, ενώ αντίθετα αναγνωρίζει ως πρότυπο τη διεπαφή *RS-499*. Τα κυκλώματα που περιλαμβάνει το *RS-499* ανέρχονται σε 37 ή 9, ανάλογα με το αν χρησιμοποιείται κανάλι επιστροφής, οπότε και απαιτούνται λιγότερα κυκλώματα. Αποτέλεσμα των διαφορετικών ηλεκτρικών και φυσικών διεπαφών που χρησιμοποιεί το *RS-499* είναι ότι έχει την ικανότητα να λειτουργεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις, που προσεγγίζουν τα 60 μέτρα, καθώς και σε μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, που φθάνουν τα 2 Mbps.



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ομάδα, πλαίσιο (*frame*), προπορευόμενα δυαδικά ψηφία, παρεπόμενα δυαδικά ψηφία, συγχρονισμός, άεργος χρόνος, συγχρονισμός προσανατολισμένος προς δυαδικό ψηφίο, συγχρονισμός προσανατολισμένος προς χαρακτήρα, συγχρονισμός προσανατολισμένος προς πλαίσιο, ασυγχρόνιστη μετάδοση, παλμός αρχής, παλμός τέρματος, δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας, συγχρονισμένη μετάδοση, χαρακτήρας συγχρονισμού (*SYNC*), χαρακτήρας τερματισμού (*EOB*), καταχωρητής ολίσθησης, χαρακτήρας τερματισμού μετάδοσης μηνύματος (*EOF*), ρολόι, κύκλωμα *RS-232C*, κύκλωμα *EIA-232D/V.24*, κύκλωμα *RS-499*, επικεφαλίδα (*header*), τελικό τμήμα (*trailer*), αποσύνθεση, ανασύνθεση, λειτουργία φέρον ανιχνεύτηκε, λειτουργία αίτηση αποστολής, λειτουργία ελεύθερο για αποστολή, λειτουργία μετάδοση δεδομένων, λειτουργία λήψη δεδομένων.



## Μάθημα 2.4: Συγκριτική αξιολόγηση

### 2.4.1 Σύγκριση ψηφιακής και αναλογικής μετάδοσης

Η ψηφιακή μετάδοση έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της αναλογικής. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Οι ψηφιακοί παλμοί έχουν μικρότερη ευαισθησία στο θόρυβο από ό,τι τα αναλογικά σήματα. Ο λόγος είναι ότι ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει ευκολότερα τις δύο διακριτές στάθμες του ψηφιακού σήματος από ό,τι τις θεωρητικά άπειρες στάθμες ενός αναλογικού σήματος.
- ✓ Η ψηφιακή μετάδοση παρουσιάζει πολύ χαμηλό ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων. Βέβαια τα αναλογικά κυκλώματα διαθέτουν ενισχυτές που προσπαθούν να εξουδετερώσουν την εξασθένηση του σήματος στη γραμμή, αλλά δεν μπορούν να την εξουδετερώσουν εντελώς, ιδιαίτερα εάν η εξασθένηση είναι διαφορετική για διαφορετικές συχνότητες. Επειδή το λάθος είναι αθροιστικό, τα σήματα που διατρέχουν μεγάλες αποστάσεις περνούν μέσα από πολλούς ενισχυτές, με αποτέλεσμα να υφίστανται σημαντική παραμόρφωση. Σε αντιδιαστολή, οι ψηφιακοί ενισχυτές μπορούν να αποκαταστήσουν το εξασθενημένο εισερχόμενο σήμα ακριβώς στην αρχική του μορφή, επειδή οι μόνες πιθανές τιμές είναι 0 και 1. Οι ψηφιακοί ενισχυτές δεν επηρεάζονται από λάθη που συσσωρεύονται.
- ✓ Στην ψηφιακή μετάδοση όλες οι πληροφορίες, όπως είναι η φωνή, τα δεδομένα, η μουσική, οι εικόνες, το βίντεο κτλ., μπορούν να συνδυαστούν προκειμένου να γίνει μια πιο αποτελεσματική χρήση του εξοπλισμού.
- ✓ Η ψηφιακή μετάδοση έχει πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από ό,τι η αναλογική. Τους ρυθμούς αυτούς είναι δυνατόν να επιτύχουμε χρησιμοποιώντας τις γραμμές της τηλεπικοινωνιακής δομής που υπάρχει.
- ✓ Η ψηφιακή μετάδοση και οι σχετικές μ' αυτήν τεχνικές γίνονται συνεχώς φθηνότερες από την αναλογική μετάδοση. Αυτό συμβαίνει, επειδή το κόστος των ψηφιακών υπολογιστών και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων συνεχώς μειώνεται.
- ✓ Στην ψηφιακή μετάδοση γίνεται καλύτερη διαχείριση των ψηφιακών σημάτων από ό,τι στην αναλογική.
- ✓ Στην ψηφιακή μετάδοση ο ρυθμός μπορεί να αυξομειώνεται, έτσι ώστε να προσαρμόζεται ανάλογα με τις διάφορες απαιτήσεις μετάδοσης και τους τύπους των συσκευών.

Εκτός από αυτά τα πλεονεκτήματα, τα ψηφιακά συστήματα επεξεργασίας σημάτων (πληροφοριών) μάς παρέχουν πολύ περισσότερες δυνατότητες και υπηρεσίες



Οι υπηρεσίες που προσφέρει η ψηφιακή μετάδοση στηρίζουν όλες τις τηλεματικές εφαρμογές οι οποίες έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Οι πλέον ενδιαφέρουσες υπηρεσίες είναι το μετά από απαίτηση βίντεο (*video on demand*), η τηλεδιάσκεψη, η τηλεεργασία, το εικονοτηλέφωνο κτλ.



Με την **πολυπλεξία** επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη και χωρίς αλληλεπιδράσεις μετάδοση χωριστών σημάτων μέσα από το ίδιο μέσο μετάδοσης.



από ό,τι τα αντίστοιχα αναλογικά συστήματα, επειδή βασίζονται σε υπολογιστές γενικού ή ειδικού σκοπού. Για παράδειγμα, σε ένα ψηφιακό τηλεφωνικό κέντρο μπορούμε να έχουμε ένα πλήθος από συμπληρωματικές υπηρεσίες, που υλοποιούνται από τους υπολογιστές στους οποίους το ψηφιακό κέντρο βασίζεται. Οι υπηρεσίες αυτές είναι αδύνατον να υπάρξουν σε ένα αναλογικό κέντρο.

### 2.4.2 Σύγκριση παράλληλης και σειραϊκής μετάδοσης

Η συγκριτική αξιολόγηση της παράλληλης και της σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων δείχνει τη συμπληρωματικότητά τους. Ειδικότερα, το κύριο πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης συνίσταται στο γεγονός ότι προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, εφόσον την ίδια χρονική στιγμή μεταφέρονται οκτώ δυαδικά ψηφία (ένας χαρακτήρας). Το μεγάλο μειονέκτημά της όμως συνίσταται στο συγκριτικά υψηλότερο κόστος καλωδίωσης, που αυξάνεται με την απόσταση. Επιπρόσθετα στην παράλληλη μετάδοση υπάρχει μεγάλη παραμόρφωση σε συνδέσεις που υπερβαίνουν τα 15 μέτρα.

Σε αντίθεση, το κύριο πλεονέκτημα της σειραϊκής μετάδοσης δεδομένων συνίσταται στο συγκριτικά χαμηλότερο κόστος σύνδεσης, αφού χρησιμοποιούνται πολύ λιγότεροι αγωγοί από ό,τι στην παράλληλη. Επίσης η μετάδοση αυτής της μορφής είναι πιο αξιόπιστη, ακόμα και σε μακρινές συνδέσεις, αφού η παραμόρφωση είναι μικρότερη.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η παράλληλη μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις στις οποίες η απόσταση είναι πολύ μικρή, οπότε και η διαφορά του κόστους είναι μηδαμινή, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης είναι πολλαπλάσιος.

### 2.4.3 Σύγκριση συγχρονισμένης και ασυγχρόνιστης σειραϊκής μετάδοσης

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύγκριση μεταξύ συγχρονισμένης και ασυγχρόνιστης ψηφιακής μετάδοσης είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Ο πομπός και ο δέκτης που χρησιμοποιούνται στην ασυγχρόνιστη μετάδοση είναι πολύ πιο απλοί από αυτούς της συγχρονισμένης. Αυτό οφείλεται στα απλούστερα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στην ασυγχρόνιστη μετάδοση.
- ✓ Η συγχρονισμένη μετάδοση αξιοποιεί καλύτερα το κανάλι σε σχέση με την ασυγχρόνιστη. Η αποστολή κάθε χαρακτήρα στην ασυγχρόνιστη μετάδοση χρειάζεται πρόσθετα δυαδικά ψηφία, πέρα από αυτά που σχετίζονται με την πληροφορία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της μετάδοσης του χαρακτήρα. Αντίθετα, στη συγχρονισμένη μετάδοση χρειάζεται μόνο μία μικρή ακολουθία δυαδικών ψηφίων, στην αρχή και στο τέλος του πλαισίου, για τη μετάδοση ενός σαφώς μεγαλύτερου αριθμού χαρακτήρων.





- ✓ Στη συγχρονισμένη μετάδοση είναι πάντα γνωστός ο αριθμός των χαρακτήρων που μεταδίδονται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ στην ασυγχρόνιστη δεν είναι.
- ✓ Η συγχρονισμένη μετάδοση έχει καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση σφαλμάτων από ό,τι η ασυγχρόνιστη.
- ✓ Η συγχρονισμένη μετάδοση υπερτερεί σε μεθόδους γνώσης και διόρθωσης σφαλμάτων. Τις τεχνικές αυτές θα τις αναπτύξουμε στο επόμενο κεφάλαιο.
- ✓ Η ασυγχρόνιστη μετάδοση είναι υλοποιήσιμη με πολύ μικρό κόστος εξοπλισμού. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε μια μεγάλη κατηγορία υπολογιστικών συστημάτων και περιφερειακών συσκευών.

Από την ανάπτυξη της λειτουργίας της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης είναι φανερό πως η συγχρονισμένη μετάδοση έχει περισσότερα πλεονεκτήματα όσον αφορά το ρυθμό μεταφοράς της πληροφορίας. Η απόδοση της συγχρονισμένης μετάδοσης είναι υψηλότερη, αφού ο συγχρονισμός γίνεται μια φορά για κάθε τμήμα δεδομένων. Αντίθετα, στην ασυγχρόνιστη μετάδοση έχουμε πληροφορία συγχρονισμού για κάθε χαρακτήρα.

## Παράδειγμα IX

Ας υποθέσουμε πως έχουμε ασυγχρόνιστη μετάδοση στα 14.400 bps 8 Odd 1. Για τη μεταφορά κάθε χαρακτήρα ωφέλιμης πληροφορίας (7 bits) απαιτούνται 10 δυαδικά ψηφία (7 bits + start bit + stop bit + parity bit). Επομένως ο ρυθμός μεταφοράς της ωφέλιμης πληροφορίας είναι το 70% του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, δηλαδή 10.080 bps.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

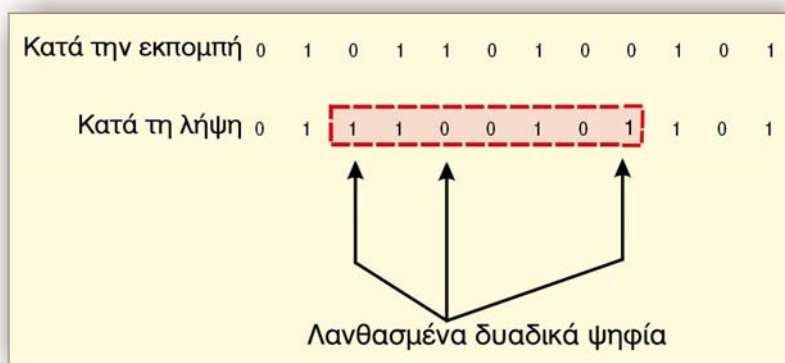
Ευαισθησία στο θόρυβο, κόστος σύνδεσης, κόστος εξοπλισμού, αυξομείωση ρυθμού μετάδοσης, συμπληρωματικές υπηρεσίες, αποτελεσματική χρήση εξοπλισμού, αναγνώριση σφαλμάτων.



## Μάθημα 2.5: Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων

### 2.5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα μαθήματα, κατά τη μετάδοση δεδομένων μέσω των γραμμών επικοινωνίας συμβαίνουν σφάλματα. Λέμε ότι δημιουργήθηκε κάποιο **σφάλμα** (*error*), όταν διαπιστωθεί ότι τα δεδομένα που έφτασαν στο σταθμό προορισμού διαφέρουν από αυτά που στάλθηκαν από το σταθμό αποστολής. Επειδή ο προφανής στόχος είναι η εκμηδένιση κάθε αιτίας σφάλματος, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων, οι σπουδαιότερες από τις οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.



Σχήμα 2.15: Σφάλματα υπό μορφή δέσμης κατά τη μετάδοση

Τα σφάλματα που δημιουργούνται μπορεί να είναι είτε μεμονωμένα είτε υπό μορφή δέσμης. **Μεμονωμένα** ή **ανεξάρτητα** λέγονται εκείνα τα σφάλματα των οποίων η παρουσία δεν επηρεάζει το σύνολο της πληροφορίας που μεταδίδεται. Για παράδειγμα, ένα λανθασμένο δυαδικό ψηφίο σε οποιαδήποτε θέση ενός μηνύματος δεν επηρεάζει όλο το μήνυμα. Όμως, πρακτικά, τα σφάλματα που εντοπίζονται σε μια μετάδοση δεδομένων είναι συνήθως συγκεντρωμένα ή, όπως συνηθίζεται να λέγεται, είναι υπό μορφή **δέσμης** (σχήμα 2.15).

Σε μια μετάδοση δεδομένων ενδιαφέρει το **ποσοστό σφαλμάτων**, δηλαδή η αναλογία των λανθασμένων δυαδικών ψηφίων που ελήφθησαν ως προς το συνολικό αριθμό των δυαδικών ψηφίων που εστάλησαν. Για παράδειγμα, σε μια τηλεφωνική σύνδεση το ποσοστό σφαλμάτων είναι συνήθως της τάξης του  $10^{-6}$ .

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, οι πιο συνηθισμένες αιτίες προβλημάτων που οδηγούν σε λήψη εσφαλμένων δεδομένων ή σε απώλεια πληροφορίας είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Κανένα φυσικό μέσο μετάδοσης δεν είναι



Σχήμα 2.16: Αλλοίωση σήματος



τέλειο. Αυτό σημαίνει ότι το μεταδιδόμενο σήμα που τα διαπερνά αλλοιώνεται με τον έναν ή τον άλλο τρόπο. Η αλλοίωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα μετάδοσης ενός σήματος ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητά του (σχήμα 2.16).

- ✓ Το σήμα εξασθενεί, καθώς διαπερνά το φυσικό μέσο μετάδοσης. Η εξασθένηση οφείλεται στη μείωση του πλάτους του σήματος και στη διανυόμενη απόσταση (σχήμα 2.17).
- ✓ Η ύπαρξη θορύβου στο μέσο μετάδοσης αλλοιώνει το σήμα. Για το θόρυβο και τα είδη του έχει ήδη γίνει αναφορά στο Μάθημα 1.4.
- ✓ Τα συνήθη μέσα μετάδοσης, όπως είναι οι τηλεφωνικές γραμμές, είναι σχεδιασμένα για μεταφορά φωνής (αναλογική μετάδοση) και όχι δεδομένων (ψηφιακή μετάδοση).



Σχήμα 2.17: Εξασθένηση σήματος

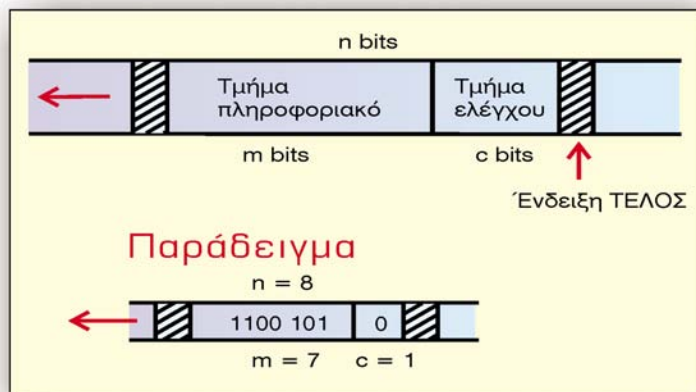
Στην ψηφιακή μετάδοση το αποτέλεσμα κάποιου σφάλματος είναι, στη χειρότερη των περιπτώσεων, η καταστροφή των δυαδικών ψηφίων ή η αλλαγή της τιμής ενός ψηφίου από 1 σε 0 και αντίστροφα. Επομένως, αντίθετα με την τηλεφωνική επικοινωνία, στην οποία υπάρχουν όρια ανοχής, στην επικοινωνία δεδομένων τα σφάλματα και η απώλεια της πληροφορίας οδηγούν τη μετάδοση σε διακοπή. Έτσι προκύπτει η αναγκαιότητα της καθιέρωσης μηχανισμών που να επιτρέπουν, αν όχι τη διόρθωση, τουλάχιστον τον εντοπισμό των σφαλμάτων.

Η αντιμετώπιση των σφαλμάτων γίνεται στην πράξη με τους ακόλουθους γενικούς μηχανισμούς:

- ✓ **Αγνόηση των σφαλμάτων.** Αυτή η λύση γίνεται δεκτή, όταν η παρουσία σφαλμάτων δε δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην πράξη. Τέτοια περίπτωση αποτελεί η μετάδοση τηλεγραφικών κειμένων, όπου ένα λάθος, (π.χ. παράλειψη άρθρου) δε δυσκολεύει την ανάγνωση του κειμένου.
- ✓ **Ανίχνευση των σφαλμάτων.** Η λύση αυτή προτείνεται, όταν τα σφάλματα εντοπίζονται στο σταθμό προορισμού. Σ' αυτή την περίπτωση δίνεται συνήθως κάποια αναφορά προς το σταθμό αποστολής ότι η πληροφορία έφτασε λανθασμένη, προκειμένου να επαναμεταδοθεί.
- ✓ **Ανίχνευση και διόρθωση των σφαλμάτων.** Η λύση αυτή προτείνεται, όταν τα σφάλματα εντοπίζονται στο σταθμό προορισμού. Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται ανίχνευση των σφαλμάτων και προσπάθεια διόρθωσής τους, χωρίς να απαιτείται επαναμετάδοση.

Η ανίχνευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα προειδοποιητικό σήμα που εκπέμπεται από το σταθμό προορισμού, μόλις εντοπιστεί το σφάλμα. Όσο για τη διόρθωση, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με αποκωδικοποιητή, που διορθώνει αυτόματα κάποια από τα παραγόμενα σφάλματα (άμεση διόρθωση σφαλμάτων), είτε με επαναμετάδοση, όταν ο αποκωδικοποιητής δεν μπορεί να εντοπίσει τα λάθη.

Στην περίπτωση της ανίχνευσης ή της ανίχνευσης και διόρθωσης των σφαλμάτων,



Σχήμα 2.18: Πληροφοριακό τμήμα και τμήμα ελέγχου

μεταβιβάζονται τόσο η ωφέλιμη ή καθαρή πληροφορία, δηλαδή οι απαιτούμενοι κώδικες της πληροφορίας, όσο και οι **πρόσθετες** ή **πλεοναστικές πληροφορίες**, που χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων. Οι πρόσθετες αυτές πληροφορίες καλούνται και **δυναμικά ψηφία ελέγχου**. Η ακολουθία των  $n$  δυαδικών ψηφίων που μεταβιβάζονται αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο είναι το **πληροφοριακό τμήμα**, που αποτελείται από  $m$  δυαδικά ψηφία, στο οποίο περιέχεται η πληροφορία που μεταβιβάζεται, ενώ το δεύτερο είναι το **τμήμα ελέγχου**, που αποτελείται από  $c$  δυαδικά ψηφία, έτσι ώστε  $n = m + c$ . Συνήθως το τμήμα ελέγχου αποτελεί και το τέλος της ακολουθίας των δυαδικών ψηφίων που μεταβιβάζονται

(σχήμα 2.18).

Το τμήμα ελέγχου δημιουργείται στο σταθμό αποστολής, πάντα με βάση το πληροφοριακό τμήμα και σύμφωνα με κάποιον προκαθορισμένο αλγόριθμο κωδικοποίησης, που ονομάζεται **κωδικοποίηση ελέγχου σφάλματος**. Η κωδικοποίηση ελέγχου σφάλματος:

- ✓ έχει σκοπό τον περιορισμό της πιθανότητας να συμβεί σφάλμα κατά τη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας,
- ✓ βασίζεται σε μια καλά υπολογισμένη χρήση πρόσθετης (πλεοναστικής) πληροφορίας και
- ✓ πραγματοποιείται από τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή του μέσου μετάδοσης.

Όταν η πληροφορία φτάσει στο σταθμό προορισμού, αναδημιουργείται το τμήμα ελέγχου, σύμφωνα με τον ίδιο αλγόριθμο, και συγκρίνεται με το τμήμα ελέγχου που μεταβιβάστηκε. Αν δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία των τμημάτων αυτών, τότε διαπιστώνεται το σφάλμα με βάση το σύστημα κωδικοποίησης που εφαρμόστηκε και ακολούθως εντοπίζεται η θέση του εσφαλμένου δυαδικού ψηφίου, προκειμένου να γίνει η διόρθωσή του.

Οι κώδικες που εφαρμόζονται στη μετάδοση πληροφοριών διαιρούνται σε **ανιχνευτικούς κώδικες** (*error detection codes*) και σε **διορθωτικούς κώδικες** (*error correcting codes*). Οι πρώτοι δίνουν τη δυνατότητα να διαπιστωθεί η ύπαρξη των σφαλμάτων, ενώ οι δεύτεροι επιτρέπουν επιπλέον και τον εντοπισμό των θέσεων των εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων. Το τμήμα ελέγχου των διορθωτικών κωδίκων είναι πάντα πολύ μεγαλύτερο από το τμήμα ελέγχου των ανιχνευτικών κωδίκων. Επομένως η διόρθωση σφαλμάτων απαιτεί πολύ περισσότερα δυαδικά ψηφία ελέγχου από ό,τι η ανίχνευση σφαλμάτων.



## 2.5.2 Κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων

Η μεταβίβαση μιας πληροφορίας σε ένα σύστημα μετάδοσης δεδομένων επιβάλλει σχεδόν πάντα την πραγματοποίηση του ελέγχου της μετάδοσης, δηλαδή το αν ο αποδέκτης πήρε πραγματικά αυτό που έστειλε ο αποστολέας. Υπάρχουν αρκετά συστήματα ελέγχου της μετάδοσης, πολλά από τα οποία προϋποθέτουν αρκετή εμπειρία στις τεχνικές μετάδοσης, σε συνδυασμό με γνώσεις που στηρίζονται σε προηγμένες μαθηματικές τεχνικές. Ασφαλώς στόχος του κεφαλαίου αυτού δεν είναι να δώσει με λεπτομέρεια όλες τις υπάρχουσες τεχνικές ελέγχου της μετάδοσης δεδομένων, πολλές από τις οποίες είναι ακόμη αντικείμενο μελέτης, αλλά μάλλον να παρουσιάσει τις απλούστερες από αυτές, προκειμένου να γίνει κατανοητός ο τρόπος αντιμετώπισης των σφαλμάτων.

### 2.5.2.1 Ανίχνευση σφαλμάτων με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας

Μερικά συστήματα μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιούν τον **κατακόρυφο έλεγχο πλεονασμού** (VRC: Vertical Redundancy Checking), μια τεχνική σύμφωνα με την οποία κάθε χαρακτήρας που μεταδίδεται συνοδεύεται από ένα **δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας** (parity bit). Ο έλεγχος αυτός λέγεται και **έλεγχος ισοτιμίας** (parity check). Κατά την αποστολή ο πομπός θέτει στο δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας την τιμή 0 ή 1. Η θέση του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας καθορίζεται από το εκάστοτε πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Υπάρχουν δύο κλασικοί έλεγχοι ισοτιμίας, ο **έλεγχος περιττής ισοτιμίας** (odd parity check) και ο **έλεγχος άρτιας ισοτιμίας** (even parity check). Ο έλεγχος είναι απλός και πραγματοποιείται ως εξής:

Στο μεταφερόμενο χαρακτήρα μετράμε τα ψηφία που έχουν τιμή 1 και:

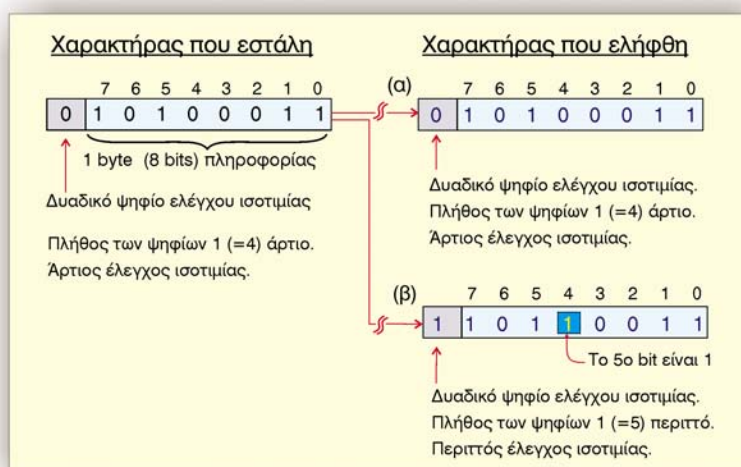
- ✓ αν ο συνολικός αριθμός των δυαδικών ψηφίων που έχουν την τιμή 1 είναι περιττός, λέμε ότι έχουμε περιττό έλεγχο ισοτιμίας·
- ✓ αν ο συνολικός αριθμός των δυαδικών ψηφίων που έχουν την τιμή 1 είναι άρτιος, λέμε ότι έχουμε άρτιο έλεγχο ισοτιμίας.

Όταν ο δέκτης ανιχνεύσει σφάλμα στο ψηφίο ισοτιμίας, γνωρίζει ότι έχει συμβεί σφάλμα μετάδοσης.

### Παράδειγμα X

Στο σχήμα 2.19 περιγράφονται δύο σενάρια μεταφοράς ενός χαρακτήρα πληροφορίας.

Σχήμα 2.19: Ανίχνευση σφάλματος με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας







Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μεταφορά χωρίς σφάλμα, επειδή το άρτιο ψηφίο ισοτιμίας της αποστολής είναι σύμφωνο με το άρτιο ψηφίο ισοτιμίας της λήψης. Επομένως στην περίπτωση αυτή υπάρχει άρτιος έλεγχος ισοτιμίας (σχήμα 2.19α). Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε εσφαλμένη μεταφορά, επειδή το άρτιο ψηφίο ισοτιμίας της αποστολής δε συμφωνεί με το περιττό ψηφίο ισοτιμίας της λήψης (σχήμα 2.19β). Αυτό συνέβη, γιατί κατά τη μεταφορά της πληροφορίας υπήρξε σφάλμα στο 5ο ψηφίο.

Ο έλεγχος ισοτιμίας είναι η παλαιότερη από τις τεχνικές ανίχνευσης σφαλμάτων. Τα πλεονεκτήματά της είναι η απλότητα του αλγορίθμου και η εύκολη υλοποίησή της. Έτσι, αντίθετα με τις επιδόσεις της, που δε θεωρούνται υψηλές, ειδικά όταν ο ρυθμός μετάδοσης είναι υψηλός, η μέθοδος, εφαρμόζεται ευρύτατα. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο ρυθμός αναγνώρισης των σφαλμάτων είναι χαμηλός, με αποτέλεσμα, όταν δημιουργηθεί κάποιο σφάλμα, να αλλοιώνονται πολλά γειτονικά ψηφία. Ο έλεγχος ισοτιμίας σ' αυτή την περίπτωση μπορεί να δώσει θετικό αποτέλεσμα, ωστόσο πρέπει να έχουμε υπόψη μας το ενδεχόμενο να υπάρχουν και σφάλματα που δεν ανιχνεύτηκαν.

Ένα πρόσθετο μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η μη αναγνώριση άρτιου αριθμού σφαλμάτων. Είναι αυτονόητο ότι κάθε περιττός αριθμός σφαλμάτων που θα δημιουργηθεί στη μετάδοση θα προκαλέσει την αύξηση ή τη μείωση των ψηφίων 1 στην ακολουθία των δυαδικών ψηφίων και επομένως θα αλλάξει την τιμή του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας (από άρτια σε περιττή ή αντίστροφα). Αν όμως δημιουργηθεί άρτιος αριθμός σφαλμάτων, τότε δε θα αλλάξει η τιμή του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας και επομένως δε θα ανιχνευτούν αυτά τα σφάλματα.

### Παράδειγμα XI

Στο σχήμα 2.20 ο χαρακτήρας αποτελείται από 7 bits πληροφορίας και από 1 bit που παριστάνει το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας. Με τα υπογραμμισμένα δυαδικά ψηφία ( ) δηλώνονται οι σειρές στις οποίες ανιχνεύτηκε το σφάλμα. Με τον αστερίσκο (\*) σημειώνονται οι εσφαλμένες σειρές που δεν ανιχνεύονται με τη μέθοδο της ισοτιμίας. Όπως φαίνεται, η μέθοδος της ισοτιμίας δεν ανιχνεύει όλα τα σφάλματα. Δηλαδή δεν μπορεί να ανιχνεύσει άρτιο αριθμό σφαλμάτων, αφού το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας που στάλθηκε είναι ίδιο με το δυαδικό ψηφίο ισοτιμίας που έφτασε στον παραλήπτη.

Ακολουθία των 7+1 bits που στάλθηκε								Ακολουθία των 7+1 bits που έφτασε							
1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1*
1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1*

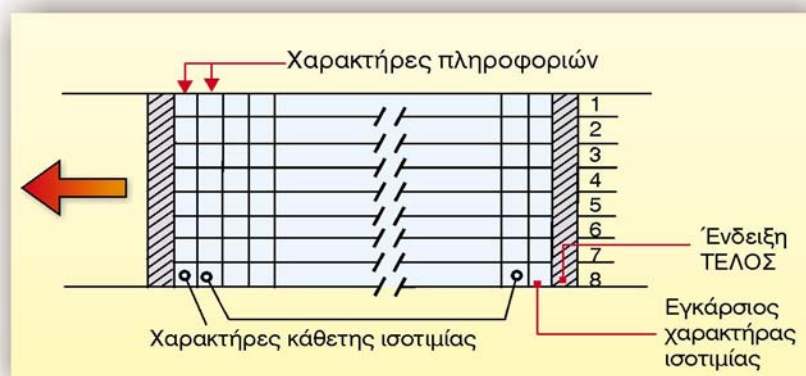
Σχήμα 2.20: Αδυναμία ανίχνευσης σφαλματος με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας

Η μέθοδος που περιγράφηκε εφαρμόζεται ευρύτατα στην πράξη, επειδή χρησιμοποιεί απλούς αλγορίθμους δημιουργίας και ελέγχου της ισοτιμίας και επομένως μη δαπανηρά κυκλώματα.

### 2.5.2.2 Ανίχνευση σφαλμάτων με τη διαδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας

Η τεχνική του **διαδιάστατου ελέγχου ισοτιμίας**, που είναι γνωστή και ως **διαμήκης έλεγχος πλεονασμού** (*LRC: Longitudinal Redundancy Checking*), χρησιμοποιεί πρόσθετα ψηφία ελέγχου προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα μιας ολόκληρης ομάδας χαρακτήρων (σχήμα 2.21). Σύμφωνα μ' αυτή την τεχνική ανίχνευσης σφαλμάτων, το μήνυμα που αποστέλλει ο πομπός και είναι οργανωμένο σε ομάδες χαρακτήρων υφίσταται επεξεργασία από έναν αριθμητικό αλγόριθμο, ο οποίος παράγει ένα αριθμητικό αποτέλεσμα (χαρακτήρα) που μεταδίδεται μαζί με το μήνυμα.

Κάθε στήλη του πίνακα χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση ενός αλφαριθμητικού

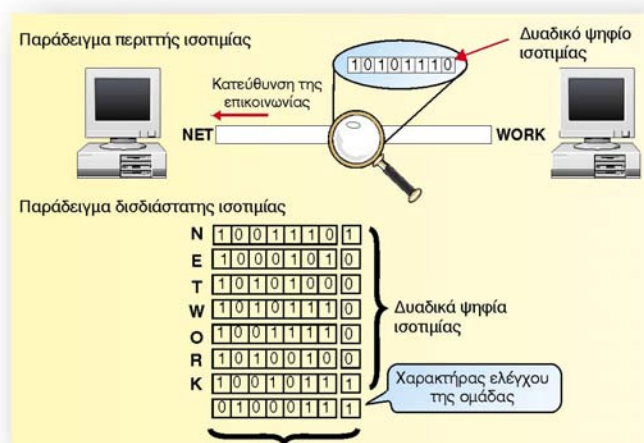


Σχήμα 2.21: Διαδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας

χαρακτήρα, όπως γίνεται στον κατακόρυφο έλεγχο ισοτιμίας. Είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί και εγκάρσιος έλεγχος πλεονασμού, με αποτέλεσμα να δημιουργείται και πρόσθετος εγκάρσιος χαρακτήρας ισοτιμίας (σχήμα 2.22).

Το μήνυμα που λαμβάνει ο δέκτης υφίσταται επεξεργασία από τον ίδιο αλγόριθμο, ενώ το παραγόμενο αριθμητικό αποτέλεσμα συγκρίνεται με το αποτέλεσμα που έλαβε μαζί με το μήνυμα. Αν τα συγκρινόμενα αριθμητικά αποτελέσματα είναι ίδια, ο δέκτης θεωρεί ότι το μήνυμα είναι σωστό. Διαφορετικά, θεωρεί ότι έχει συμβεί κάποιο σφάλμα. Η μέθοδος αυτή αυξάνει δυναμικά την πιθανότητα ανίχνευσης σφάλματος, καθώς επίσης και τη δυνατότητα εντοπισμού της θέσης ενός μεμονωμένου λανθασμένου δυαδικού ψηφίου. Στα περισσότερα συστήματα που χρησιμοποιούν διαμήκη έλεγχο πλεονασμού τα μηνύματα στα οποία εντοπίζεται σφάλμα επαναμεταδίδονται.

Ο χαρακτήρας του αριθμητικού αποτελέσματος που παράγεται από τον αλγόριθμο αποτελείται από τα οριζόντια δυαδικά ψηφία ελέγχου, δηλαδή από δυαδικά ψηφία ισοτιμίας, καθένα από τα οποία προέρχεται από τα αντίστοιχα δυαδικά ψηφία των χαρακτήρων της ομάδας και μεταβιβάζεται τελευταίο. Τα οριζόντια δυαδικά ψηφία ελέγχου αποτελούν το λεγόμενο χαρακτήρα ισοτιμίας (*parity byte*), που λέγεται και άθροισμα ελέγχου (*checksum*), και δημιουργούνται στο σταθμό αποστολής.



Σχήμα 2.22: Εγκάρσιος και διαμήκης έλεγχος ισοτιμίας



μεθόδους της δυαδικής ισότητας. Η πιθανότητα να περάσουν απαρατήρητα λάθη σε ένα τμήμα δυαδικών ψηφίων είναι πολύ μικρή, π.χ. της τάξης του  $10^{-9}$ . Μερικά από τα πιο γνωστά πολυώνυμα - διαιρέτες είναι τα:

**CRC-12**

(1100000001111)

$$x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x^1 + x^0$$

**CRC-16**

(110000000000000101)

$$x^{16} + x^{15} + x^2 + x^0$$

**CCITT-16**

(10001000000100001)

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$$



Σχήμα 2.25: Διαδικασία ελέγχου κυκλικού κώδικα.

## 2.5.3 Κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων

Από τη στιγμή που ανιχνευθούν τα σφάλματα το σύστημα θα πρέπει να προχωρήσει αυτόματα σε κάποια διορθωτική ενέργεια. Η διόρθωση των σφαλμάτων μπορεί να γίνει με δύο τεχνικές: η πρώτη ονομάζεται τεχνική του **αυτόματου αιτήματος επαναμετάδοσης** (ARQ: *Automatic repeat ReQuest*) και αφορά τη διόρθωση των σφαλμάτων με απόρριψη των εσφαλμένων δεδομένων και επαναμετάδοση των ορθών· η δεύτερη ονομάζεται τεχνική της **αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων** (AEC: *Automatic Error Correction*) και αφορά τη διόρθωση των εσφαλμένων δεδομένων με χρήση διάφορων τεχνικών.

Ωστόσο μερικά συστήματα μετάδοσης δεδομένων αφήνουν το σφάλμα να το διορθώσει ο ίδιος ο χρήστης αργότερα. Για παράδειγμα, σε πολλά συστήματα που δε χρησιμοποιείται η αυτόματη επαναμετάδοση είναι εύκολο για το χρήστη να εισαγάγει και πάλι από το τερματικό του το μήνυμα που ελήφθη λανθασμένα ή να ζητήσει την επαναμετάδοσή του. Γενικά, θεωρείται πολύ καλύτερο να υπάρχει κάποιος τρόπος αυτόματης επαναμετάδοσης των εσφαλμένων μηνυμάτων, κάτι που τα περισσότερα από τα νέα συστήματα μετάδοσης δεδομένων πραγματοποιούν.

Οι τρόποι διόρθωσης των σφαλμάτων περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια.

### 2.5.3.1 Διόρθωση σφαλμάτων με επαναμετάδοση

Στα συστήματα χειρισμού δεδομένων συναντώνται πολλές διαφορετικές μέθοδοι ανίχνευσης σφαλμάτων και αυτόματης επαναμετάδοσης. Τα συστήματα αυτά διαφέρουν ως προς τον αριθμό των χαρακτήρων που μπορούν να επαναμεταδώσουν, όταν γίνει η ανίχνευση σφάλματος. Μερικά επαναμεταδίδουν ένα μόνο χαρακτήρα, ενώ άλλα επαναμεταδίδουν πολλούς χαρακτήρες ή και πολλά μηνύματα. Υπάρχουν δύο πλεονεκτήματα όσον αφορά την επαναμετάδοση μικρής ποσότητας δεδομένων:



- ✓ **Μετάδοση** είναι η αποστολή του μηνύματος από τον πομπό.
- ✓ **Επαναμετάδοση ή επανεκπομπή** είναι η επανάληψη της μετάδοσης.
- ✓ **Αναμετάδοση** είναι η μετάδοση ενός μηνύματος το οποίο λαμβάνεται εξασθενημένο και προωθείται ενισχυμένο.



- ✓ Εξασφαλίζεται μικρότερος χρόνος επαναμετάδοσης. Ασφαλώς, σε κανονικές συνθήκες, είναι πιο γρήγορη η επαναμετάδοση 5 χαρακτήρων παρά 500. Ωστόσο, αν ο ρυθμός σφαλμάτων είναι ένας εσφαλμένος χαρακτήρας στους 100.000 (τυπικό νούμερο στην τηλεφωνία), η επί τοις εκατό απώλεια σε ρυθμό μετάδοσης δεν είναι σημαντική. Θα ήταν σημαντική, αν έπρεπε να επαναμεταδοθεί μια ομάδα τουλάχιστον 5.000 χαρακτήρων.
- ✓ Εξασφαλίζεται μείωση του απαιτούμενου αποθηκευτικού χώρου. Είναι φυσικό, όταν επαναμεταδίδεται μια μεγάλη ομάδα δεδομένων, να υπάρχει πρόβλεψη προσωρινής αποθήκευσής τους, μέχρι να επιβεβαιωθεί από το δέκτη ότι η μετάδοση είναι ορθή. Για παράδειγμα, τα δεδομένα που εισάγονται από το πληκτρολόγιο αποθηκεύονται σε μια ενδιάμεση μνήμη, προκειμένου να είναι διαθέσιμα στην περίπτωση που θα χρειαστεί να επαναμεταδοθούν αυτόματα. Σε μερικές περιπτώσεις αρκετές συσκευές εισόδου συνδέονται σε μια μονάδα ελέγχου, που διαθέτει τον απαιτούμενο αποταμιευτή.

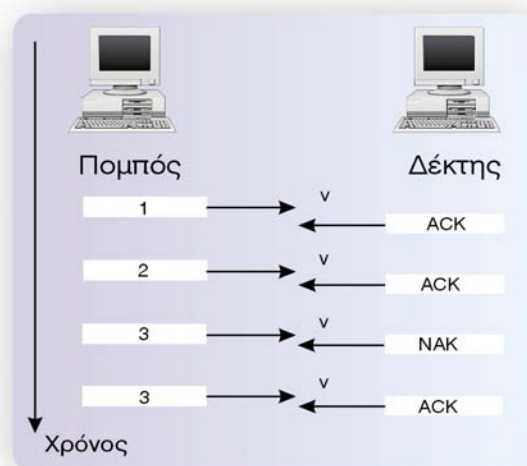
Η χρησιμοποίηση μικρών ομάδων χαρακτήρων για επαναμετάδοση έχει και μειονεκτήματα, που είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Οι κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων μπορεί να είναι αποδοτικότεροι, όταν χρησιμοποιούνται μεγάλες ομάδες δεδομένων.
- ✓ Όταν οι ομάδες δεδομένων αποστέλλονται με συγχρονισμένο τρόπο μετάδοσης, μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα ανάμεσα στις αναγνώσεις των χαρακτήρων ελέγχου και στις διαδικασίες επαναφοράς της γραμμής, το οποίο μένει ανεκμετάλλετο. Όσο περισσότερα είναι τα δεδομένα που μεταδίδονται ανάμεσα στις αναγνώσεις, τόσο ελαχιστοποιείται ο χρόνος που χάνεται. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα μετάδοσης είναι σε θέση να συμβιβάσει με τον καλύτερο τρόπο τους παραπάνω συντελεστές.

Όπως σημειώθηκε, μετά την αναγνώριση της λήψης κάποιας λανθασμένης ομάδας δεδομένων ακολουθεί η διόρθωσή της. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η τεχνική του αυτόματου αιτήματος επαναμετάδοσης (ARQ), ο δέκτης αποστέλλει στον πομπό μηνύματα **επιβεβαίωσης λήψης** (ACK: *AC*knowledgement) ή **εσφαλμένης λήψης** (NAK: *Ne*gative *Ac*knowledgement), προκειμένου αυτός να ενεργήσει ανάλογα. Γενικά, τρεις είναι οι τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων με επαναμετάδοση.

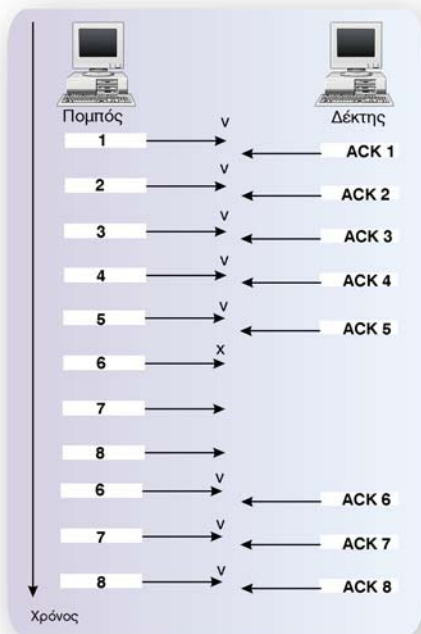
#### ✓ Τεχνική άμεσης αναγνώρισης

Σ' αυτή την περίπτωση ο πομπός, αφού στείλει μια ομάδα δεδομένων, περιμένει να πάρει επιβεβαίωση (ACK ή NAK), προκειμένου να αποστείλει την επόμενη ομάδα δεδομένων. Αν ο πομπός πάρει επιβεβαίωση λήψης (ACK), συνεχίζει κανονικά την αποστολή της επόμενης ομάδας. Αν όμως λάβει αρνητική επιβεβαίωση (NAK) για κάποια ομάδα δεδομένων, τότε επαναμεταδίδει το σύνολο των χαρακτήρων του

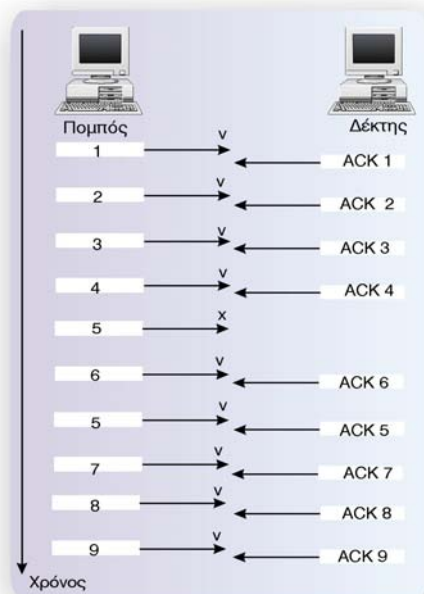


Σχήμα 2.26: Τεχνική της άμεσης αναγνώρισης.





Σχήμα 2.27: Τεχνική της έμμεσης αναγνώρισης.



Σχήμα 2.28: Τεχνική της έμμεσης αναγνώρισης με επιλεκτική επαναμετάδοση

μηνύματος. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή και ως **σταμάτα και περίμενε διόρθωση με αίτημα επαναμετάδοσης** (*stop and wait ARQ*) (σχήμα 2.26).

#### ✓ Τεχνική έμμεσης αναγνώρισης

Μ' αυτή τη μέθοδο ο πομπός στέλνει συνεχώς ομάδες χαρακτήρων, χωρίς να περιμένει σήμα αναγνώρισης (*ACK* ή *NAK*) από το δέκτη για κάθε ομάδα. Όμως, αν ανιχνευθεί σφάλμα από το δέκτη, τότε ο πομπός επαναμεταδίδει όλες τις ομάδες, από την ομάδα που εντοπίστηκε το σφάλμα έως την τελευταία που έχει ήδη μεταδοθεί. Η τεχνική αυτή λέγεται και **πήγαινε πίσω - Ν διορθώσεις με αίτημα επαναμετάδοσης** (*go back - N ARQ*) (σχήμα 2.27).

#### ✓ Τεχνική έμμεσης αναγνώρισης με επιλεκτική επαναμετάδοση

Η μέθοδος αυτή ακολουθεί την ίδια διαδικασία με την τεχνική της έμμεσης αναγνώρισης, με τη διαφορά ότι το σήμα αρνητικής αναγνώρισης (*NAK*) του σταθμού του παραλήπτη προκαλεί την επαναμετάδοση μόνο της ομάδας των χαρακτήρων στην οποία αναφέρεται και όχι όλων των ομάδων που έχουν ήδη μεταδοθεί. Για παράδειγμα, αν ο πομπός έχει στείλει τις ομάδες χαρακτήρων 1, 2, 3 και λάβει *NAK 1*, επαναμεταδίδει μόνο την ομάδα 1 και συνεχίζει τη μετάδοση από την ομάδα 4. Η τεχνική αυτή λέγεται και **επιλεκτική επαναμετάδοση** (*selective retransmission*) (σχήμα 2.28).

Σε πιο σύνθετους σχηματισμούς ειδικά πλαίσια, που λέγονται **πλαίσια ελέγχου**, μεταδίδονται μεταξύ των σταθμών που επικοινωνούν προκειμένου να ελέγξουν τυχόν σφάλματα. Σε άλλες περιπτώσεις τα πλαίσια δεδομένων είναι δυνατόν να μεταφέρουν δυαδικά ψηφία ελέγχου, τα οποία χρησιμοποιούνται ως θετικές αναγνώρισεις. Μ' αυτό τον τρόπο, όταν απαιτείται μια θετική αναγνώριση, χρησιμοποιείται ένα πλαίσιο δεδομένων για τη μεταφορά της, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιβάρυνση της μετάδοσης στην περίπτωση που δεν υπάρχουν σφάλματα.

Είναι δυνατόν:

- ✓ Οι χαρακτήρες ελέγχου, τα ίδια τα πλαίσια ελέγχου και οι χαρακτήρες τέλους μετάδοσης να αλλοιωθούν από το θόρυβο. Αν συμβεί αυτό, υπάρχει κίνδυνος:
  - να χαθεί ένα ολόκληρο πλαίσιο ή
  - να ενωθούν δύο πλαίσια.
- ✓ Κατά τη διαδικασία του αυτόματου αιτήματος επαναμετάδοσης ένα πλαίσιο να σταλεί δύο φορές.

Για να αποφευχθούν τα σφάλματα αυτά, υπάρχει ένας μετρητής που μετρά μόνο τα μονά ή μόνο τα ζυγά πλαίσια που μεταδίδονται. Σε μερικές περιπτώσεις αποστέλλεται ένας χαρακτήρας ελέγχου που δηλώνει ότι πρόκειται για μετάδοση μονού ή ζυγού πλαισίου.

Είναι δύσκολο να χαθούν δύο πλαίσια μαζί ή να μεταδοθούν δύο πλαι-





σια δύο φορές, έτσι που να μην μπορεί ο μετρητής να ανιχνεύσει το σφάλμα. Ωστόσο, για να αποφευχθεί και αυτή η σπάνια περίπτωση, τα περισσότερα νέα σχήματα χρησιμοποιούν αύξοντες αριθμούς, αντί του μετρητή που μετρά μόνο τα μονά ή μόνο τα ζυγά πλαίσια. Οι αύξοντες αριθμοί, εκτός του ότι παρέχουν καλύτερη προστασία, ελαχιστοποιώντας τα χαμένα ή τα διπλά πλαίσια, επιτρέπουν τη μετάδοση περισσότερων δεδομένων, πριν χρειαστεί η επιβεβαίωση λήψης.

### 2.5.3.2 Αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων

Το χαρακτηριστικό της τεχνικής της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων είναι ότι, μαζί με τα δυαδικά ψηφία της πληροφορίας, αποστέλλονται και ορισμένα άλλα τα οποία βοηθούν όχι μόνο στην ανίχνευση τυχόν σφαλμάτων αλλά και στη διόρθωσή τους. Συγκεκριμένα, στο μεταδιδόμενο κώδικα μπορεί να ενσωματωθούν πρόσθετα δυαδικά ψηφία, έτσι ώστε ο ίδιος ο κώδικας να προχωρεί στην αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της ανίχνευσης. Επειδή η επαναμετάδοση του μηνύματος δεν είναι απαραίτητη, ο δέκτης δεν μπορεί να στείλει *ACK* ή *NAK*. Για το λόγο αυτό η μέθοδος είναι γνωστή και ως **πρόσθια διόρθωση σφαλμάτων** (*FEC: Forward Error Correction*).

Σε περιπτώσεις που υπάρχει πολύς θόρυβος η μέθοδος απαιτεί μεγάλο αριθμό πρόσθετων ψηφίων. Επομένως οι κώδικες που δίνουν ασφαλή αποτελέσματα με την πρόσθια διόρθωση σφαλμάτων μειονεκτούν, επειδή μειώνουν τη χωρητικότητα της γραμμής επικοινωνίας.

Η αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων μπορεί να πάρει διάφορες μορφές. Ο πλέον γνωστός κώδικας αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων είναι ο **κώδικας Hamming**, που διορθώνει απλά σφάλματα με την προσθήκη δυαδικών ψηφίων ελέγχου. Παράδειγμα χρησιμοποίησης της μεθόδου της αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων αποτελεί το σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται στους δίσκους *CD-ROM*, στους οποίους το φυσικό μέσο αποθήκευσης είναι πολύ ευαίσθητο σε σφάλματα. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε με την προοπτική να διορθώνεται αυτόματα ένας μεγάλος αριθμός σφαλμάτων, ώστε το σύστημα αποθήκευσης να έχει τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας.

Αν η γραμμή επικοινωνίας είναι μονόπλευρη, η τεχνική πρόσθιας διόρθωσης σφαλμάτων, όπως αυτή που χρησιμοποιείται στους δίσκους *CD-ROM*, είναι πάρα πολύ χρήσιμη. Όμως ένας τυπικός δίαυλος υποστηρίζει αμφίπλευρη μετάδοση, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η επαναμετάδοση. Γενικά, όταν πρόκειται για γραμμές μετάδοσης φωνής, οι κώδικες πρόσθιας διόρθωσης σφαλμάτων δεν καλύπτουν ούτε το συνολικό κόστος ούτε το εύρος ζώνης, στο βαθμό που το καλύπτουν οι κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων, οι οποίοι έχουν ήδη σχεδιαστεί, ώστε να συνδυάζονται με τη δυνατότητα αυτόματης επαναμετάδοσης των δεδομένων που παρουσιάζουν κάποιο σφάλμα.



## Μάθημα 3.1: Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας – χρόνου

### 3.1.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, σε πολλά συστήματα επικοινωνίας το κόστος των γραμμών μεταφοράς αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό του συνολικού κόστους για τον εξοπλισμό και τη συντήρηση του όλου συστήματος. Επομένως είναι λογικό να επιδιώκεται η από κοινού χρήση των ήδη εγκατεστημένων γραμμών μεταφοράς, ώστε να είναι εφικτή η όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση και χρησιμοποίηση της χωρητικότητάς τους. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν με οικονομία οι γραμμές μεταφοράς. Ο ένας έχει σχέση με τη σχεδίαση των επιμέρους τερματικών συνδέσεων, ενώ ο άλλος έχει σχέση με τον τρόπο αποστολής των σημάτων από το μέσο μετάδοσης. Η σχεδίαση των επιμέρους τερματικών συνδέσεων αφορά τους διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης των τερματικών διατάξεων που επικοινωνούν μεταξύ τους και θα μας απασχολήσει λεπτομερέστερα στα επόμενα κεφάλαια, ειδικότερα στα μαθήματα της αρχιτεκτονικής των δικτύων. Εδώ, προκειμένου να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο είναι εφικτή η όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των γραμμών επικοινωνίας δεδομένων, θα αναφερθούμε μόνο σε ειδικές μορφές αυτών των γραμμών, όπως είναι:

- ✓ η γραμμή σημείου προς σημείο (*point-to-point line*),
- ✓ η γραμμή πολλαπλών σημείων (*multipoint* ή *multidrop line*),
- ✓ η επικοινωνία ευρείας εκπομπής (*broadcast*).

Ο δεύτερος τρόπος εξοικονόμησης χωρητικότητας και καλύτερης εκμετάλλευσης των γραμμών μεταφοράς αφορά την **πολυπλεξία**, δηλαδή τη διαδικασία αποστολής διακριτών σημάτων από την ίδια γραμμή επικοινωνίας και την ταυτόχρονη και χωρίς αλληλεπιδράσεις μετάδοσή τους.

Η τεχνική της πολυπλεξίας που θα εφαρμοστεί στις γραμμές μεταφοράς αποτελεί βασικό παράγοντα προκειμένου να επιτευχθεί μείωση του κόστους επικοινωνίας, ιδιαίτερα για υπολογιστές που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε μακρινές αποστάσεις. Επίσης η τεχνική αυτή διευκολύνει την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών αγαθών. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι πολυπλεξίας, τις οποίες θα αναπτύξουμε αναλυτικότερα στη συνέχεια:

- ✓ η πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας (*FDM: Frequency Division Multiplexing*),
- ✓ η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (*TDM: Time Division Multiplexing*) και
- ✓ η στατιστική πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (*STDM: Statistical Time Division Multiplexing*).



Όλα τα διαθέσιμα τηλεπικοινωνιακά αγαθά ονομάζονται και **πόροι** του συστήματος.

### 3.1.2 Τύποι γραμμών επικοινωνίας δεδομένων

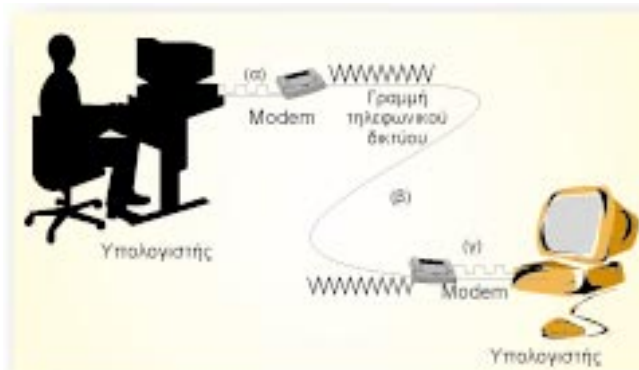
Οι γραμμές επικοινωνίας δεδομένων διακρίνονται, ανάλογα με το πλήθος των σταθμών που επικοινωνούν, ως ακολούθως:

- ✓ **Γραμμή σημείου προς σημείο (point-to-point line).** Η γραμμή σημείου

προς σημείο αποτελεί τον πιο απλό τρόπο σύνδεσης ενός δικτύου επικοινωνίας. Γενικά, η πληροφορία που μεταδίδεται μέσω της σημείου προς σημείο γραμμής επικοινωνίας συνδέει δύο τερματικές διατάξεις (σχήμα 3.1). Το μήκος της γραμμής μπορεί να ποικίλλει, ενώ το είδος της μετάδοσης μπορεί να είναι μονόπλευρης, ημίπλευρης ή αμφίπλευρης κατεύθυνσης.

Η περίπτωση του σχήματος 3.1 είναι η πιο γνωστή και απλή σύνδεση. Μία περισσότερο σύνθετη περίπτωση είναι αυτή του σχήματος 3.2, σύμφωνα με την οποία πολλά τερματικά συνδέονται με έναν κεντρικό υπολογιστή. Η διάταξη αυτή, λόγω του σχήματός της, είναι γνωστή ως διάταξη άστρου.

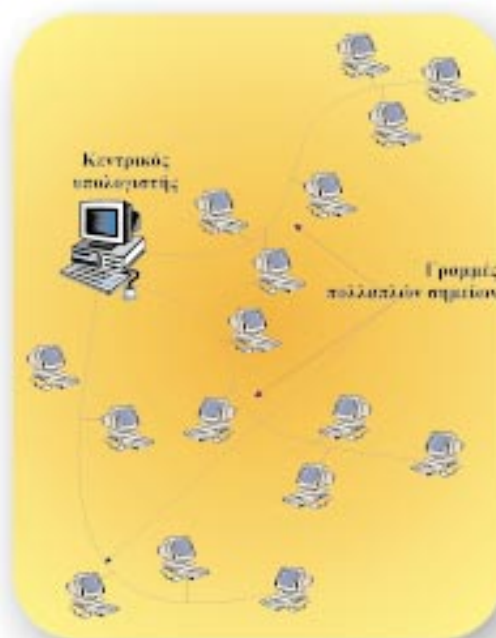
- ✓ **Γραμμή πολλαπλών σημείων (multipoint ή multidrop line).** Η γραμμή πολλαπλών σημείων συνδέει δύο ή περισσότερες τερματικές διατάξεις με



Σχήμα 3.1: Βασικές γραμμές επικοινωνίας σημείου προς σημείο: τερματικού προς διαποδιαμορφωτή (α), διαποδιαμορφωτή προς διαποδιαμορφωτή (β) και διαποδιαμορφωτή προς Η/Υ (γ)



Σχήμα 3.2: Διάταξη άστρου. Κάθε σύνδεση τερματικού προς τον κεντρικό υπολογιστή αποτελεί γραμμή επικοινωνίας σημείου προς σημείο.



Σχήμα 3.3: Γραμμές πολλαπλών σημείων



μία γραμμή επικοινωνίας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3, στη γραμμή αυτή η πληροφορία είναι δυνατόν να ξεκινά από ένα σημείο και να καταλήγει σε άλλα γνωστά σημεία. Ένα παράδειγμα τέτοιας σύνδεσης αποτελεί και η συνδρομητική τηλεόραση, όπου ο πομπός γνωρίζει από πριν τους δέκτες. Το σχήμα αυτό επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ απλών τερματικών διατάξεων με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης, που δε διαθέτουν αποθηκευτικές δυνατότητες. Συνηθέστερη όμως είναι η χρησιμοποίηση του σχήματος αυτού στην περίπτωση σύνθετων τερματικών διατάξεων, που διαθέτουν αποθηκευτικά μέσα και μεταδίδουν σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

- ✓ **Επικοινωνία ευρείας εκπομπής (broadcast).** Πρόκειται για μια απλή γραμμή επικοινωνίας η οποία επιμερίζεται μεταξύ όλων των τερματικών διατάξεων που επιθυμούν να επικοινωνήσουν. Ένα κλασικό παράδειγμα αυτού του είδους επικοινωνίας είναι οι ραδιοφωνικές και οι τηλεοπτικές (μη συνδρομητικές) εκπομπές, όπου καθένας που διαθέτει ένα δέκτη (ραδιόφωνο/τηλεόραση) μπορεί να λαμβάνει το πρόγραμμα που μεταδίδεται. Στο σχήμα αυτό ο πομπός δε γνωρίζει τον αριθμό των δεκτών μιας περιοχής, ο οποίος θεωρητικά μπορεί να είναι άπειρος. Αντίθετα, στη συνδρομητική ή καλωδιακή τηλεόραση όσοι λαμβάνουν το πρόγραμμα είναι νόμιμα εγγεγραμμένοι συνδρομητές στην εταιρεία παροχής της αντίστοιχης υπηρεσίας.

### 3.1.3 Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας

Η **πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας** (*FDM: Frequency Division Multiplexing*) χρησιμοποιείται και στην αναλογική μετάδοση. Το αρχικό εύρος ζώνης του μέσου (φυσικό κανάλι) επιμερίζεται σε πολλές μικρότερες ζώνες συχνότητας, τα λεγόμενα λογικά κανάλια, ώστε κάθε χρήστης να κατέχει αποκλειστικά τη δική του ζώνη συχνότητας. **Λογικό κανάλι** είναι κάθε ξεχωριστή γραμμή μεταφοράς που συνδέεται με την κύρια γραμμή επικοινωνίας (φυσικό κανάλι) και έχει πάντοτε μικρότερο ή ίσο εύρος ζώνης μ' αυτήν.

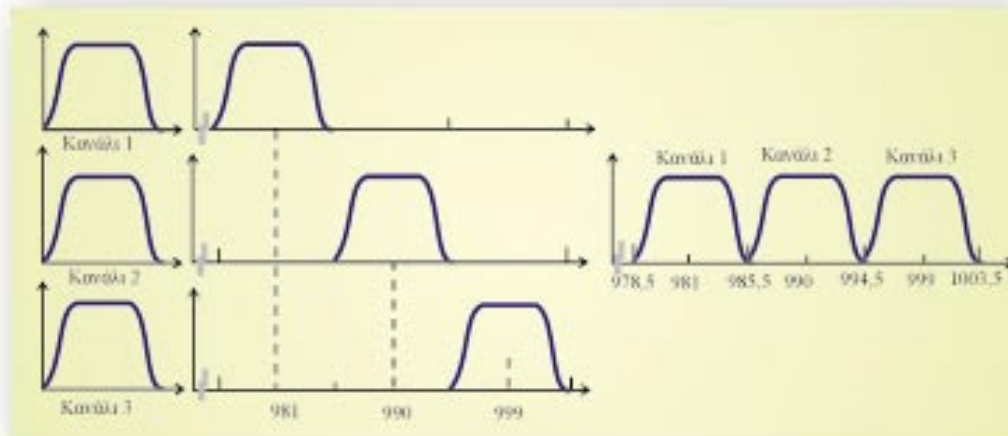
#### Παράδειγμα Ι



Το **φίλτρο** είναι ένα σύστημα επεξεργασίας σημάτων που έχει ως σκοπό την ανίχνευση και κατόπιν το διαχωρισμό του επιθυμητού σήματος από το ανεπιθύμητο σύνολο θορύβων ή άλλων σημάτων που συνθέτουν το αρχικό σήμα.

Οι εκπομπές του ραδιοφώνου στα μεσαία κύματα αποτελούν ένα καλό παράδειγμα πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας. Το φυσικό κανάλι είναι η ραδιοφωνική ζώνη που λειτουργεί από 500 έως 1.500 KHz περίπου, δηλαδή έχει εύρος ζώνης 1 MHz περίπου. Συνήθως, κάθε φέρον σήμα διαμορφώνεται από την αρχική ζώνη συχνότητας (χαμηλή) σε μια υψηλότερη ζώνη, για να μπορέσει να μεταδοθεί, ενώ χρησιμοποιούνται διάφορα φίλτρα, ώστε το εύρος ζώνης να περιοριστεί για κάθε κανάλι, π.χ., στα 9 KHz. Το σχήμα 3.4 δείχνει τις ζώνες συχνότητας τριών καναλιών που χρησιμοποιούν τεχνική *FDM* με συχνότητες 981, 990 και 999 KHz αντίστοιχα.

Όμως, στην πραγματικότητα, μέσω ενός καναλιού μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα πολύ περισσότερα από τρία διαφορετικά σήματα, ιδιαίτερα όταν το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερο από 1 MHz. Αυτό συμβαίνει, για



Σχήμα 3.4: Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας

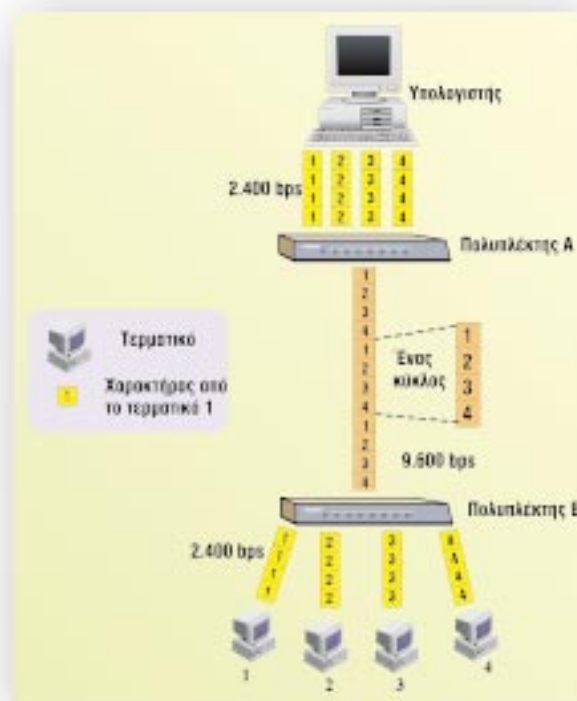
παράδειγμα, στην περίπτωση που η πολυπλεξία αφορά πολλά κανάλια, οπότε διατίθενται 9 KHz για κάθε κανάλι, προκειμένου αυτά να παραμείνουν χωρισμένα. Άρα η αρχική κατανομή του διατιθέμενου εύρους ζώνης συχνοτήτων είναι τέτοια, ώστε η ζώνη συχνότητας κάθε καναλιού να διαφέρει από την επόμενη της κατά 9 KHz. Με τον τρόπο αυτό τα κανάλια μπορούν να λειτουργήσουν από κοινού χωρίς επικαλύψεις (παράσιτα), αφού ανά δύο δεν κατέχουν τις ίδιες ζώνες συχνότητας. Όμως, παρ' όλο που υπάρχουν ζώνες προστασίας ανάμεσα στα κανάλια, εξακολουθεί να υπάρχει κάποια επικάλυψη μεταξύ των γειτονικών καναλιών, αφού τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται δε διακόπτουν απότομα τις άκρες των συχνοτήτων, με αποτέλεσμα η επικάλυψη αυτή να γίνεται αισθητή στο γειτονικό κανάλι σαν θόρυβος (παράσιτα).

### 3.1.4 Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου

Στην **πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου** (TDM: Time Division Multiplexing) οι χρήστες εναλλάσσονται κυκλικά, σαν να βρίσκονται γύρω από στρογγυλό τραπέζι, και καθένας από αυτούς παίρνει όλο το εύρος ζώνης του φυσικού καναλιού για σύντομο συνήθως αλλά πλήρως καθορισμένο χρονικό διάστημα (σχήμα 3.5).

Η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην ψηφιακή μετάδοση. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, όταν έχουμε πολλές εισόδους που μοιράζονται το ίδιο ψηφιακό κανάλι, δημιουργείται μια νέα ροή δυαδικών ψηφίων, που προκύπτει από το συνδυασμό των δυαδικών ψηφίων όλων των επιμέρους ροών κυκλοφορίας.

Στη ραδιοφωνική ζώνη των FM, όπου το εύρος ζώνης είναι 20 MHz, δηλαδή από 88 έως 108 MHz, εκπέμπουν πολλοί κρατικοί και ιδιωτικοί ραδιοφωνικοί σταθμοί.



Σχήμα 3.5: Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου





## Παράδειγμα II

**Ομάδα (block)** ονομάζεται ένα σύνολο χαρακτήρων που είναι έτοιμοι προς μετάδοση. Στην περίπτωση μηνυμάτων με πολλούς χαρακτήρες, πολλές ομάδες συνιστούν ένα **πλαίσιο**.



Στη συγχρονισμένη επικοινωνία οι χαρακτήρες αποστέλλονται κατά ομάδες, ενώ οι ειδικοί χαρακτήρες *SYN* και *EOF* σηματοδοτούν την αρχή και το τέλος της μετάδοσης.

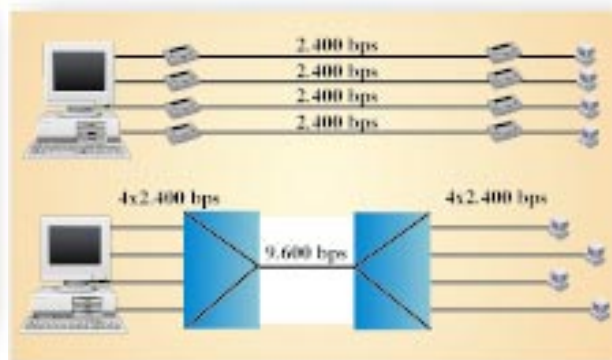
Αν το φυσικό κανάλι περιλαμβάνει τέσσερα διαφορετικά λογικά κανάλια, τότε η μέθοδος της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου καθορίζει ότι το πρώτο δυαδικό ψηφίο θα προέρχεται από το πρώτο λογικό κανάλι, το δεύτερο από το δεύτερο λογικό κανάλι κ.ο.κ. Μ' αυτή τη λογική το ένατο, για παράδειγμα, δυαδικό ψηφίο θα προέρχεται και πάλι από το πρώτο λογικό κανάλι, το δέκατο από το δεύτερο κ.ο.κ., ώστε να συνεχίζεται ο κύκλος.

## Παράδειγμα III

Ένα πρακτικό παράδειγμα πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου είναι αυτό που γίνεται σε ορισμένες χώρες όπου οι ιδιωτικοί ραδιοφωνικοί σταθμοί, εκτός από το φυσικό κανάλι, διαθέτουν και δύο άλλα λογικά κανάλια, της μουσικής και της διαφήμισης, τα οποία εναλλάσσονται κατά διαστήματα, στην ίδια συχνότητα, εκπέμποντας για κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα πότε μουσική και πότε διαφήμιση, αργότερα περισσότερη μουσική κ.ο.κ.

Συνήθως η τεχνική *TDM* εφαρμόζεται στις περιπτώσεις συγχρονισμένης επικοινωνίας. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται κατά ομάδες ή πλαίσια. Ο ρυθμός μετάδοσης των πλαισίων και το μήκος τους είναι σταθεροί παράμετροι και προσδιορίζουν τη χωρητικότητα του φυσικού καναλιού. Σε κάθε πλαίσιο κάθε διαδοχική θέση δίνεται

μόνιμα για χρήση από ένα συγκεκριμένο τερματικό. Σημειώνουμε ότι ο ρυθμός μετάδοσης του πλαισίου συμπίπτει με το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων κάθε τερματικού και ότι η ύπαρξη συγχρονισμού κάθε τερματικού με το ρυθμό μετάδοσης του πλαισίου αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο της τεχνικής.



Σχήμα 3.6: Η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου (γ) αποτελεί συμφερότερη λύση από το σχηματισμό σημείου προς σημείο (α), καθώς και από το σχηματισμό γραμμής πολλαπλών σημείων (β).



(β)

(α)

## Παράδειγμα IV

Το σχήμα 3.6 παριστάνει το διάγραμμα μιας εφαρμογής αυτής της τεχνικής, δηλαδή τους διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης τεσσάρων τερματικών μιας επιχείρησης, εγκατεστημένων στις ίδιες θέσεις, και τη σύνδεσή τους με το κεντρικό σύστημα της επιχείρησης. Ασφαλώς ο σχεδιασμός 3.6α είναι ασύμφορος λόγω του κόστους διατήρησης τεσσάρων γραμμών επικοινωνίας. Ο



σχεδιασμός 3.6β είναι κατάλληλος μόνο σε περιπτώσεις χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου, ώστε η λειτουργία του ενός τερματικού να μην επηρεάζει τη λειτουργία του άλλου. Για παράδειγμα, η χρήση του 60% του χρόνου λειτουργίας κάθε τερματικού προκαλεί συμφόρηση στη γραμμή πολλαπλών σημείων επικοινωνίας. Τέλος, ο σχεδιασμός 3.6γ με χρήση δύο συσκευών πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου και μιας κοινής γραμμής μετάδοσης αντί τεσσάρων δείχνει ως η πλέον συμφέρουσα λύση.

Στην τεχνική *TDM* υπάρχουν δύο στάθμες συγχρονισμού, ο **συγχρονισμός πλαισίου** και ο **συγχρονισμός λέξης**. Ο συγχρονισμός πλαισίου είναι αναγκαίος για να αναγνωρίζεται η έναρξη της μετάδοσης κάθε πλαισίου, ενώ ο συγχρονισμός λέξης είναι αναγκαίος για να διαχωρίζονται τα δεδομένα μέσα σε κάθε πλαίσιο.

## Παράδειγμα V

Η τεχνική *TDM* εφαρμόζεται με μεγάλη επιτυχία στα δίκτυα τηλεφωνίας που αναπτύσσονται τελευταία με βάση την τεχνική της παλμοκωδικής διαμόρφωσης (*PCM*). Σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα της *CCITT*, η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος γίνεται σε τρία στάδια ως εξής:

### ✓ Στάδιο δειγματοληψίας

Από 30 τηλεφωνικά κανάλια, περιορισμένα σε μία ζώνη των 4 KHz περίπου το καθένα, λαμβάνονται δείγματα αναλογικής φωνής με ρυθμό 8.000 φορές το δευτερόλεπτο.

### ✓ Στάδιο κβαντοποίησης

Κάθε δείγμα διαχωρίζεται σε 256 διακριτά (ξεχωριστά) επίπεδα τάσης, δηλαδή 8 δυαδικά ψηφία για κάθε δείγμα.

### ✓ Στάδιο κωδικοποίησης

Τα 30 τηλεφωνικά κανάλια αντιστοιχούν σε 30 θέσεις πλαισίων των 32 θέσεων, που μεταφέρονται με κανάλι χωρητικότητας 2.048 Mbps. Οι υπόλοιπες δύο θέσεις διατίθενται για τη σηματοδότηση και τον αυτοέλεγχο του δικτύου. Έτσι από τη συνολική χωρητικότητα σε κάθε κανάλι φωνής διατίθενται 64 Kbps (2.084 Kbps / 32).

Η τεχνική της *TDM* δεν εφαρμόζεται σε συστήματα που έχουν διαφορετικό εύρος ζώνης και κατά συνέπεια διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων τους, ενώ αντίθετα εφαρμόζεται σε συστήματα που έχουν παραπλήσιο εύρος ζώνης και κατά συνέπεια ίδιο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων τους. Με την τεχνική της **ελαστικής αποθήκευσης και συμπλήρωσης παλμών** τα ασυγχρόνιστα σήματα είναι δυνατόν να αποθηκευτούν από μια διάταξη (μικρο-υπολογιστή επικοινωνιών), που λέγεται **συλλέκτης (concentrator)**, με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να ξαναδιαβαστούν με ρυθμό διαφορετικό από το ρυθμό με τον οποίο αποθηκεύτηκαν (σχήμα 3.7). Πρακτικά, ο συλλέκτης προσφέρει μνήμη, προκειμένου να αποθηκευτούν προσωρινά τα

Η **συμφόρηση** στη γραμμή επικοινωνίας προκαλείται, όταν υπάρχουν πάρα πολλά μηνύματα που μεταδίδονται ή πρόκειται να μεταδοθούν μέσω της γραμμής αυτής.

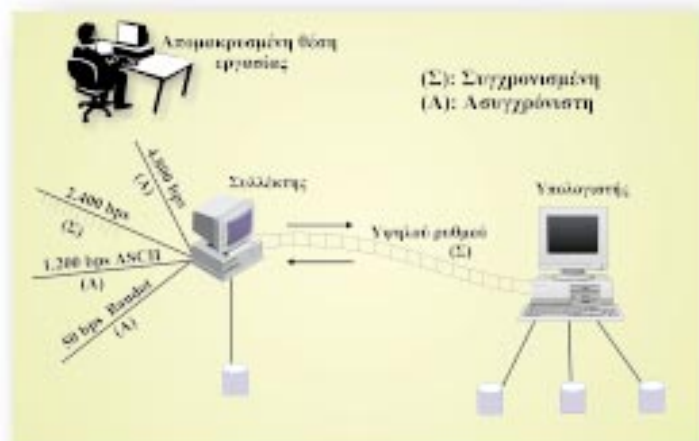
Ο **συγχρονισμός** συμβαίνει, όταν ο ρυθμός μετάδοσης του πομπού συμπίπτει με το ρυθμό λήψης του δέκτη.



Η **παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)** είναι μέθοδος μετατροπής αναλογικών σημάτων ομιλίας σε ψηφιακά σήματα. Στη μέθοδο αυτή η διαμόρφωση του ψηφιακού φέροντος επιτυγχάνεται μέσω ενός αναλογικού σήματος.

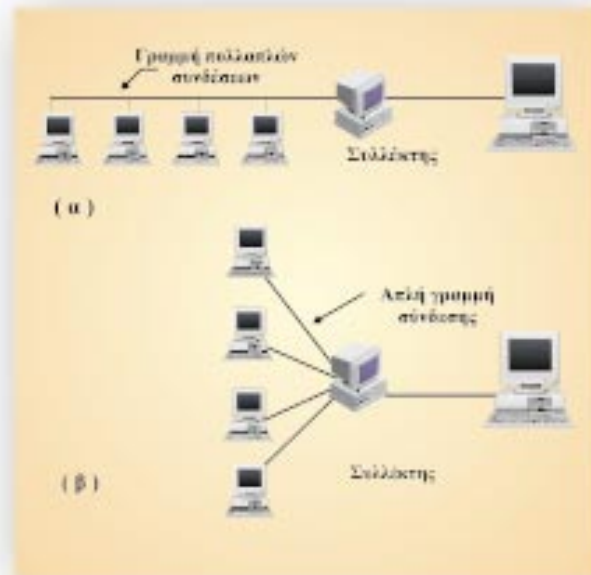


Ως **ελαστική αποθήκευση** εννοούμε τη μη υποχρεωτική αποθήκευση, η οποία εξαρτάται από τον όγκο των πληροφοριών που πρόκειται να διαχειριστεί ο συλλέκτης.



Σχήμα 3.7: Συλλέκτης

Ένα παράδειγμα ανάλογης διάταξης με το συλλέκτη είναι το μαγνητόφωνο. Τα δεδομένα μπορούν να εγγραφούν σε ένα μαγνητόφωνο και να διαβαστούν από αυτό με διαφορετική ταχύτητα.



Σχήμα 3.8: Σύνδεση τερματικών με συλλέκτη:  
(α) σε γραμμή πολλαπλών συνδέσεων και (β) σε απλή γραμμή σύνδεσης

μηνύματα των τερματικών διατάξεων, ώστε με τη βοήθεια του κατάλληλου **λογισμικού επικοινωνίας** (*communication software*) να ελέγξει την κατανομή της διαθέσιμης χωρητικότητας της γραμμής επικοινωνίας.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.7, ο συλλέκτης δέχεται δεδομένα εισόδου από μια ομάδα τερματικών και συγκεντρώνει τα δεδομένα εξόδου σε μια γραμμή, κάνοντας επίσης και την αντίστροφη λειτουργία. Στο σχήμα 3.8 βλέπουμε δύο μοντέλα: στο πρώτο (α) τα τερματικά είναι συνδεδεμένα σε γραμμή πολλαπλών συνδέσεων, ενώ στο δεύτερο (β) κάθε τερματικό έχει τη δική του γραμμή απλής σύνδεσης σημείου προς σημείο, που το συνδέει με το συλλέκτη.

## Παράδειγμα VI

Έστω ότι ένας δορυφόρος καταγράφει τα αποτελέσματα τριών πειραμάτων και τα εκπέμπει στη Γη. Τα πειράματα διαρκούν ένα δευτερόλεπτο, εκτελούνται συγχρόνως και τα σήματά τους συλλέγονται και αποθηκεύονται σε τρεις διαφορετικές διατάξεις ψηφιακής αποθήκευσης. Τα τρία σήματα που συλλέγονται έχουν ρυθμούς 2.000, 4.000 και 5.000 μηνυμάτων το δευτερόλεπτο και κωδικοποιούνται σε χαρακτήρες των 8 δυαδικών ψηφίων. Στο τέλος κάθε δευτερολέπτου τα δεδομένα που συλλέγονται μεταδίδονται στη Γη. Κατά τη μετάδοση κάθε αποθηκευτική διάταξη αποστέλλει τα δεδομένα με τον ίδιο ρυθμό (για παράδειγμα 5.000 μηνύματα το δευτερόλεπτο).



Τα μηνύματα και των τριών αποθηκευτικών διατάξεων υφίστανται πολυπλεξία, ώστε τελικώς να μεταδίδεται στη Γη ένα σύγχρονο σήμα *TDM*. Ωστόσο η διαδικασία αυτή εμφανίζει ένα σημαντικό πρόβλημα. Οι πρώτες 2.000 λέξεις από κάθε σήμα μπορούν να προωθηθούν για πολυπλεξία χωρίς καμιά δυσκολία. Κατά τη διάρκεια της πολυπλεξίας των επόμενων 2.000 χαρακτήρων δεν υπάρχει συμμετοχή από το πρώτο σήμα, ενώ κατά τους 1.000 τελευταίους χαρακτήρες δεν υπάρχει συμμετοχή από το πρώτο και το δεύτερο σήμα. Όμως εξαιτίας του θορύβου ο δέκτης θα εξακολουθεί να διαβάζει χαρακτήρες, ακόμα και όταν αυτοί δε μεταδίδονται από τα κανάλια, με αποτέλεσμα να έχουμε λάθη στη μετάδοση. Για να αποφευχθούν λανθασμένες ερμηνείες του θορύβου σαν σήμα, οι χρονικές περίοδοι που αντιστοιχούν στα σήματα τα οποία έχουν τερματίσει τη μετάδοσή τους γεμίζονται με **βουβές σειρές** από δυαδικούς χαρακτήρες. Οι σειρές αυτές έχουν επιλεγεί και κωδικοποιηθεί προσεκτικά με τέτοιο τρόπο, ώστε ο δέκτης να τις αναγνωρίζει με ευκολία.



**Βουβά** ονομάζονται τα δεδομένα εκείνα που δεν αποδίδουν κανένα νόημα, αλλά βοηθούν στην εξάλειψη (επικάλυψη) του θορύβου.

Το χαρακτηριστικό των συλλεκτών και των διατάξεων πολυπλεξίας είναι ότι διαθέτουν μόνο μία γραμμή εξόδου. Σαφώς απαιτείται κάποιο **σχήμα προτεραιότητας** (*priority scheme*) ή **επιβολή πειθαρχίας**. Η παραδοσιακή μέθοδος υπαγορεύει ότι κάθε τερματικό πρέπει να μένει σιωπηρό, μέχρι που ο **ελεγκτής κυκλοφορίας** της διάταξης να του δώσει την άδεια. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως **διαλογή** (*polling*). Οι λεπτομέρειες της μεθόδου της διαλογής που εφαρμόζουν οι συλλέκτες και οι διατάξεις πολυπλεξίας διαφοροποιούνται ανάλογα με το αν πρόκειται για απλές ή πολυπλεξίες.

Στην περίπτωση πολλαπλών συνδέσεων διακρίνουμε δύο είδη διαλογής. Το πρώτο είδος ονομάζεται **διαλογή κυλιόμενων κλήσεων** (*roll-call polling*) και λειτουργεί ως εξής: ο συλλέκτης στέλνει ένα μήνυμα σε κάθε τερματικό διαδοχικά, προκειμένου να διαπιστώσει αν το τερματικό έχει να μεταδώσει κάτι ή όχι. Αυτά τα μηνύματα περιέχουν μια διεύθυνση θέσης ή διεύθυνση σταθμού, έτσι ώστε να αναγνωρίζεται το τερματικό στο οποίο απευθύνεται ο συλλέκτης. Κάθε τερματικό ξέρει τη δική του διεύθυνση και ανταποκρίνεται στη δική του κλήση, παρ' όλο που παίρνει όλες τις κλήσεις. Εάν το τερματικό που πήρε την κλήση έχει να στείλει δεδομένα, τα στέλνει. Αν όχι, τότε στέλνει πίσω ένα ειδικό μήνυμα απόρριψης κλήσης.

Συνήθως ο συλλέκτης καλεί από μία φορά, διαδοχικά, όλα τα τερματικά. Ασφαλώς τα τερματικά υψηλής προτεραιότητας παίρνουν περισσότερες από μία κλήσεις σε κάθε γύρο. Στις ημίπλευρες γραμμές επικοινωνίας κάθε κλήση απαιτεί δύο γύρους. Ο ένας γύρος απαιτείται για να μπορέσει ο συλλέκτης να αποστείλει την κλήση και ο άλλος για να επιτρέψει στο τερματικό να μεταδώσει. Το αποτέλεσμα αυτής της τακτικής είναι να έχουμε μεγάλη καθυστέρηση στη συμπλήρωση του κύκλου, ακόμα και όταν τα περισσότερα τερματικά παραμένουν αδρανή τον περισσότερο χρόνο. Στη μετάδοση αυτή χρησιμοποιείται τόσο η συγχρονισμένη όσο και η ασυγχρόνιστη επικοινωνία.

Το δεύτερο είδος διαλογής πολλαπλών συνδέσεων ονομάζεται **διαλογή κόμβου** (*hub-polling*) και σχεδιάστηκε προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα που αναφέρθηκε



**Διεύθυνση θέσης** ονομάζουμε έναν αριθμό που δηλώνει σε ποια θέση ή σειρά βρίσκεται η τερματική μονάδα, π.χ. (1), αν είναι πρώτη, (2), αν είναι δεύτερη κ.ο.κ.



Τηλεπικοινωνιακά αδρανές είναι ένα τερματικό που, ενώ είναι σε λειτουργία, δεν παίρνει ούτε στέλνει μηνύματα για μεγάλο χρονικό διάστημα.



παραπάνω. Στο είδος αυτό ο συλλέκτης καλεί το πιο απομακρυσμένο τερματικό. Αν αυτό το τερματικό έχει δεδομένα, τα στέλνει, διαφορετικά εκπέμπει ένα μήνυμα κλήσης στο γειτονικό του τερματικό. Αν και αυτό είναι αδρανές, στέλνει το μήνυμα κλήσης στο γειτονικό τερματικό κ.ο.κ., μέχρι το μήνυμα κλήσης να βρει ένα τερματικό που έχει να μεταδώσει κάτι ή μέχρι να γυρίσει πίσω στο συλλέκτη. Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι το μήνυμα κλήσης δε χρειάζεται να διατρέξει διαδοχικά όλες τις τερματικές διατάξεις που είναι συνδεδεμένες στη γραμμή επικοινωνίας, μέχρι να βρεθεί κάποιο τερματικό που έχει κάτι να μεταδώσει.

Τέλος, στην περίπτωση των **απλών συνδέσεων** δε χρειάζεται να εφαρμοστεί η μέθοδος της διαλογής προκειμένου να αποφευχθεί το χάος στις γραμμές. Παρ' όλα αυτά η διαλογή κυλιόμενων κλήσεων χρησιμοποιείται συχνά προκειμένου να επιτραπεί στο συλλέκτη να αποκτήσει τα δεδομένα εισόδου με μεθοδικό τρόπο και με σειρά. Τα μηνύματα διαλογής διαφέρουν από εκείνα των πολλαπλών συνδέσεων, γιατί δε χρειάζονται οι διευθύνσεις θέσης. Στην περίπτωση των απλών συνδέσεων στην οποία εφαρμόζεται η μέθοδος της διαλογής κάθε τερματικό παίρνει αποκλειστικά τα σήματα διαλογής (*rolls*) που του απευθύνονται.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πολυπλεξία, γραμμή σημείου προς σημείο, γραμμή πολλαπλών σημείων, μετάδοση ευρείας εκπομπής, πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας, πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου, ομάδα (*block*), συγχρονισμός πλαισίου, συγχρονισμός λέξης, διαλογή, διαλογή κυλιόμενων κλήσεων, διαλογή κόμβου, βουβά δεδομένα.




## Μάθημα 3.2: Συγκριτική αξιολόγηση τεχνικών πολυπλεξίας

Οι τεχνικές πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας (*FDM*) και χρόνου (*TDM*) εκπληρώνουν τον ίδιο σκοπό. Στην πρώτη τα σήματα διαχωρίζονται στην περιοχή συχνοτήτων και εκπέμπουν ταυτόχρονα. Στη δεύτερη τα αναλογικά σήματα διαχωρίζονται χρονικά, αλλά εκπέμπονται στην ίδια περιοχή συχνοτήτων.


Από πρακτική άποψη η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου φαίνεται να υπερέχει σε δύο τουλάχιστον σημεία σε σχέση με αυτήν της συχνότητας. Τα σημεία αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Το πρώτο σημείο υπεροχής αφορά το υλικό. Οι συσκευές πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας αποτελούνται από αναλογικά κυκλώματα διαμορφωτών - αποδιαμορφωτών, γεννήτριες φέρουσας και φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων για κάθε κανάλι. Αντίθετα, οι συσκευές πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου χρησιμοποιούν ψηφιακό υλικό και αποτελούνται από έναν πολυπλέκτη και ένα συλλέκτη. Το ψηφιακό υλικό είναι από τη φύση του τμηματικό και αυτοτελές, προσφέροντας αξιόπιστη κατασκευαστική απλότητα και πιο αποδοτική λειτουργία.
- ✓ Ένα δεύτερο πλεονέκτημα των συστημάτων πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου είναι η σχετικά χαμηλή διασταύρωση μεταξύ των καναλιών, αφού δεν εμφανίζονται μη γραμμικά φαινόμενα στα κυκλώματα χειρισμού των σημάτων στον πομπό και στο δέκτη. Με τον όρο **διασταύρωση** (*cross talk*) εννοείται η ενδεχόμενη επικάλυψη γειτονικών καναλιών, ενώ ως **μη γραμμικά φαινόμενα** εννοούνται εκείνα τα οποία σε ένα συγκεκριμένο, μικρό, χρονικό διάστημα παρουσιάζουν απότομες μεταβολές ή διακυμάνσεις. Τα μη γραμμικά φαινόμενα προκαλούν ενδοδιαμόρφωση και παραμόρφωση, που στα συστήματα πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας επηρεάζουν όλα τα κανάλια τόσο της χαμηλής όσο και της υψηλής συχνότητας. Σημειώνεται ότι στα κυκλώματα των συστημάτων αυτών δεν επιτυγχάνεται εύκολα γραμμικότητα φάσης και πλάτους, ειδικότερα όταν ο αριθμός των καναλιών που υφίστανται πολυπλεξία είναι μεγάλος.

Αντίθετα, στην πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου δεν υπάρχει ουσιαστικά διασταύρωση λόγω μη γραμμικών φαινομένων, αφού τα σήματα αυτά είναι απολύτως διαχωρισμένα και δεν επικαλύπτονται. Αυτό συμβαίνει, επειδή ο χειρισμός των σημάτων από τα διάφορα κανάλια δε γίνεται ταυτόχρονα, αλλά κατανέμεται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Επιπλέον είναι δυνατόν να επιτευχθεί ευκολότερα η γραμμικότητα των κυκλωμάτων στα συστήματα πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου από ό,τι στα αντίστοιχα συστήματα συχνότητας. Όμως η προστασία που προσφέρει η πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου όσον αφορά τη διασταύρωση προϋποθέτει ένα υψηλού εύρους ζώνης φυσικό κανάλι, όπως επίσης και απουσία παραμόρφωσης που οφείλεται στην καθυστέρηση.



Οι γεννήτριες φέρουσας δημιουργούν ένα οποιοδήποτε φέρον σήμα. Το φίλτρο διέλευσης ζώνης δέχεται το τυχαίο φέρον σήμα δίνοντάς του μια συγκεκριμένη συχνότητα για μετάδοση.



Ως γραμμικότητα φάσης νοείται η μη απότομη μεταβολή της φάσης μέσα στο χρόνο.



Το κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα και των δύο τεχνικών πολυπλεξίας είναι το γεγονός ότι, αν ένα τερματικό είναι τηλεπικοινωνιακά αδρανές, τότε η αντίστοιχη χωρητικότητα του καναλιού παραμένει αναξιοποίητη σε βάρος της οικονομίας του δικτύου. Σημειώνεται ότι προκειμένου να μειωθεί το κόστος επικοινωνίας –και ειδικότερα στις περιπτώσεις συνδέσεων τερματικών διατάξεων επικοινωνίας που εφαρμόζεται η τεχνική της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου– οι διαδοχικές θέσεις πλαισίων ή και όλες οι θέσεις των πλαισίων που παραμένουν αδρανείς διατίθενται εξ ολοκλήρου σε τερματικές μονάδες που έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε χωρητικότητα. Συνήθως η τεχνική αυτή αναπτύσσεται σε συνδυασμό με τη χρήση συλλεκτών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών τεχνικών, όσον αφορά το παρεχόμενο εύρος ζώνης, δίνει το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό φαίνεται και στο παράδειγμα που ακολουθεί.



Σε πολλά τηλεπικοινωνιακά συστήματα το κόστος των γραμμών επικοινωνίας υπερβαίνει το κόστος του εξοπλισμού που συνδέεται σ' αυτές τις γραμμές.

### Παράδειγμα VII

Θεωρούμε ότι διατίθενται 10 σήματα εισόδου με περιορισμένο εύρος ζώνης 3.000 Hz. Στα σήματα αυτά έχει εφαρμοστεί μια ειδικού τύπου διαμόρφωση πλάτους αναλογικού σήματος σε ένα σύστημα πολυπλεξίας επιμερισμού συχνότητας, σύμφωνα με την οποία αποκόπτεται η μία πλευρική μπάντα, εφόσον μεταφέρει την ίδια ακριβώς πληροφορία, προκειμένου να εξοικονομηθεί χωρητικότητα στο κανάλι επικοινωνίας. Επομένως το εύρος ζώνης του σήματος που θα προκύψει θα είναι 30.000 Hz ( $= 10 \cdot 3.000$ ).

Εφαρμόζοντας πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου και με ρυθμό δειγματοληψίας 3.000 Hz σε κάθε κανάλι, το σήμα *TDM* θα αποστέλλεται με σειρά δειγμάτων που θα απέχουν χρονικά κατά  $1/(10 \cdot 3.000)$  δευτερόλεπτα, οπότε το εύρος ζώνης του σήματος εξόδου *TDM* θα είναι 30.000 Hz, δηλαδή ίσο με το εύρος ζώνης του σήματος εξόδου *FDM*.

Τέλος, το κυριότερο μειονέκτημα της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου είναι ότι η ακρίβεια της μορφής του σήματος, η χρονική αστάθειά του και ο συγχρονισμός του καταλήγουν να γίνονται μεγάλα προβλήματα, όταν έχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σημάτων.



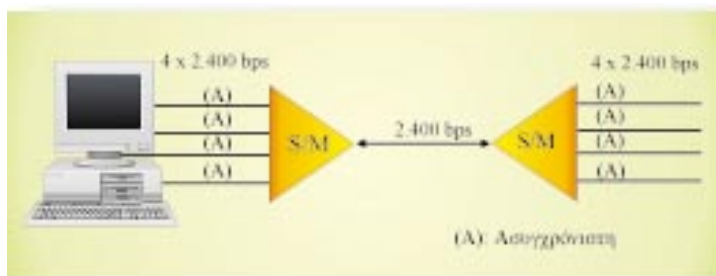
### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Γεννήτριες φέρουσας, φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων, πολυπλέκτης, συλλέκτης, διασταύρωση, γραμμικότητα φάσης, μη γραμμικά φαινόμενα.

## Μάθημα 3.3: Στατιστική πολυπλεξία

Η **στατιστική πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου** (STDM: Statistical TDM), ή απλώς στατιστική πολυπλεξία, αποτελεί επέκταση της πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου και έχει ως στόχο να μειώσει τα προβλήματα που αυτή η τελευταία παρουσιάζει.

Το πρώτο σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι η διαφορετική «μεταχείριση» της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης από την στατιστική πολυπλεξία. Μια τυπική μορφή στατιστικής πολυπλεξίας αποτελεί το σχήμα 3.9, στο οποίο ο στατιστικός πολυπλέκτης λειτουργεί με το μέσο όρο των ροών κυκλοφορίας των δεδομένων που έρχονται από τέσσερις, ασυγχρόνιστες, χαμηλού ρυθμού ροές κυκλοφορίας δεδομένων (π.χ. 2.400 bps). Αυτές οι ροές δεδομένων ενοποιούνται σε μία γραμμή επικοινωνίας που κατευθύνεται στον πολυπλέκτη του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στην τεχνική πολυπλεξίας επιμερισμού χρόνου η ενοποιημένη γραμμή επικοινωνίας θα απαιτούσε ρυθμό μετάδοσης τουλάχιστον ίσο με το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης των τεσσάρων γραμμών που καταφθάνουν στον πολυπλέκτη, δηλαδή 9.600 bps ( $=4 \cdot 2.400$ ), όπως άλλωστε φαίνεται και στο σχήμα 3.9. Μια τέτοια τακτική δεν είναι συμφέρουσα, ιδιαίτερα όταν οι τερματικές διατάξεις παραμένουν αδρανείς για κάποια χρονικά διαστήματα ή μεταδίδουν σποραδικά καταγεγραμμένους δεδομένων.



Σχήμα 3.9: Ασύγχρονη στατιστική πολυπλεξία

Στο σχήμα 3.9 η ενοποιημένη γραμμή μεταφέρει δεδομένα με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης που μεταφέρουν οι τέσσερις γραμμές των τερματικών διατάξεων. Αυτό σημαίνει ότι, για να λειτουργεί σωστά το σύστημα, ο μέσος φόρτος της γραμμής κάθε τερματικής διάταξης, για μεγάλη χρονική περίοδο, δε θα πρέπει να ξεπερνά το 25% της συνολικής ικανότητας μεταφοράς της γραμμής.

Το δεύτερο σημείο που αξίζει να τονιστεί είναι το γεγονός ότι στις συγχρονισμένες γραμμές επικοινωνίας, λόγω της φύσης της μετάδοσης, η στατιστική πολυπλεξία εφαρμόζεται δυσκολότερα από ό,τι στην περίπτωση των ασυγχρόνιστων γραμμών επικοινωνίας. Ο λόγος είναι ότι στη συγχρονισμένη μετάδοση οι τερματικές διατάξεις παραμένουν αδρανείς (χρόνος αργίας) για ελάχιστο χρονικό διάστημα, ενώ οι ομάδες δεδομένων είναι απαραίτητο να διατηρούν την ολοκληρωμένη μορφή τους για όσο χρόνο διαπερνούν τους πολυπλέκτες.

Αντίθετα, στην περίπτωση της ασυγχρόνιστης επικοινωνίας τα μηνύματα καταφθάνουν από τα τερματικά με τυχαίο ρυθμό και παραμένουν προσωρινά αποθηκευμένα, μέχρι να μεταδοθούν από την ενοποιημένη γραμμή, με νέο ρυθμό μετάδοσης. Επειδή το μήκος των μηνυμάτων είναι τυχαίο, σε κάθε μήνυμα προστίθεται ένα **πρόθεμα**,



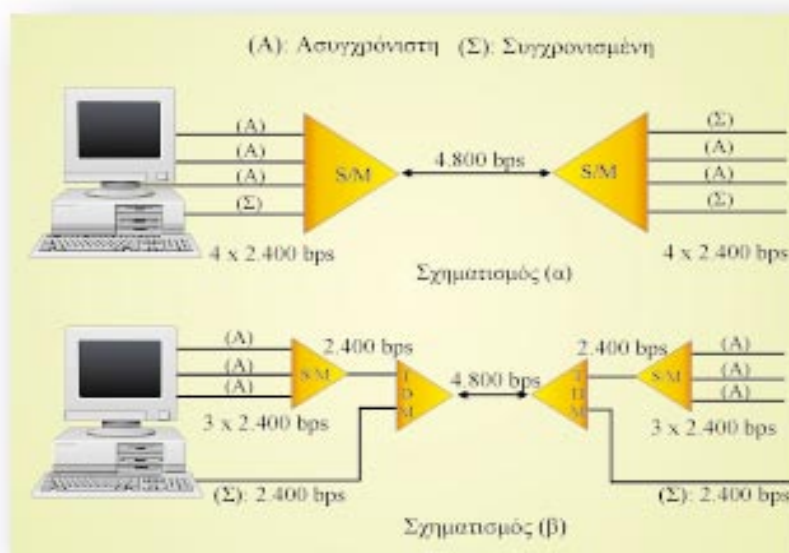
Το **πρόθεμα** είναι ένας κωδικοποιημένος χαρακτήρας που μπαίνει μπροστά στο μήνυμα.



Ο σκοπός του υπολογιστή επικοινωνιών είναι να απαλλάξει τον κεντρικό υπολογιστή από το φόρτο της επικοινωνίας με τα περιφερειακά. Ένα μεγάλο μέρος των πρωτοκόλλων επικοινωνίας υφίστανται επεξεργασία σ' αυτόν. Ο υπολογιστής επικοινωνιών εκτελεί συνήθως περιορισμένο αριθμό εντολών. Για το λόγο αυτό κατασκευάζεται με τέτοια αρχιτεκτονική, που δίνει βαρύτητα σ' αυτή τη λειτουργία και επομένως αυξάνει την απόδοσή του. Για παράδειγμα, πολλοί αλγόριθμοι ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων εκπομπής πραγματοποιούνται απευθείας στο υλικό (*hardware*) των υπολογιστών επικοινωνιών, απαλλάσσοντας έτσι τον κεντρικό υπολογιστή από το φόρτο της αντίστοιχης υπολογιστικής διαδικασίας.

που δηλώνει το μήκος του. Με βάση την πληροφορία αυτή ο δέκτης διακρίνει τα διαδοχικά μηνύματα. Το πρόθεμα περιλαμβάνει πολλές φορές και πληροφορία σχετική με τη διεύθυνση προορισμού του μηνύματος στο δίκτυο, τη διεύθυνση του αποστολέα, καθώς επίσης και οτιδήποτε σχετικό με την προτεραιότητα διακίνησης του μηνύματος από σημείο σε σημείο. Η πρόσθεση του προθέματος στο μήνυμα αποτελεί συνήθως μέρος της λειτουργίας του **υπολογιστή επικοινωνιών**. Στην τεχνική της στατιστικής πολυπλεξίας τα μηνύματα, ανεξάρτητα από το μήκος τους, μεταδίδονται με τη μορφή μικρότερων τμημάτων σταθερού μήκους, τα οποία είναι ίσα είτε με ένα πλαίσιο είτε με μία θέση πλαισίου είτε με ένα ακέραιο πολλαπλάσιο των πλαισίων ή των θέσεων του πλαισίου.

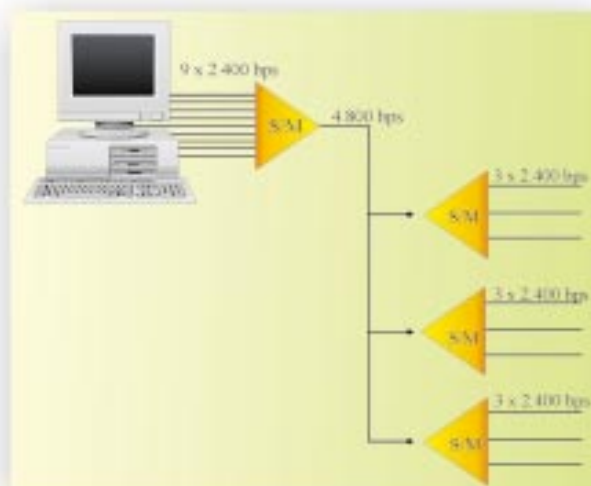
Στην πράξη εφαρμόζονται αρκετά σχήματα στατιστικής πολυπλεξίας. Μερικές ενδιαφέρουσες περιπτώσεις παρουσιάζονται στα σχήματα 3.10, 3.11 και 3.12.



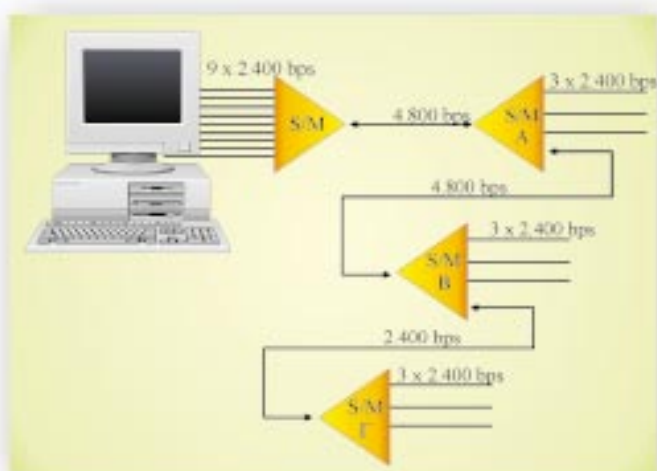
Σχήμα 3.10: Ισοδύναμοι σχηματισμοί στατιστικής πολυπλεξίας ασynchρόνιστων και συγχρονισμένων γραμμών επικοινωνίας:

(α) στατιστική πολυπλεξία τριών ασynchρόνιστων γραμμών και μιας συγχρονισμένης,

(β) συγχρονισμένη κυκλοφορία μέσω ενός TDM καναλιού σε συνδυασμό με στατιστική πολυπλεξία τριών ασynchρόνιστων καναλιών που χρησιμοποιούν το υπόλοιπο TDM κανάλι.



Σχήμα 3.11: Στατιστικοί πολυπλέκτες πολλαπλών σημείων



Σχήμα 3.12: Διαδοχικοί στατιστικοί πολυπλέκτες

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Στατιστική πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου, χρόνος αργίας, τυχαίος ρυθμός μετάδοσης, πρόθεμα.







## Ενότητα Β: Δίκτυα επικοινωνίας δεδομένων

### Περιεχόμενα

### Κεφάλαιο 4: Δικτυακά μοντέλα

<b>Μάθημα 4.1:</b>	<b>Εισαγωγή στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών .....</b>	<b>137</b>
4.1.1	Γενικά στοιχεία .....	137
4.1.2	Δομικά στοιχεία δικτύου επικοινωνίας .....	142
4.1.3	Το υποδίκτυο επικοινωνίας .....	143
<b>Μάθημα 4.2:</b>	<b>Δικτυακά μοντέλα υπολογιστών .....</b>	<b>144</b>
4.2.1	Ταξινόμηση ως προς το μέσο μετάδοσης .....	144
4.2.2	Ταξινόμηση ως προς το είδος της σύνδεσης .....	144
4.2.3	Ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη .....	146
4.2.4	Ταξινόμηση ως προς την τοπολογία .....	150
4.2.5	Ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία .....	151
<b>Μάθημα 4.3:</b>	<b>Αξιοπιστία μετάδοσης - Απόδοση δικτύου .....</b>	<b>153</b>
4.3.1	Αξιοπιστία μετάδοσης .....	153
4.3.1.1	Αιτίες των σφαλμάτων μετάδοσης .....	153
4.3.1.2	Μηχανισμοί εντοπισμού και αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης .....	153
4.3.1.3	Δείκτης αξιοπιστίας μετάδοσης .....	154
4.3.2	Απόδοση δικτύου .....	154
4.3.2.1	Ρυθμός διέλευσης .....	155
4.3.2.2	Καθυστέρηση μεταφοράς .....	155
4.3.2.3	Χαρακτηρισμός της απόδοσης δικτύου .....	156
<b>Μάθημα 4.4:</b>	<b>Τεχνολογική εξέλιξη δικτύων δεδομένων .....</b>	<b>157</b>
<b>Μάθημα 4.5:</b>	<b>Χρήση δικτύων .....</b>	<b>161</b>
4.5.1	Η χρήση των δικτύων στην κοινωνία της πληροφορίας .....	161
4.5.2	Η νέα δυναμική .....	163
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>164</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>165</b>



## Κεφάλαιο 5: Αρχιτεκτονική δικτύων

<b>Μάθημα 5.1:</b>	<b>Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....</b>	<b>169</b>
5.1.1	Εισαγωγή .....	169
5.1.2	Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....	169
5.1.3	Ιεραρχία πρωτοκόλλων .....	170
5.1.4	Τύποι πρωτοκόλλων .....	171
5.1.5	Μεταφορά δεδομένων μέσω πρωτοκόλλων .....	176
<b>Μάθημα 5.2:</b>	<b>Λειτουργίες πρωτοκόλλων .....</b>	<b>178</b>
5.2.1	Κατάτμηση μηνυμάτων .....	178
5.2.2	Επανασυναρμολόγηση .....	179
5.2.3	Ενθυλάκωση .....	179
5.2.4	Έλεγχος σύνδεσης .....	180
5.2.5	Έλεγχος ροής .....	180
5.2.6	Έλεγχος σφαλμάτων .....	180
5.2.7	Τμηματοποίηση .....	181
5.2.8	Διευθυνσιοδότηση .....	181
5.2.9	Προτεραιότητα διεκπεραίωσης .....	181
5.2.10	Ασφάλεια .....	181
5.2.11	Συγχρονισμός .....	182
<b>Μάθημα 5.3:</b>	<b>Διεπαφές και υπηρεσίες δικτύων .....</b>	<b>183</b>
5.3.1	Διεπαφές .....	183
5.3.2	Υπηρεσίες .....	184
5.3.2.1	Προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	185
5.3.2.2	Μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	186
5.3.2.3	Επιβεβαιωμένα μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	187
5.3.2.4	Ανεπιβεβαίωτα προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	187
<b>Μάθημα 5.4:</b>	<b>Μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων .....</b>	<b>188</b>
5.4.1	Εισαγωγή .....	188



5.4.2	Μετάδοση δεδομένων στο OSI .....	190
5.4.3	Υπηρεσίες και λειτουργίες των επιπέδων του OSI .....	194
5.4.3.1	Φυσικό επίπεδο .....	194
5.4.3.2	Επίπεδο γραμμής δεδομένων .....	195
5.4.3.3	Επίπεδο δικτύου .....	196
5.4.3.4	Επίπεδο μεταφοράς .....	197
5.4.3.5	Επίπεδο συνόδου .....	198
5.4.3.6	Επίπεδο παρουσίασης .....	199
5.4.3.7	Επίπεδο εφαρμογής .....	200
5.4.4	Οικογένειες πρωτοκόλλων .....	200
<b>Μάθημα 5.5:</b>	<b>Διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης</b>	
	- Πρότυπα και συστάσεις .....	203
5.5.1	Η ανάγκη προτυποποίησης .....	203
5.5.2	Διεθνείς οργανισμοί για πρότυπα .....	203
5.5.2.1	Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης .....	204
5.5.2.2	Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών .....	205
5.5.2.3	Το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών .....	206
5.5.2.4	Άλλοι οργανισμοί .....	206
5.5.3	Διαδικασία τυποποίησης προτύπων .....	207
<b>Μάθημα 5.6:</b>	<b>Μοντέλο αναφοράς TCP/IP .....</b>	<b>208</b>
5.6.1	Εισαγωγή .....	208
5.6.2	Μετάδοση δεδομένων TCP/IP .....	209
5.6.3	Τα επίπεδα του TCP/IP .....	213
5.6.3.1	Επίπεδο πρόσβασης δικτύου .....	213
5.6.3.2	Επίπεδο Διαδικτύου .....	213
5.6.3.2.1	Το πρωτόκολλο Διαδικτύου .....	214
5.6.3.2.2	Το πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων .....	217
5.6.3.2.3	Το πρωτόκολλο ελέγχου μηνυμάτων Διαδικτύου ...	217
5.6.3.3	Επίπεδο μεταφοράς .....	217
5.6.3.3.1	Πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης .....	218
5.6.3.3.2	Πρωτόκολλο αυτοδύναμου πακέτου δεδομένων χρήστη .....	220



5.6.3.4	Επίπεδο εφαρμογής .....	221
5.6.3.4.1	Πρωτόκολλο εξομοίωσης τερματικού .....	222
5.6.3.4.2	Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων .....	222
5.6.3.4.3	Πρωτόκολλο μεταφοράς απλού ταχυδρομείου .....	223
5.6.3.4.4	Υπηρεσίες καταλόγου .....	225
5.6.3.4.5	Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου .....	226
<b>Μάθημα 5.7:</b>	<b>Σύγκριση των μοντέλων αναφοράς</b>	
	<b>TCP/IP και OSI .....</b>	<b>228</b>
5.7.1	Εισαγωγή .....	228
5.7.2	Ομοιότητες .....	228
5.7.3	Διαφορές .....	228
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>232</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>234</b>

## Κεφάλαιο 6: Τεχνολογίες δικτύων

<b>Μάθημα 6.1:</b>	<b>Τεχνολογία σημείου προς σημείο - Μεταγωγή ..</b>	<b>238</b>
6.1.1	Δίκτυα μεταγωγής .....	238
<b>Μάθημα 6.2:</b>	<b>Τεχνική μεταγωγής κυκλώματος - μηνύματος ...</b>	<b>240</b>
6.2.1	Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος .....	240
6.2.2	Δίκτυα μεταγωγής μηνύματος .....	242
<b>Μάθημα 6.3:</b>	<b>Τεχνικές μεταγωγής πακέτου .....</b>	<b>245</b>
6.3.1	Δίκτυα μεταγωγής πακέτου .....	245
6.3.2	Δίκτυα μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου .....	247
6.3.3	Δίκτυα μεταγωγής πακέτου με νοητά κυκλώματα .....	248
<b>Μάθημα 6.4:</b>	<b>Σύγκριση τεχνικών μεταγωγής .....</b>	<b>250</b>
<b>Μάθημα 6.5:</b>	<b>Τεχνολογίες επικοινωνιών εκπομπής - Ραδιοφωνικά δίκτυα .....</b>	<b>253</b>
6.5.1	Εισαγωγή .....	253
6.5.2	Ασύρματη επικοινωνία - Ραδιοκύματα .....	254
<b>Μάθημα 6.6:</b>	<b>Τεχνολογίες επικοινωνιών εκπομπής -</b>	



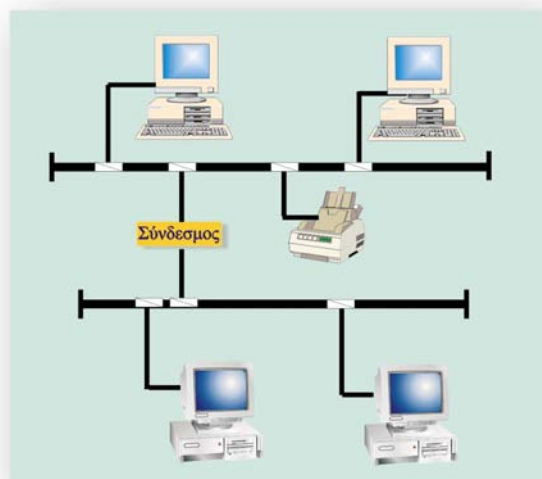
Δορυφορικά δίκτυα .....	256
Ανακεφαλαίωση .....	258
Ερωτήσεις .....	259
Βιβλιογραφία .....	260
Διευθύνσεις διαδικτύου (URLs) .....	260
Γλωσσάριο τόμου Ι .....	i - vii





### 4.1.2 Δομικά στοιχεία δικτύου επικοινωνίας

Σε ένα οποιοδήποτε δίκτυο είναι δυνατόν να διακρίνουμε τους κόμβους που το αποτελούν, τις πληροφορίες που ανταλλάσσουν οι κόμβοι αυτοί, καθώς και το κανάλι επικοινωνίας μέσω του οποίου διακινούνται οι πληροφορίες. Για παράδειγμα, το οδικό δίκτυο συνδέει πόλεις, το κανάλι επικοινωνίας είναι οι δρόμοι και το υλικό που διακινείται μέσω αυτού είναι τα οχήματα και οι άνθρωποι.



Σχήμα 4.4: Δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Σε αναλογία, ένα δίκτυο υπολογιστών συνδέει συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, αυτόνομους υπολογιστές και άλλες περιφερειακές συσκευές και γενικώς κάθε είδους τερματικές διατάξεις που διαθέτουν επεξεργαστή. Το κανάλι επικοινωνίας μπορεί να είναι τα καλώδια, τα λείζερ, τα μικροκύματα κτλ., μέσω των οποίων μεταφέρονται από τον έναν υπολογιστή στον άλλο διάφορες πληροφορίες (σχήμα 4.4).

Επομένως ένα **δίκτυο υπολογιστών** είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων μεταξύ τους ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων τερματικών διατάξεων, που επικοινωνούν με συγκεκριμένους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί λέγονται **πρωτόκολλα** επικοινωνίας και είναι υπεύθυνα για την ποιότητα και την πιστότητα των πληροφοριών που μεταδίδονται στο κανάλι επικοινωνίας. Η αποτελεσματικότητα αυτών των κανόνων καθορίζει και την **αποδοτικότητα** του δικτύου, η οποία, όπως θα δούμε σε επόμενα μαθήματα, μετριέται με συγκεκριμένο τρόπο.

Πιο αναλυτικά, τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου υπολογιστών είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Οι **κόμβοι επικοινωνίας** (*hosts*). Γενικά, οι κόμβοι είναι ηλεκτρονικά συστήματα που διαθέτουν τουλάχιστον επεξεργαστή και μνήμη. Στην πράξη, ένας κόμβος μπορεί να είναι ένα σύστημα υπολογιστών, σταθμοί αναμετάδοσης ραδιοκυμάτων - μικροκυμάτων, επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί που αναμεταδίδουν και αποκωδικοποιούν δορυφορικά σήματα ή, τέλος, ένας απλός ηλεκτρονικός υπολογιστής οποιουδήποτε είδους και μεγέθους. Οι κόμβοι χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση δύο ή περισσότερων γραμμών μετάδοσης. Ο ρόλος τους είναι να στέλνουν σωστά τα δεδομένα στον προορισμό τους και να ελέγχουν την κυκλοφορία στο δίκτυο. Επίσης πολλές φορές διορθώνουν σφάλματα που παρουσιάζονται στα δεδομένα, ενισχύουν σήματα που εξασθενούν από την απόσταση την οποία έχουν διανύσει, ειδοποιούν τον αποστολέα για ενδεχόμενες απώλειες δεδομένων κτλ.
- ✓ Το **φυσικό μέσο μετάδοσης ή σύνδεσμος**. Είναι το μέσο από το οποίο θα περάσουν τα δεδομένα υπό μορφή σημάτων επικοινωνίας. Τέτοιου είδους μέσα μπορεί να είναι καλώδια διάφορων τύπων, οπτικές ίνες, ασύρματες ζεύξεις κτλ.
- ✓ Οι **διατάξεις διασύνδεσης**. Πρόκειται για μονάδες υλικού που εξασφαλίζουν τη διασύνδεση των συσκευών και τη μεταφορά των πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου. Συνήθως οι διατάξεις αυτές παρεμβάλλονται ανά-

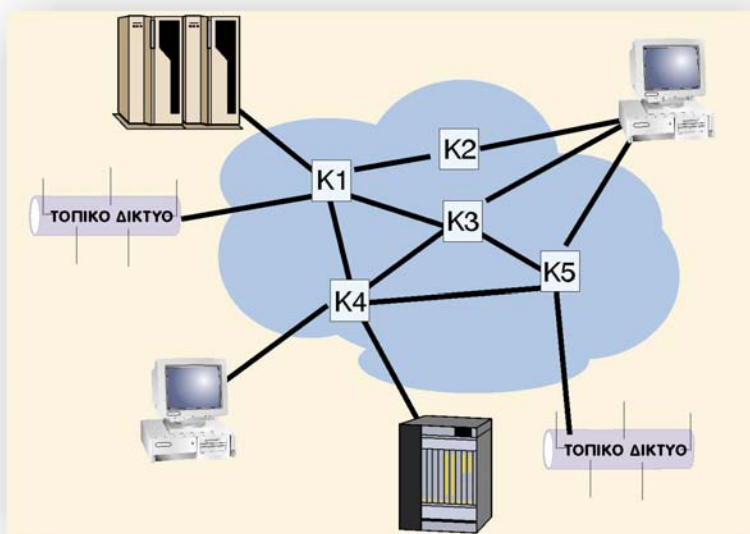


μεσα στον κόμβο και στο φυσικό μέσο μετάδοσης. Τυπικές λειτουργίες που εκτελούν τέτοιου είδους διατάξεις είναι η διαμόρφωση και η αποδιαμόρφωση, καθώς και ο έλεγχος ορθότητας των μεταφερόμενων δεδομένων.

- ✓ Το **λογισμικό δικτύου**. Πρόκειται για το σύνολο των προγραμμάτων που εξασφαλίζουν τη σύνδεση και ελέγχουν την επικοινωνία των υπολογιστών του δικτύου. Τυπικές λειτουργίες του λογισμικού είναι ο έλεγχος και η εκχώρηση του δικαιώματος πρόσβασης στους χρήστες του δικτύου.
- ✓ Το **λογισμικό εφαρμογών δικτύου**. Πρόκειται για προγράμματα εφαρμογών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που τους προσφέρει ένα δίκτυο υπολογιστών. Προγράμματα αυτής της μορφής είναι ενδεχόμενο να αποτελούν απλές ή σύνθετες επεκτάσεις δικτυακών εφαρμογών, που έχουν αναπτυχθεί για περιβάλλον αυτόνομων συστημάτων υπολογιστών.

### 4.1.3 Το υποδίκτυο επικοινωνίας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στα δομικά στοιχεία ενός δικτύου συμπεριλαμβάνονται τα μέσα μετάδοσης και οι κόμβοι επικοινωνίας. Τα στοιχεία αυτά είναι υπεύθυνα για τη φυσική επικοινωνία του δικτύου, η οποία γίνεται μέσω των κόμβων και των μεταξύ τους γραμμών επικοινωνίας, συνθέτοντας με αυτό τον τρόπο (σχήμα 4.5) το αποκαλούμενο **υποδίκτυο επικοινωνίας** (*communications subnetwork*). Οι χρήστες ενός δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους πάντοτε μέσω των κόμβων επικοινωνίας, οι οποίοι, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να ταυτίζονται και με τους ίδιους τους χρήστες. Τα μικρά δίκτυα, όπως είναι για παράδειγμα το δίκτυο ενός σχολικού εργαστηρίου, δεν είναι λειτουργικά απαραίτητο να διαθέτουν ανεξάρτητο υποδίκτυο επικοινωνίας, οπότε η έννοια του υποδικτύου επικοινωνίας ταυτίζεται με την έννοια του κόμβου.



Σχήμα 4.5: Υποδίκτυο επικοινωνίας.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, δίκτυο υπολογιστών, ψηφιακό δίκτυο ολοκληρωμένων υπηρεσιών (*ISDN*), δίκτυο ασυγχρόνου τρόπου μεταφοράς (*ATM*), πρωτόκολλο επικοινωνίας, αποδοτικότητα κόμβος επικοινωνίας, μέσο μετάδοσης, σύνδεσμος, λογισμικό δικτύου, δίκτυο επικοινωνίας, υποδίκτυο επικοινωνίας.



## Μάθημα 4.2: Δικτυακά μοντέλα υπολογιστών

Τα δίκτυα υπολογιστών είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες ανάλογα με ορισμένα χαρακτηριστικά τους. Αν και τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου ποικίλλουν, πολλά από αυτά μπορεί να υπάρχουν αυτόνομα ή σε συνδυασμό με άλλα, προκειμένου να οριοθετηθούν κάποιας μορφής ταξινόμηση. Τα σπουδαιότερα κριτήρια βάσει των οποίων γίνονται οι ταξινομήσεις δικτύων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ ταξινόμηση ως προς το μέσο μετάδοσης,
- ✓ ταξινόμηση ως προς το είδος της σύνδεσης,
- ✓ ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη,
- ✓ ταξινόμηση ως προς την τοπολογία,
- ✓ ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία.

### 4.2.1 Ταξινόμηση ως προς το μέσο μετάδοσης

Στην απλούστερη μορφή σύνδεσης οι κόμβοι συνδέονται απευθείας με κάποιο φυσικό μέσο ή σύνδεσμο, όπως είναι για παράδειγμα ένα καλώδιο χαλκού, μια οπτική ίνα ή μια ασύρματη ζεύξη. Δύο είναι οι κυριότερες μορφές συνδέσμων:

- ✓ Η **καλωδιακή** ή **ενσύρματη** επικοινωνία, η οποία περιλαμβάνει όλων των ειδών τις εναέριες, τις επίγειες ή τις υπόγειες συνδέσεις αυτού του είδους. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων αποτελούν όλα τα χάλκινα καλωδιακά δίκτυα, όπως επίσης και τα οπτικά δίκτυα.
- ✓ Η **ασύρματη** επικοινωνία, στην οποία το μέσο μετάδοσης είναι η γήινη ατμόσφαιρα ή το διάστημα. Στα δίκτυα αυτά η πληροφορία μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα που εξαρτάται κάθε φορά από το ρυθμό μετάδοσης που απαιτείται να έχει το δίκτυο. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων αποτελούν τα δίκτυα μικροκυματικών ζεύξεων, τα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών, καθώς και τα δορυφορικά δίκτυα.

### 4.2.2 Ταξινόμηση ως προς το είδος της σύνδεσης

Με κριτήριο το είδος της σύνδεσης οι σύνδεσμοι διακρίνονται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

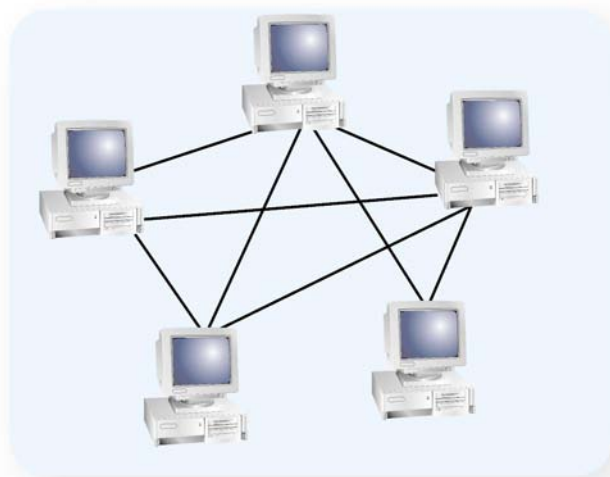
- ✓ **Σύνδεσμος σημείου προς σημείο** (*point-to-point connection*), ο οποίος συνδέει δύο μόνο κόμβους κάθε φορά. Πρόκειται για την απλούστερη μορφή επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων, που επιτυγχάνεται με απευθείας σύνδεσή τους



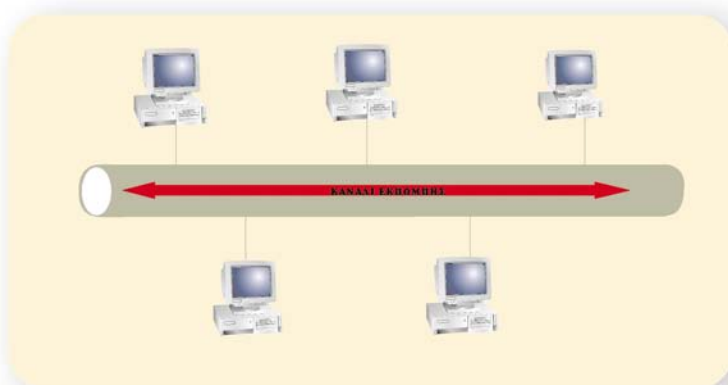
με κάποια γραμμή επικοινωνίας (σχήμα 4.6). Όταν δύο κόμβοι δεν επικοινωνούν με απευθείας σύνδεση, έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν μέσω κάποιων άλλων κόμβων, με αποτέλεσμα η επικοινωνία να γίνεται τμηματικά. Φυσικά δεν είναι απαραίτητο η επικοινωνία δύο κόμβων να γίνεται πάντα μέσω των ίδιων γραμμών μετάδοσης, αφού είναι δυνατόν να αλλάξει η διαδρομή για διάφορους λόγους. Στο πλαίσιο αυτό έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνικές για τον έλεγχο και τον καθορισμό της δρομολόγησης των δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Γνωστά δίκτυα με συνδέσεις σημείου προς σημείο είναι τα δίκτυα δεδομένων ευρείας περιοχής, το Διαδίκτυο, καθώς και άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, όπως για παράδειγμα, το τηλεφωνικό δίκτυο, τα παλαιά τηλεγραφικά δίκτυα κτλ.

- ✓ **Σύνδεσμος ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής (broadcasting)**, ο οποίος συνδέει δύο ή και περισσότερους κόμβους ταυτόχρονα (σχήμα 4.7). Τα δίκτυα ευρείας εκπομπής διαθέτουν ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο μοιράζονται όλοι οι κόμβοι που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Αποτέλεσμα αυτής της σύνδεσης είναι κάθε μήνυμα που αποστέλλεται να παραλαμβάνεται από όλους ανεξαιρέτως τους χρήστες που βρίσκονται στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό ο σύνδεσμος αυτής της μορφής λέγεται και **σύνδεσμος σημείου με πολλαπλά σημεία (point to multipoint connection)**. Το μήνυμα που στέλνεται από έναν κόμβο σε έναν άλλο είναι εφοδιασμένο με τη διεύθυνση του παραλήπτη και λαμβάνεται από όλους τους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Όταν ένας κόμβος δεχτεί το μήνυμα, ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη. Αν η διεύθυνση είναι του παραλήπτη, τότε παραλαμβάνει και καταχωρίζει το μήνυμα στον αποταμιευτή του *buffer* για περαιτέρω επεξεργασία, διαφορετικά το αγνοεί.

Αρκετές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο και το χρόνο χρησιμοποίησης του κοινού μέσου μετάδοσης από τους κόμβους. Εκτός από τα τοπικά δίκτυα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, άλλα γνωστά δίκτυα ανοικτής ακρόασης είναι αυτά του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης, στα οποία όμως οι δέκτες δεν έχουν τη δυνατότητα εκπομπής.



Σχήμα 4.6: Δίκτυο επικοινωνίας με συνδέσεις σημείου προς σημείο. Το σήμα λαμβάνεται μόνο από το σταθμό στον οποίο αποστέλλεται και όχι από όλους τους σταθμούς.



Σχήμα 4.7: Δίκτυο ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής. Το σήμα λαμβάνεται από όλους τους σταθμούς.



### 4.2.3 Ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη



Το **IEEE** (*Institute of Electronics and Electrical Engineers*) είναι το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών.

Ένα άλλο κριτήριο ταξινόμησης των δικτύων υπολογιστών είναι η έκταση την οποία αυτά καταλαμβάνουν. Τρεις είναι οι κύριες μορφές δικτύων αυτής της ταξινόμησης, που όμως έχουν ασαφή γεωγραφικά όρια διαχωρισμού και τείνουν να προδιαγράψουν τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε κάθε κατηγορία. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **τοπικά δίκτυα** (*LAN: Local Area Networks*),
- ✓ **μητροπολιτικά δίκτυα** (*MAN: Metropolitan Area Networks*),
- ✓ **δίκτυα ευρείας περιοχής** (*WAN: Wide Area Networks*).

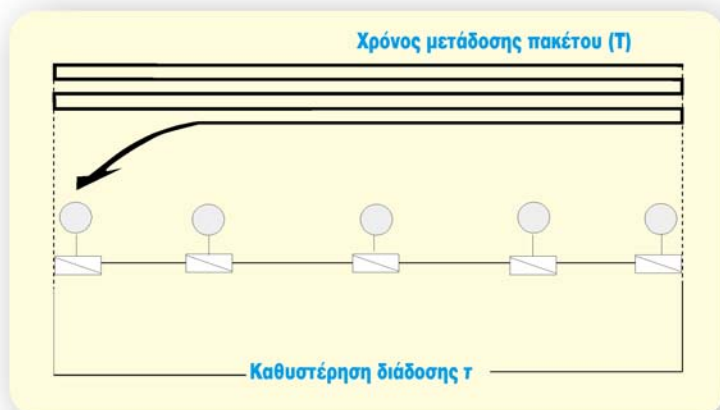
Η ταξινόμηση αυτή οφείλεται στο *IEEE* και λαμβάνει υπόψη της, πέρα από τη γεωγραφική εμβέλεια του δικτύου, και άλλα χαρακτηριστικά, τα σπουδαιότερα των οποίων είναι:

- ✓ Ο αριθμός των χρηστών που μπορεί το δίκτυο να εξυπηρετήσει.
- ✓ Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων.
- ✓ Το περιθώριο λάθους που υπάρχει κατά τη μετάδοση των δεδομένων.
- ✓ Ο τρόπος με τον οποίο το δίκτυο δρομολογεί τα δεδομένα από τον έναν κόμβο στον άλλο.
- ✓ Η καθυστέρηση της μετάδοσης των δεδομένων.
- ✓ Το μέγεθος του συντελεστή σύζευξης.

Σημειώνεται ότι ως **συντελεστής σύζευξης** (*coupling coefficient*) ορίζεται ο λόγος  $\alpha = \tau/T$ , όπου  $\tau$  είναι η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο και  $T$  ο μέσος χρόνος μετάδοσης του πακέτου. Ο συντελεστής αυτός είναι ενδεικτικός του τρόπου κατανομής των χρηστών σε σχέση με το μέσο χρόνο μετάδοσης

του πακέτου (σχήμα 4.8). Στα τοπικά δίκτυα η τιμή του  $\alpha$  είναι θετική αλλά πολύ μικρότερη της μονάδας ( $0 < \alpha < 1$ ), στα μητροπολιτικά είναι συνήθως κοντά στο 1 ( $0,1 < \alpha < 1$ ), ενώ στα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι αρκετά μεγαλύτερη του 1 ( $\alpha > 1$ ). Όμως ο υπολογισμός του  $\alpha$  είναι μια σύνθετη υπόθεση, αφού ανάγεται στον υπολογισμό του μέσου χρόνου μετάδοσης του πακέτου  $T$ , ο οποίος συμπεριλαμβάνει και το χρόνο καθυστέρησης του πακέτου στους κόμβους από τους οποίους διέρχεται.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, με την αλματώδη ανάπτυξη νέων τεχνικών μετάδοσης και τεχνολογιών διασύνδεσης, πολλά από τα παραπάνω χαρακτηριστικά που αφορούν την ταξινόμηση των δικτύων έχουν μεταβληθεί σημαντικά. Για παράδειγμα, σήμερα, με την εξέλιξη των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων, η κατηγορία των μητροπολιτικών δικτύων ουσιαστικά έχει αφομοιωθεί από τις άλλες δύο κατηγορίες δικτύων.



Σχήμα 4.8: Συντελεστής σύζευξης  $\alpha = \tau/T$





- ✓ **Τοπικά δίκτυα** (LAN: *Local Area Networks*) ονομάζονται τα δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη είναι περιορισμένη (σχήμα 4.9). Ενσύρματα δίκτυα αυτής της κατηγορίας συνήθως δεν εκτείνονται πέρα από 100 km. Τα πρώτα τοπικά δίκτυα περιορίζονταν σε μήκος καλωδίωσης έως 20 km και έδιναν ρυθμούς μετάδοσης έως 16 Mbps. Μετέπειτα επεκτάθηκαν σε μήκος έως 100 km, δίνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 100 Mbps. Με τις σημερινές τεχνολογίες οι ρυθμοί μετάδοσης υπερβαίνουν το 1 Gbps και τείνουν να φτάσουν τα 2 Gbps.

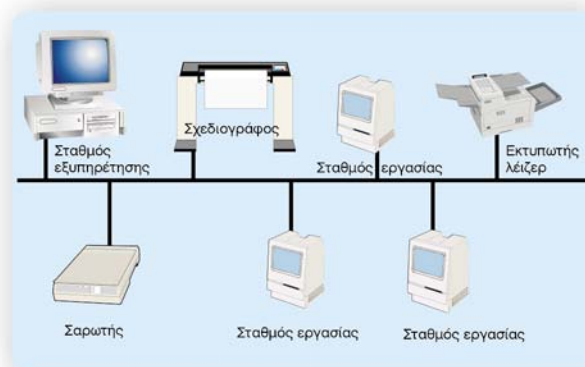
Τοπικό μπορεί να είναι το δίκτυο ενός ή περισσότερων δωματίων, ενός κτιρίου ή ακόμα και κοντινών κτιρίων. Για παράδειγμα, το δίκτυο μιας εταιρείας που διασυνδέει τις αποθήκες, το τμήμα παραγγελιών, το λογιστήριο και τις άλλες υπηρεσίες της στο ίδιο κτίριο αποτελεί ένα τοπικό δίκτυο. Τοπικά δίκτυα συγκροτούνται συνήθως ανάμεσα σε προσωπικούς υπολογιστές, χωρίς να αποκλείεται και ο συνδυασμός μεσαίων ή μεγάλων υπολογιστών. Το φυσικό μέσο μετάδοσης είναι συνήθως κάποιος τύπος χάλκινου καλωδίου (π.χ. ομοαξονικό, συνεστραμμένου ζεύγους κτλ.) ή ακόμα και οπτικές ίνες. Το λειτουργικό σύστημα μπορεί να είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα δικτύου ή ένας συνδυασμός λειτουργικών συστημάτων με δικτυακές δυνατότητες ή επεκτάσεις. Οι υπολογιστές αυτοί μπορεί να είναι οποιουδήποτε μεγέθους και ποικίλων δυνατοτήτων. Συνήθως τα φυσικά μέσα μετάδοσης των τοπικών δικτύων είναι ιδιόκτητα.

Ενδεικτικά, ένα τοπικό δίκτυο θα μπορούσε να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- |                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| • Γεωγραφική κάλυψη:          | 0 - 100 km            |
| • Αριθμός υπολογιστών:        | περίπου 1.000         |
| • Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων: | 1 Mbps - 1 Gbps       |
| • Ρυθμός λαθών:               | 1 bit στα $10^9$ bits |
| • Καθυστερήση μετάδοσης:      | 1 - 100 ms            |
| • Συντελεστής σύζευξης:       | $0 < \alpha < 1$      |

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χαρακτηρισμός ενός δικτύου ως τοπικού δε συνεπάγεται αυτόματα και την ικανοποίηση όλων των τιμών των παραπάνω χαρακτηριστικών. Απλές μέθοδοι δρομολόγησης συναντώνται στα μεγαλύτερα τοπικά δίκτυα, που χρησιμοποιούν ειδικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές για τη διασύνδεσή τους, όπως διακοπτικά στοιχεία, δρομολογητές, γέφυρες και επαναλήπτες. Γι' αυτές τις ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις και τη χρησιμότητά τους θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα στα Κεφάλαια 9, 13 και 16.

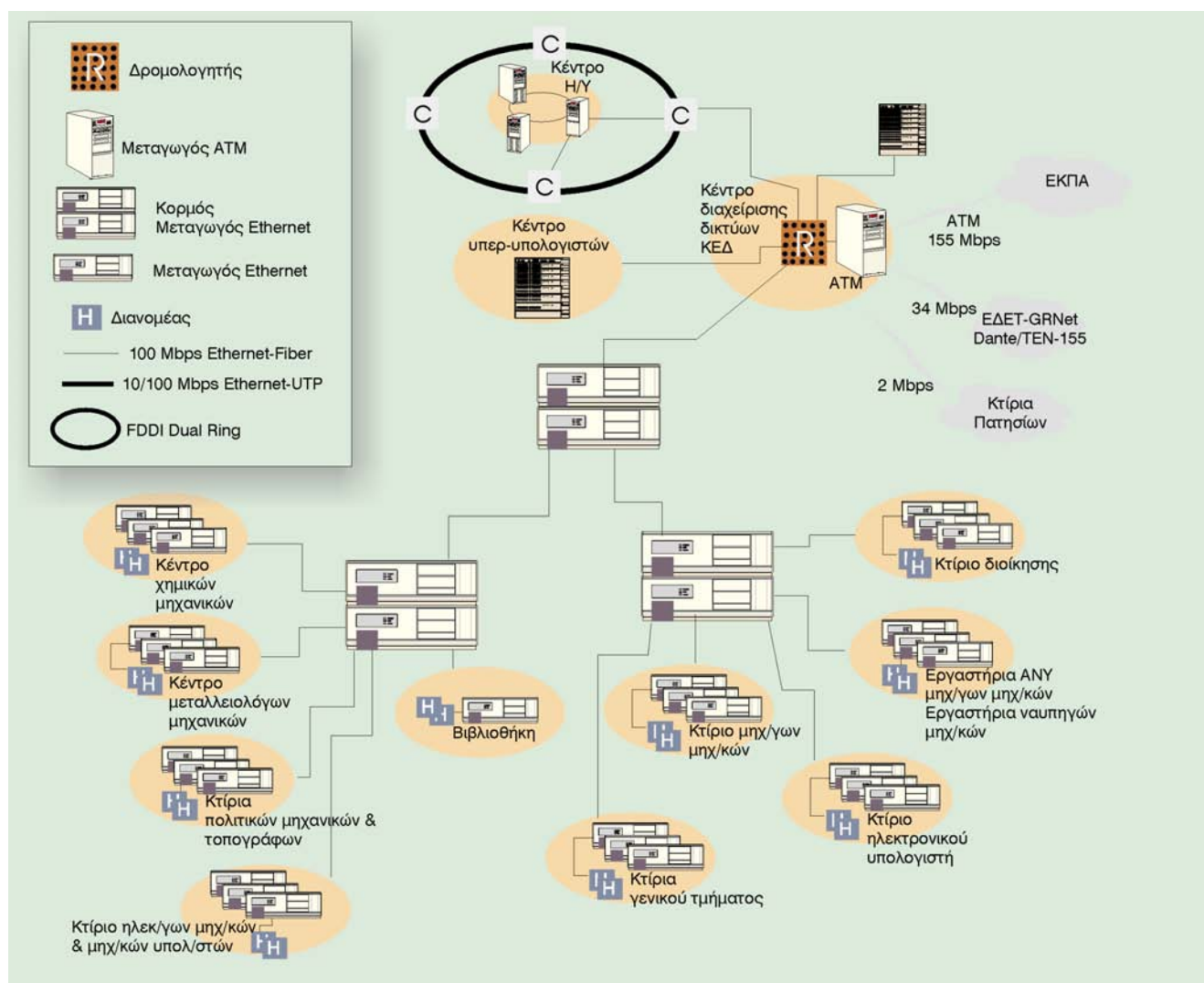
Πολλά πρότυπα τοπικών δικτύων έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα, δύο όμως είναι τα κυριότερα, του *Ethernet* και του *Token Ring*.



Σχήμα 4.9: Τοπικό δίκτυο



- ✓ **Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN: Metropolitan Area Networks)** ονομάζονται τα δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη βρίσκεται στο ενδιάμεσο μεταξύ των τοπικών και των δικτύων ευρείας περιοχής (σχήμα 4.10). Προέκυψαν από την ανάγκη να καλυφθούν μεγάλες γεωγραφικά αποστάσεις με δίκτυα που έχουν χαρακτηριστικά τοπικών δικτύων, τουλάχιστον όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Ενσύρματα δίκτυα αυτής της κατηγορίας δεν υπερβαίνουν σε μήκος εγκατεστημένης καλωδίωσης τα 200 km, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης μπορεί να κυμαίνονται από 56 Kbps έως 100 Mbps, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Συνήθως τα φυσικά μέσα μετάδοσης των μητροπολιτικών δικτύων είναι ιδιόκτητα.



Σχήμα 4.10: Το δίκτυο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου διαθέτει πολλά από τα χαρακτηριστικά ενός μητροπολιτικού δικτύου.

- Γεωγραφική κάλυψη: 100 - 200 km
- Αριθμός υπολογιστών: 5.000 - 10.000
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων: 100 Mbps
- Ρυθμός λαθών: 1 bit στα  $10^9$  bits
- Καθυστέρηση μετάδοσης: 1- 100 ms
- Συντελεστής σύζευξης: περίπου 1 ( $0,1 < \alpha < 10$ )

✓ **Δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN: Wide Area Networks)** ονομάζονται τα δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη υπερβαίνει τα 200 km, ενώ οι υπολογιστές που τα αποτελούν βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Τα δίκτυα αυτά είναι συνήθως υπεραστικά ή διεθνή. Οι ρυθμοί μετάδοσής τους διαβαθμίζονται ανάλογα με την τεχνολογία τους, σήμερα όμως ξεπερνούν τα 622 Mbps, φτάνοντας και το 1 Gbps. Το πλήθος των υπολογιστών και των λειτουργικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο ευρείας περιοχής μπορεί να είναι τεράστιο, ενώ σε αρκετά εκατομμύρια ανέρχεται και ο αριθμός των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν μέσω αυτού, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με το Διαδίκτυο (σχήμα 4.11). Σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να ενώνονται άλλα μικρότερα δίκτυα ευρείας περιοχής, μητροπολιτικά δίκτυα, τοπικά δίκτυα και αυτόνομοι υπολογιστές. Για τη διασύνδεση δύο ή περισσότερων δικτύων χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές, όπως είναι οι δρομολογητές και οι κατανεμητές.

**Τοπολογία δικτύου**

AMSTERDAM 2 Mbps

MILANO 10 Mbps

ΕΔΕΤ 1998  
GUNET 1998

Κόμβοι του GUNET

*Σχήμα 4.11: Τμήμα του Διαδικτύου των ελληνικών πανεπιστημίων μέσω του οποίου θα υλοποιηθεί και το πανελλήνιο δίκτυο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης EDUnet.*

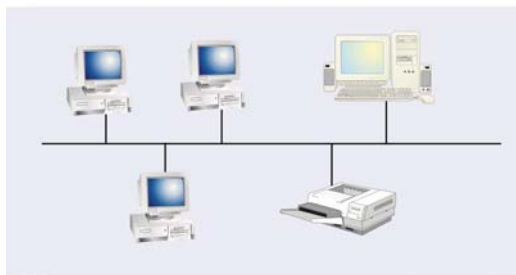


IEEE, τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου ευρείας περιοχής είναι τα ακόλουθα:

- Γεωγραφική κάλυψη:  $> 200 \text{ km}$
- Αριθμός υπολογιστών:  $> 10.000$
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων:  $> 1 \text{ Mbps}$
- Ρυθμός λαθών:  $1 \text{ bit στα } 10^6 \text{ bits}$
- Καθυστέρηση μετάδοσης:  $100 - 1.000 \text{ ms}$
- Συντελεστής σύζευξης:  $\alpha > > 1$

Αρχικά ο εξοπλισμός διασύνδεσης και τα φυσικά μέσα σύνδεσης των δικτύων ευρείας περιοχής είχαν δημόσιο χαρακτήρα, σήμερα όμως αυτό δεν είναι απαραίτητο να ισχύει. Παραδείγματα δικτύων ευρείας περιοχής συνιστούν το τηλεφωνικό δίκτυο, άλλα δημόσια δίκτυα μεταφοράς δεδομένων, καθώς και το Διαδίκτυο.

Στην κατηγοριοποίηση που αναφέρθηκε κάθε τύπος δικτύου απαιτεί διαφορετικές αρχές σχεδιασμού και διαφορετική τεχνολογία υλοποίησης από τους υπόλοιπους τύπους δικτύων. Καθοριστικό παράγοντα γι' αυτό αποτελεί και το φυσικό μέσο μετάδοσης, που ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία και τους φυσικούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, η ασύρματη τεχνολογία έχει συνήθως ως αποτέλεσμα χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από την αντίστοιχη ενσύρματη. Όμως παρέχει ευελιξία και ωφέλεια κόστους, επειδή αποτελεί συστατικό στοιχείο της κινητής επικοινωνίας και δεν απαιτεί ενσύρματη εγκατάσταση.



Σχήμα 4.12: Δίκτυο τοπολογίας διαύλου

#### 4.2.4 Ταξινόμηση ως προς την τοπολογία

Ως **τοπολογία δικτύου** χαρακτηρίζεται η φυσική διάταξη των καλωδίων που συνδέουν τους κόμβους του δικτύου. Μερικές από τις πιο γνωστές τοπολογίες είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Διαύλου, λεωφόρου ή αρτηρίας (bus).** Στην περίπτωση αυτή οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται μέσω ενός καλωδίου του οποίου τα άκρα είναι ανοικτά (σχήμα 4.12). Η χρήση αυτής της τοπολογίας περιορίζεται συνήθως σε μικρά τοπικά δίκτυα. Μειονέκτημα αυτού του είδους σύνδεσης είναι ότι, αν το καλώδιο κοπεί σε κάποιο σημείο, το δίκτυο δεν μπορεί να λειτουργήσει.
- ✓ **Δακτυλίου (ring).** Στην τοπολογία αυτή (σχήμα 4.13) οι υπολογιστές του δικτύου συνδέονται επίσης μέσω ενός μόνο καλωδίου, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, με τη διαφορά ότι τα άκρα του είναι μεταξύ τους ενωμένα.
- ✓ **Άστρου (star).** Στην τοπολογία αυτή (σχήμα 4.14) υπάρχει ένας κατακεντρωμένος ή κεντρικός υπολογιστής ο οποίος συνδέεται με κάθε υπολογιστή του δικτύου απευθείας με μια μόνιμη γραμμή σύνδεσης. Δύο υπολογιστές του δικτύου της μορφής αυτής μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους μόνο μέσω του κεντρικού υπολογιστή.



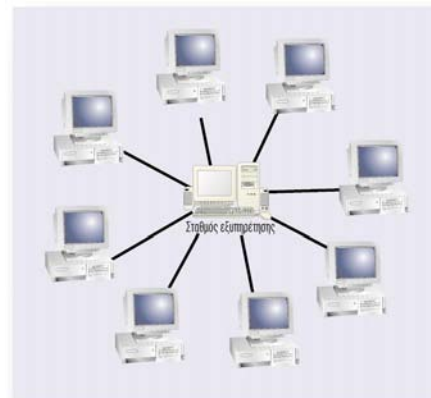
Σχήμα 4.13: Δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου



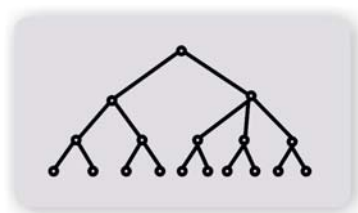


- ✓ **Δέντρου (tree).** Η τοπολογία του δέντρου (σχήμα 4.15), η οποία είναι παράγωγη της τοπολογίας του άστρου, έχει ιεραρχική δομή σχήματος δέντρου. Η ρίζα έχει την κύρια ευθύνη και μοιράζεται ιεραρχικά τους κόμβους των κλάδων του δέντρου.
- ✓ **Δικτυωτού (mesh).** Η τοπολογία αυτή (σχήμα 4.16), η οποία λέγεται και πλέγμα, δεν έχει κάποια συγκεκριμένη μορφή ούτε αποτελεί συνένωση άλλων δικτύων γνωστής μορφής.
- ✓ **Μεικτή (mixed).** Η μεικτή τοπολογία αποτελεί συνένωση πολλών διαφορετικών τοπολογιών (σχήμα 4.17).

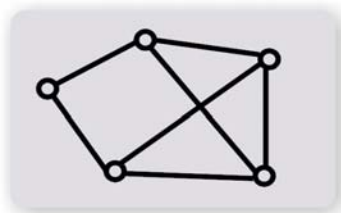
Σημειώνεται ότι οι κόμβοι του δικτύου που συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές υψηλού ρυθμού μετάδοσης σχηματίζουν το λεγόμενο **κορμό (backbone)** του δικτύου. Οι κόμβοι αυτοί συχνά λειτουργούν ως **πύλες (gateways)** για δίκτυα χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης.



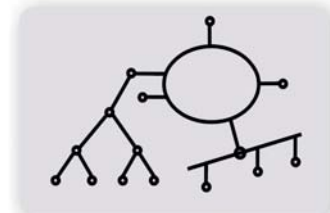
Σχήμα 4.14: Δίκτυο τοπολογίας άστρου.



Σχήμα 4.15: Δίκτυο τοπολογίας δέντρου



Σχήμα 4.16: Δίκτυο τοπολογίας δικτυωτού



Σχήμα 4.17: Δίκτυο μεικτής τοπολογίας

## 4.2.5 Ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία

Ως προς την τεχνολογία των δικτύων, οι πρώτες προσπάθειες ταξινόμησης αφορούν τη διασύνδεση δύο μόνο υπολογιστών. Όπως είναι γνωστό, οι προσπάθειες αυτές κατέληξαν στη δημιουργία των προτύπων της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης. Τα πρότυπα αυτά περιγράφηκαν στο Μάθημα 2.3 και έχουν ως ακολούθως:

- ✓ **Πρότυπο RS-232C** και μετέπειτα **RS-422**, **RS-423** και **RS-449**. Σε φυσικό επίπεδο η διασύνδεση δύο υπολογιστών επιτεύχθηκε το 1969 με τη δημοσίευση του προτύπου **RS-232C**. Το πρότυπο αυτό αφορά την έως 38 Kbps σειραϊκή μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση που δεν υπερβαίνει τα 30 μέτρα. Πρόκειται για χαμηλού ρυθμού μεταφορά δεδομένων, κατάλληλη για κοντινές αποστάσεις, η οποία γίνεται σειραϊκά, δηλαδή μεταφέρεται ένας χαρακτήρας κάθε φορά.
- ✓ **Πρότυπο ελέγχου συγχρονισμένης γραμμής δεδομένων (SDLC: Synchronous Data Link Control).** Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 εισάγεται το πρότυπο της **συγχρονισμένης μετάδοσης**, το οποίο αύξησε το ρυθμό μετάδοσης και το ωφέλιμο μήκος της γραμμής μετάδοσης. Το πρότυπο αυτό, που είναι γνωστό ως **SDLC**, στηρίζεται στη δημιουργία πακέτων και επομένως στην εξοικονόμηση του χρόνου που χάνεται από τα κενά των διαδοχικών χαρακτήρων της σει-

Η σημερινή τεχνολογική εξέλιξη δημιούργησε μια γρήγορη, ισόχρονη, χαμηλού κόστους σειραϊκή διεπαφή που λέγεται **USB (Universal Serial Bus)**. Η διεπαφή αυτή έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης, μέσω διανομέα, με πολλές άλλες συσκευές, περιφερειακά, τηλεφωνικές συσκευές κτλ., τις οποίες μπορεί και να διαχειριστεί.





Το **πακέτο** είναι μια ακολουθία από δυαδικά ψηφία στην οποία έχουν ενσωματωθεί δύο προκαθορισμένες αλλά διαφορετικές σειρές δυαδικών ψηφίων, εκ των οποίων η μία τίθεται στην αρχή του πακέτου και λέγεται **επικεφαλίδα** (*header*), ενώ η άλλη τίθεται στο τέλος του πακέτου και λέγεται **ουρά** (*trailer*). Ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων στο πακέτο ποικίλλει, ενώ το μέγεθός του παίρνει πολλές φορές καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του δικτύου.

ραϊκής μετάδοσης.

Τόσο η ασυγχρόνιστη όσο και η συγχρονισμένη μεταφορά δεδομένων, που χρησιμοποιούνται ευρύτατα έως σήμερα στη διασύνδεση δύο κόμβων για ανταλλαγή πληροφοριών, δεν απαντούν στο ερώτημα πώς διασυνδέονται περισσότεροι από δύο κόμβοι. Το ερώτημα αυτό, που απασχόλησε τους μηχανικούς επικοινωνιών από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, απαντήθηκε με την αποδοχή της τεχνολογίας της **μεταγωγής**. Σημειώνεται ότι μπορεί κανείς να διακρίνει τρεις μεγάλες περιόδους που χαρακτηρίζουν την εξέλιξη της τεχνολογίας των δικτύων υπολογιστών η οποία εξειδικεύτηκε με τις παρακάτω τεχνικές:

- ✓ η τεχνική της **μεταγωγής κυκλώματος** (*circuit switching*),
- ✓ η τεχνική της **μεταγωγής πακέτου ή αποθήκευσης και προώθησης** (*packet switching* ή *store and forward*) και
- ✓ η τεχνική του **ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*ATM: Asynchronous Transfer Mode*).

Η τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος οφείλει την ανάπτυξή της στο τηλεφωνικό δίκτυο, ενώ η τεχνική της μεταγωγής πακέτου αφορά τα δίκτυα δεδομένων. Στην πρώτη περίπτωση η μετάδοση δεδομένων είναι εφικτή μόνο μετά την εγκατάσταση μιας φυσικής ζεύξης (κυκλώματος) μεταξύ των κόμβων, ενώ στη δεύτερη τα πακέτα αποστέλλονται συνεχόμενα στο δίκτυο, με αποτέλεσμα τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου μετάδοσης της πληροφορίας.

Η ανάπτυξη της τεχνικής των **ψηφιακών δικτύων ολοκληρωμένων υπηρεσιών** (*ISDN*) αποτελεί μια προσπάθεια για τη μετάδοση όλων των μορφών πληροφορίας, όπως δεδομένα ηλεκτρονικών υπολογιστών, βίντεο, εικόνας, φωνής κ.ά., από το ίδιο μέσο μετάδοσης. Η τεχνική των δικτύων *ISDN* προωθήθηκε σε δύο επίπεδα, την τεχνική των δικτύων **στενής ζώνης** (*narrowband*), γνωστή και ως *N-ISDN*, και την τεχνική των δικτύων **ευρείας ζώνης** (*broadband*), γνωστή και ως *B-ISDN*. Η πρώτη παρέχει συνδέσεις συνολικού εύρους ζώνης 144 Kbps ( $2B + D$ ), ενώ η δεύτερη 1.984 Kbps ( $30B + D$ ). Η τεχνική *B-ISDN* μετεξελίχτηκε, ιδιαίτερα στην περίπτωση των δικτύων ευρείας περιοχής, ώστε να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής, του **ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*ATM: Asynchronous Transfer Mode*). Σύμφωνα μ' αυτή τη νέα τεχνική, οι πληροφορίες οποιασδήποτε μορφής τεμαχίζονται σε μικρά πακέτα των 53 δυαδικών ψηφίων, τα οποία συνδυαζόμενα συνθέτουν ροές κυκλοφορίας πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης, που κινούνται μεταξύ 150 Mbps και φθάνουν σταδιακά το 1 Gbps. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να συνεργαστεί με όλους σχεδόν τους τύπους των πρωτοκόλλων. Τελευταίες ανακαλύψεις προωθούν την ανάπτυξη της τεχνικής *ATM* και στα τοπικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά είναι γνωστά και ως **τοπικά δίκτυα ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*LATM: Local ATM*).

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ενσύρματη επικοινωνία, ασύρματη επικοινωνία, σύνδεσμος σημείου προς σημείο, σύνδεσμος ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής, τοπικά δίκτυα, μητροπολιτικά δίκτυα, δίκτυα ευρείας περιοχής, τοπολογία δικτύου (δίαυλος, δακτύλιος, άστρο, δέντρο, δικτυωτό, μεικτή) μεταγωγή, μεταγωγή κυκλώματος, μεταγωγή πακέτων, αποθήκευση και προώθηση.



## Μάθημα 4.3: Αξιοπιστία μετάδοσης – Απόδοση δικτύου

### 4.3.1 Αξιοπιστία μετάδοσης

Είναι προφανές ότι ένα δίκτυο θα πρέπει να μεταφέρει χωρίς σφάλματα την πληροφορία από το ένα στο άλλο άκρο του. Επειδή όμως, όπως συμβαίνει άλλωστε σε όλους τους τομείς της ζωής μας, τα σφάλματα είναι αναπόφευκτα, το δίκτυο θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με μηχανισμούς εντοπισμού και αντιμετώπισης των **σφαλμάτων μετάδοσης**.

#### 4.3.1.1 Αιτίες των σφαλμάτων μετάδοσης

Τα σφάλματα μεταφοράς προκύπτουν από διάφορες αιτίες. Συχνά πρόκειται για **σφάλματα κατά τη μετάδοση** των δεδομένων από το φυσικό μέσο μεταφοράς (π.χ. χάλκινο καλώδιο, οπτική ίνα ή ασύρματη ζεύξη). Σ' αυτή την περίπτωση αντιστρέφεται η τιμή σε ένα δυαδικό ψηφίο ή σε μία ομάδα από συνεχόμενα δυαδικά ψηφία (από 0 γίνεται 1 και το αντίστροφο). Αιτίες εμφάνισης τέτοιων σφαλμάτων είναι η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, ο εξωτερικός θόρυβος και ο θόρυβος από τα κυκλώματα πομπού και δέκτη.

Μία άλλη συχνή αιτία εμφάνισης σφαλμάτων μετάδοσης στα δίκτυα δεδομένων είναι η **απόρριψη πακέτων** στους κόμβους. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο τα πακέτα να αποθηκεύονται προσωρινά στους αποταμιευτές των κόμβων. Επειδή όμως οι αποταμιευτές είναι συγκεκριμένης χωρητικότητας, ένα πακέτο είναι πιθανό να βρει τον αποταμιευτή γεμάτο κατά την άφιξή του στον κόμβο. Σ' αυτή την περίπτωση το πακέτο απορρίπτεται από τον κόμβο.

Τέλος, οι βλάβες ή οι δυσλειτουργίες του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, όπως επίσης και η **εσφαλμένη διαμόρφωση** και **παραμετροποίηση** του δικτυακού λογισμικού, είναι επίσης πιθανές αιτίες εμφάνισης σφαλμάτων μετάδοσης (π.χ. μια λανθασμένη ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης ενός κόμβου μπορεί να ανακατευθύνει όλα τα πακέτα μιας ροής δεδομένων προς έναν ανύπαρκτο προορισμό). Σ' αυτή την περίπτωση ο παραλήπτης - κόμβος μπορεί να μη λάβει δεδομένα που του είχαν αποσταλεί ή μπορεί και να λάβει δεδομένα που δεν προορίζονταν γι' αυτόν.

#### 4.3.1.2 Μηχανισμοί εντοπισμού και αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης

Το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα εσφαλμένα πακέτα, πριν τα παραδώσει στον προορισμό τους. Για το λόγο αυτό το δίκτυο προσθέτει σε κάθε πακέτο μία επιπλέον πληροφορία πριν από τη μεταφορά του. Έτσι, ανάλογα με το χρη-



σιμοποιούμενο μηχανισμό εντοπισμού και την έκταση της επιπλέον πληροφορίας, το δίκτυο εντοπίζει αλλοιώσεις σε ένα, δύο ή και περισσότερα δυαδικά ψηφία ταυτόχρονα. Αυτή η πρόσθετη πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη διόρθωση των εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων. Εάν ένα δυαδικό ψηφίο αναγνωρισθεί ως λανθασμένο, τότε η διόρθωσή του απαιτεί απλώς την αντιστροφή του 0 σε 1 ή του 1 σε 0.

Μία άλλη τεχνική αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης είναι η **επαναμετάδοση** των εσφαλμένων ή των απολεσθέντων πακέτων, στην οποία ο παραλήπτης ζητά την επανεκπομπή του συγκεκριμένου πακέτου από τον αποστολέα.

Τέλος, αρκετές σύγχρονες εφαρμογές παρουσιάζουν μια μικρή ανοχή στην εμφάνιση σφαλμάτων. Για παράδειγμα, κατά τη μετάδοση κινούμενης εικόνας ένα πακέτο αντιστοιχεί σε ένα πολύ μικρό τμήμα της εικόνας (π.χ. 8 x 8 κουκκίδες). Σε περίπτωση απώλειας του πακέτου ενεργοποιούνται διάφορες τεχνικές αναδημιουργίας του τμήματος της εικόνας από τα γειτονικά του, αντίστοιχα, τμήματα. Έτσι η απώλεια ενός πακέτου γίνεται αντιληπτή στον τελικό χρήστη με μια μικρή ποιοτική υποβάθμιση της λαμβανόμενης εικόνας, η οποία είναι συνήθως μέσα στα αποδεκτά όρια.

### 4.3.1.3 Δείκτης αξιόπιστης μετάδοσης

Γενικότερα για τις συσκευές, ως δείκτης αξιοπιστίας χρησιμοποιείται ο **μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών**, ο οποίος προσδιορίζει τη μέση χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών βλαβών. Αυτός ο δείκτης μπορεί φυσικά να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις συσκευές δικτύου. Ειδικότερα για τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, ορίζεται ο ακόλουθος **δείκτης αξιόπιστης μετάδοσης**:

$$\text{Δείκτης αξιόπιστης μετάδοσης} = 1 - \frac{\text{εσφαλμένα δεδομένα}}{\text{σύνολο ληφθέντων δεδομένων}}$$

Ως **εσφαλμένα** θεωρούνται εκείνα τα δεδομένα των οποίων τα σφάλματα μετάδοσης δεν εντοπίστηκαν ή εντοπίστηκαν αλλά δεν κατέστη δυνατόν να διορθωθούν από τους μηχανισμούς αντιμετώπισης σφαλμάτων του δικτύου. Επίσης ως εσφαλμένα θεωρούνται και εκείνα τα πακέτα που ελήφθησαν περισσότερες από μία φορές (π.χ. γιατί ζητήθηκε εσφαλμένα η επανεκπομπή τους). Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο δείκτης αξιοπιστίας, τόσο πιο αξιόπιστο είναι το δίκτυο για τη μετάδοση δεδομένων.

### 4.3.2 Απόδοση δικτύου

Όπως όλα σχεδόν τα συστήματα, έτσι και τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών πρέπει να σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνουν την καλύτερη κατά το δυνατόν απόδοση. Δύο μετρήσιμοι όροι που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά το παρελθόν για το χαρακτηρισμό της απόδοσης του δικτύου είναι ο **ρυθμός διέλευσης** (*throughput*) και η **καθυστέρηση μεταφοράς** (*transmission delay*).



### 4.3.2.1 Ρυθμός διέλευσης

Ο **ρυθμός διέλευσης** εκφράζει το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που μπορεί να μεταφερθεί αξιόπιστα μέσα από το δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο με ρυθμό διέλευσης 10 Mbps περιμένουμε ότι θα μπορεί να μεταφέρει, από άκρο σε άκρο του δικτύου, 10 εκατομμύρια δυαδικά ψηφία στο χρονικό διάστημα του ενός δευτερολέπτου. Όμως, στην πράξη, αυτό μεταφέρει πολύ λιγότερα.

Σε γενικές γραμμές, ο ρυθμός διέλευσης ενός δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ένας πολύ σύνθετος παράγοντας, ο οποίος εξαρτάται από τους ρυθμούς μετάδοσης των κόμβων, από τις λειτουργίες ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας των κόμβων, καθώς και από το ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων κατά τη μεταφορά δεδομένων. Εάν η δικτυακή εφαρμογή απαιτεί τη μεταφορά αρχείων μεγάλου μεγέθους, όπως είναι για παράδειγμα η μεταφορά άρθρων από ψηφιακή βιβλιοθήκη, τότε ο ρυθμός διέλευσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα χαρακτηρισμού της απόδοσης του δικτύου.

### 4.3.2.2 Καθυστέρηση μεταφοράς

Η καθυστέρηση μεταφοράς εκφράζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται προκειμένου να μεταφερθεί ένα δυαδικό ψηφίο από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο και ισούται με το ακόλουθο άθροισμα:

$$\text{καθυστέρηση μεταφοράς} = \text{χρόνος μετάδοσης στο μέσο} + \text{χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο} + \text{χρόνος αναμονής στους κόμβους}$$

- ✓ Ο πρώτος όρος του αθροίσματος, ο **χρόνος μετάδοσης στο μέσο**, αφορά το χρόνο που απαιτείται προκειμένου να μεταδοθεί ένα δυαδικό ψηφίο διαμέσου των φυσικών μέσων που συνθέτουν την από άκρη σε άκρη διαδρομή. Επειδή δεν υπάρχει υλικό το οποίο μπορεί να μεταδοθεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του φωτός, ο χρόνος μετάδοσης στο μέσο έχει ως κατώτερο φράγμα το πηλίκο της απόστασης των δύο άκρων του διά την ταχύτητα της μετάδοσης του φωτός.
- ✓ Ο δεύτερος όρος του αθροίσματος, ο **χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο**, ισούται με το αντίστροφο του ρυθμού διέλευσης του δικτύου. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο με ρυθμό διέλευσης 10 Mbps ο χρόνος μετάδοσης ενός δυαδικού ψηφίου (*bit time*) θα είναι ίσος με 0,1 μsec.
- ✓ Τέλος, ο τρίτος όρος του αθροίσματος, ο **χρόνος αναμονής στους κόμβους**, αφορά το χρόνο που περιμένει ένα πακέτο στον προσωρινό αποταμιευτή κάθε κόμβου, μέχρι να εξυπηρετηθεί. Ο ακριβής υπολογισμός του χρόνου αναμονής είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα στο πεδίο των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών και, τουλάχιστον από όσα γνωρίζουμε, μπορούμε να εκφράσουμε προσεγγιστικές εκτιμήσεις μόνο για μερικές ειδικές κατηγορίες δικτύων.

Στα σύγχρονα δίκτυα ο χρόνος μετάδοσης αποτελεί τον κύριο όρο στο άθροισμα υπολογισμού της καθυστέρησης μεταφοράς. Εάν η δικτυακή εφαρμογή απαιτεί μικρούς χρόνους απόκρισης και ανταλλάσσει αρχεία μικρού μεγέθους μεταξύ των πελατών και των σταθμών εξυπηρέτησης (π.χ. τηλεειδοποίηση ή τηλεέλεγχος), τότε η καθυστέρηση



μεταφοράς παίζει σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό της απόδοσης του δικτύου.

### Παράδειγμα Ι

Έστω ότι δύο κόμβοι, σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη αντίστοιχα, ενώνονται με απευθείας σύνδεσμο, ο οποίος έχει ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps, δεν παρουσιάζει σφάλματα κατά τη μεταφορά δεδομένων και διατίθεται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση αυτών των δύο κόμβων μόνο.

Γνωρίζοντας ότι η απόσταση Αθήνας - Θεσσαλονίκης ισούται με 500 km, μπορούμε να υπολογίσουμε την καθυστέρηση μεταφοράς  $D$  από την ακόλουθη σχέση:

$$D = \frac{500 \text{ km}}{300.000 \text{ km/sec}} + \frac{1 \text{ bit}}{10^6 \text{ bps}} \Leftrightarrow D = 1,67 \text{ msec} + 0,001 \text{ msec}$$

Τονίζουμε ότι ο σύνδεσμος διατίθεται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση των δύο κόμβων και επομένως τα πακέτα της ροής δεδομένων κάθε κόμβου δε θα επιβαρύνονται με χρόνο αναμονής.

Σ' αυτό το παράδειγμα φαίνεται ότι ο χρόνος μετάδοσης στο μέσο είναι τρεις τάξεις μεγαλύτερος από το χρόνο μετάδοσης στο δίκτυο. Αυτή η διαφορά θα αμβλυνθεί σημαντικά στα μελλοντικά δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς ο ρυθμός διέλευσής τους αναμένεται να αυξηθεί κατά πολύ σε σχέση με τα σύγχρονα δίκτυα.

### 4.3.2.3 Χαρακτηρισμός της απόδοσης δικτύου

Οι δύο όροι που παρουσιάσαμε στις προηγούμενες παραγράφους χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά το παρελθόν για να χαρακτηρίσουν την απόδοση ενός δικτύου. Αξίζει επίσης να παρατηρήσουμε ότι, μέχρι πρόσφατα, οι δικτυακές εφαρμογές δεν είχαν ιδιαίτερες απαιτήσεις **ποιότητας εξυπηρέτησης** (QoS: *Quality of Service*) από το δίκτυο. Για παράδειγμα, κανένας χρήστης δεν ξεκινούσε τη μεταφορά κάποιου αρχείου του από απομακρυσμένο κόμβο έχοντας προσυμφωνήσει με το δίκτυο έναν αυστηρό χρόνο παράδοσης.

Όμως στα σύγχρονα δίκτυα άρχισαν ήδη να εμφανίζονται διάφορες υπηρεσίες που έχουν πολύ αυστηρές προδιαγραφές όσον αφορά την παρεχόμενη από το δίκτυο ποιότητα εξυπηρέτησης. Για παράδειγμα, στην εκπομπή κινούμενης εικόνας, όπου κάθε στιγμή (καρέ) μεταδίδεται στο δίκτυο με σταθερό ρυθμό, συνήθως ίσο με 30 καρέ/sec, η διακύμανση της καθυστέρησης μεταφοράς πακέτου δεν μπορεί να υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή. Έτσι, κατά την είσοδό του στο δίκτυο, κάθε καρέ απέχει από το προηγούμενο και το επόμενο του χρόνο ίσο με 33 msec. Κάθε καρέ, κατά τη μεταφορά του από το δίκτυο, υφίσταται διαφορετική καθυστέρηση από τα υπόλοιπα. Αν η διαφορά στην καθυστέρηση που έχουν υποστεί δύο διαδοχικά καρέ υπερβαίνει τα 33 msec, τότε το δεύτερο καρέ δε θα είναι διαθέσιμο προς απεικόνιση στην ώρα του, με συνέπεια κάποια στιγμιαία παραμόρφωση της λαμβανόμενης εικόνας.

Επομένως στην απόδοση ενός δικτύου θα πρέπει να συνυπολογίζονται και τα προκαθορισμένα και προσυμφωνημένα όρια αποδεκτής ποιότητας εξυπηρέτησης των διάφορων κλήσεων.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Αξιοπιστία, σφάλμα μετάδοσης, απόδοση, ρυθμός διέλευσης, καθυστέρηση, χρόνος μετάδοσης στο μέσο, χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο, χρόνος αναμονής στους κόμβους, ποιότητα εξυπηρέτησης.





## Μάθημα 4.5: Χρήση δικτύων

### 4.5.1 Η χρήση των δικτύων στην κοινωνία της πληροφορίας

Η ευρύτατη χρήση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές σε πολλούς τομείς της οικονομικής και της κοινωνικής ζωής, όπως είναι η αμεσότητα στην πληροφόρηση, η νέα (ηλεκτρονική) οικονομία η αναμόρφωση της όλης εκπαιδευτικής διαδικασίας, η υγεία, η ψυχαγωγία κτλ. Η ευρεία χρήση τους οφείλεται τόσο στη συνεχή μείωση του κόστους των υπολογιστών όσο και στην παράλληλη αύξηση των δυνατοτήτων τους. Τα οφέλη των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- ✓ **Διαμοιρασμός πόρων δικτύου.** Η διασύνδεση των υπολογιστών έχει μεγάλη επίδραση στον εργασιακό χώρο, αφού αυξάνει τη λειτουργικότητά του προσθέτοντας δυνατότητες, όπως είναι για παράδειγμα:
  - **Ο διαμοιρασμός εφαρμογών.** Οι εφαρμογές λογισμικού υψηλού κόστους, όπως ένας προσομοιωτής ή ένα στατιστικό ή σχεδιαστικό πακέτο, μπορούν να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από διάφορους χρήστες στο δίκτυο, χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάστασή τους σε καθέναν υπολογιστή ξεχωριστά.
  - **Ο διαμοιρασμός περιφερειακών συσκευών.** Όλα τα συστήματα ενός δικτύου μπορούν να χρησιμοποιούν οποιαδήποτε περιφερειακή συσκευή, όπως έναν έγχρωμο εκτυπωτή λέιζερ, ένα σαρωτή υψηλής ευκρίνειας κτλ.
  - **Ο διαμοιρασμός αρχείων.** Διάφορα κοινόχρηστα αρχεία μπορούν να αποθηκεύονται σε ένα μόνο υπολογιστή του δικτύου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόσβασή τους σε όλους τους υπολογιστές των ενδιαφερόμενων χρηστών.
- ✓ **Επικοινωνία και πληροφόρηση.** Οι υπηρεσίες του Διαδικτύου αποτελούν εύχρηστους και άμεσους τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών. Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η οπτική τηλεδιάσκεψη, οι ειδήσεις κτλ. είναι σήμερα πραγματικότητα για εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Ταυτόχρονα παραδοσιακές και νέες πηγές πληροφόρησης, όπως οι εφημερίδες, η τηλεόραση, το ραδιόφωνο, τα περιοδικά, είναι διαθέσιμα στο Διαδίκτυο για τους συνδρομητές - χρήστες του.

Η αύξηση της επεξεργαστικής δυνατότητας και η συνεχιζόμενη τεχνολογική εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει επιτρέψει την ανάπτυξη δικτυακών εφαρμογών ιδιαίτερης πολυπλοκότητας και υψηλών προδιαγραφών. Τέτοιες εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ισχύ επεξεργασίας και ικανότητα μεταφοράς δεδομένων είναι:



Η αναμόρφωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας αφορά τη διάχυση του εκπαιδευτικού υλικού και την εισαγωγή της ηλεκτρονικής εκπαίδευσης. Ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας μαθημάτων σχετικών με την πληροφορική και τις επικοινωνίες, τα μαθηματικά και τις φυσικές επιστήμες μπορεί να αλλάξει, μέσω της ανάπτυξης του κατάλληλου εκπαιδευτικού λογισμικού, διευκολύνοντας τον τρόπο παρουσίασης και κατανόησής τους. Στη χώρα μας, στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής αναβάθμισης, έχουν δημιουργηθεί — ή βρίσκονται στο τελικό στάδιο ολοκλήρωσης — προϊόντα λογισμικού που λειτουργούν επικουρικά στη διδασκαλία πολλών διαδικτυακών μαθημάτων.



- ✓ η οπτική τηλεδιάσκεψη (*video-conference*),
- ✓ η αναγνώριση φωνής (*speech recognition*),
- ✓ η επεξεργασία εικόνας (*image processing*),
- ✓ οι μηχανολογικές και επιστημονικές εφαρμογές,
- ✓ τα συστήματα προσομοίωσης (*simulation systems*) κ.ά.

Επιπλέον οι εφαρμογές που ήδη αναπτύσσονται στα δίκτυα νέων τεχνολογιών είναι πάρα πολλές και αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά αρκετούς τομείς της κοινωνικής και της οικονομικής δραστηριότητας. Αναλυτικότερα, μερικές τέτοιες εφαρμογές είναι:

- ✓ **Η τηλεδιάσκεψη.** Αποτελεί μια εναλλακτική οικονομική λύση για τα επαγγελματικά ταξίδια. Όλοι οι χρήστες θα βρίσκονται και θα συνομιλούν σε έναν ιδεατό χώρο, θα μοιράζονται τις ηλεκτρονικές σημειώσεις τους και θα γράφουν τις παρατηρήσεις τους σε έναν ηλεκτρονικό πίνακα.
- ✓ **Η τηλεϊατρική.** Πρόκειται για εφαρμογή που έχει στόχο την άμεση πρόσβαση σε ιατρικές πληροφορίες τεράστιου όγκου, την αναζήτηση παρόμοιων περιστατικών και τη ζωντανή σύνδεση του ιατρικού και του νοσηλευτικού προσωπικού με κόμβους επιστημονικής υποστήριξης. Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να υποστηριχθούν από τα δίκτυα υψηλών επιδόσεων και αναμένεται ότι θα βελτιώσουν το επίπεδο των προσφερόμενων ιατρικών υπηρεσιών.
- ✓ **Η τηλεεκπαίδευση.** Σύμφωνα με την εφαρμογή αυτή, κάθε εκπαιδευόμενος θα μπορεί από το χώρο του να παρακολουθεί τη διδασκαλία ενός θέματος, όποτε θέλει, με το ρυθμό που κρίνει αποδοτικό, επιλέγοντας ή επαναλαμβάνοντας τμήματά της και έχοντας ταυτόχρονα πρόσβαση σε μια τεράστια ποικιλία επικουρικού και συμπληρωματικού υλικού, όπως π.χ. ψηφιακές βιβλιοθήκες, ηλεκτρονικά εργαστήρια, εκπαιδευτικό λογισμικό κτλ.
- ✓ **Το ηλεκτρονικό εμπόριο.** Όπως γίνεται και σήμερα, έτσι και με τα δίκτυα υψηλών επιδόσεων ο καθένας θα μπορεί να κάνει μια έρευνα αγοράς για τα προϊόντα που τον ενδιαφέρουν, πριν τα αγοράσει. Η μεγάλη διαφορά όμως είναι ότι η έρευνα θα γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο από το χώρο του καθενός, εύκολα και γρήγορα, ψάχνοντας σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό κατάστημα του πλανήτη εμπορεύεται τα προϊόντα που τον ενδιαφέρουν. Έτσι θα μπορεί να πραγματοποιήσει με ασφάλεια και εμπιστευτικότητα, οποιαδήποτε εμπορική συναλλαγή επιθυμεί, όπως π.χ. παραγγελίες, πληρωμές κ.ά. χωρίς να μετακινηθεί από το χώρο του.
- ✓ **Τα ψυχαγωγικά προγράμματα.** Η εκπομπή ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών προγραμμάτων υψηλής πιστότητας και ευκρίνειας, η επιλογή προβολής ταινιών ή εκτέλεσης μουσικών έργων κατ' απαίτηση και η ζωντανή σύνδεση με οποιοδήποτε ηλεκτρονικό τόπο του πλανήτη εξελίσσεται ένα ενδιαφέρον φαινόμενο ή παρουσιάζεται μια ευχάριστη εκδήλωση είναι από τις πρώτες υπηρεσίες που εμφανίζονται στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων.

## Μάθημα 5.1: Πρωτόκολλα επικοινωνίας

### 5.1.1 Εισαγωγή

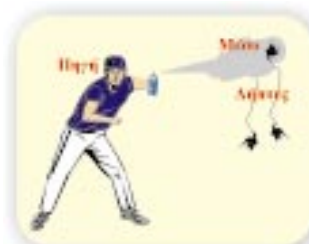
Ο σχεδιασμός των πρώτων δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών έγινε δίνοντας βάρος στο υλικό. Με την πάροδο του χρόνου και την αλματώδη εξέλιξη των επικοινωνιών τόσο ο σχεδιασμός όσο και η λειτουργία των δικτύων βασίστηκε περισσότερο στην ανάπτυξη του λογισμικού. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα και να βελτιωθεί η λειτουργία των δικτύων, το λογισμικό σχεδιάστηκε υπό μορφή **επιπέδων** ή **στρωμάτων** (*layers*), καθένα από τα οποία δομείται επάνω στο άλλο. Ο αριθμός, η λειτουργία και το όνομα κάθε επιπέδου διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο. Σκοπός ενός επιπέδου είναι να προσφέρει κάποιες υπηρεσίες στα επίπεδα που βρίσκονται επάνω από αυτό, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή και ασφαλής μετάδοση των πληροφοριών από υπολογιστή σε υπολογιστή. Σημειώνεται ότι κάθε επίπεδο δέχεται τις υπηρεσίες που του προσφέρουν τα κατώτερα από αυτό επίπεδα, χωρίς να αναγνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο προσφέρονται αυτές οι υπηρεσίες.



Οι προδιαγραφές κάθε αρχιτεκτονικής πρέπει να περιγράφονται καθαρά και αναλυτικά, έτσι ώστε οι μεν προγραμματιστές να είναι σε θέση να γράψουν σωστά το αντίστοιχο λογισμικό (πρωτόκολλο), οι δε κατασκευαστές να μπορούν να υλοποιήσουν με τέτοιο τρόπο το υλικό μέρος κάθε επιπέδου, ώστε να ανταποκρίνεται σωστά στο αντίστοιχο πρωτόκολλο.

### 5.1.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η επικοινωνία στα δίκτυα καθορίζεται από κανόνες που υπάρχουν και ενεργοποιούνται κατά τη σύνδεση δύο ή περισσότερων χρηστών. Κανόνες εξάλλου χρησιμοποιούνται σε όλες τις μορφές επικοινωνίας. Όταν οι άνθρωποι μιλούν, διαβάζουν, βλέπουν ή ακούν, τότε επικοινωνούν μεταξύ τους υιοθετώντας κανόνες, ώστε να μπορούν όλοι οι συμμετέχοντες να παρακολουθούν (σχήμα 5.1). Για παράδειγμα, σε ένα διεθνές συνέδριο ένας τέτοιος κανόνας επικοινωνίας είναι η χρήση μιας συγκεκριμένης γλώσσας. Με τον ίδιο τρόπο, προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους δύο ή περισσότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, θα πρέπει να υιοθετήσουν κάποιους κανόνες ή πα-

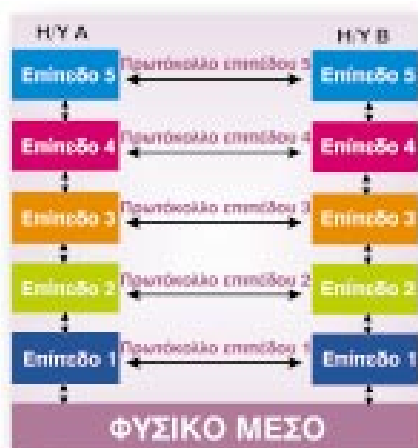


Σχήμα 5.1: Τρόποι επικοινωνίας στη ζωή μας



ραδοχές, που λέγονται πρωτόκολλα επικοινωνίας. Επομένως ένα **πρωτόκολλο** (*protocol*) επικοινωνίας είναι ένα σύνολο κανόνων ή παραδοχών που πρέπει να ακολουθήσουν δύο τουλάχιστον υπολογιστές προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Το σύνολο των επιπέδων και των πρωτοκόλλων αποτελεί την **αρχιτεκτονική του δικτύου** (*network architecture*).

### 5.1.3 Ιεραρχία πρωτοκόλλων



Σχήμα 5.2: Δίκτυο πέντε επιπέδων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα δίκτυα οργανώνονται σε επίπεδα προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού τους. Έτσι, όταν λέμε ότι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές επικοινωνούν, στην ουσία εννοούμε ότι αυτό επιτυγχάνεται λόγω της επικοινωνίας των αντίστοιχων επιπέδων τους. Δηλαδή, αν κάποιος δίκτυο έχει οργανωθεί σε  $n$  επίπεδα, τότε κάθε επίπεδο του ενός υπολογιστή επικοινωνεί με το αντίστοιχο επίπεδο του άλλου υπολογιστή, με κοινό σκοπό να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους. Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται, για να λειτουργήσει αυτή η επικοινωνία μεταξύ των αντίστοιχων επιπέδων των δύο υπολογιστών, αποτελούν το πρωτόκολλο του συγκεκριμένου επιπέδου. Για παράδειγμα, προκειμένου να επικοινωνήσει το επίπεδο  $k$  του ενός υπολογιστή με το επίπεδο  $k$  του άλλου υπολογιστή, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο του επιπέδου  $k$ .

Το σχήμα 5.2 μας δείχνει τη σχέση μεταξύ επιπέδων και πρωτοκόλλων σε ένα δίκτυο του οποίου η επικοινωνία βασίζεται σε πέντε επίπεδα. Τα αντίστοιχα επίπεδα σε κάθε υπολογιστή ονομάζονται **ομότιμα**, ενώ οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σ' αυτά ονομάζονται **ομότιμες διεργασίες**. Τα ομότιμα επίπεδα επικοινωνούν χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο πρωτόκολλο. Το πρωτόκολλο ενός επιπέδου δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένο. Πολλές φορές σε ένα επίπεδο χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα πρωτόκολλα, ανάλογα με την υπηρεσία που το επίπεδο αυτό είναι προγραμματισμένο να προσφέρει στο ανώτερο επίπεδο.

### Παράδειγμα Ι

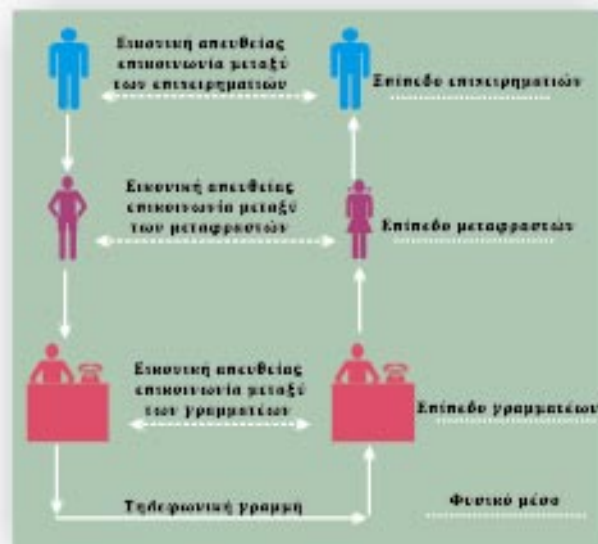
Έστω ότι δύο επιχειρηματίες, ένας Κινέζος και ένας Έλληνας, που βρίσκεται ο καθένας στη χώρα του, θέλουν να επικοινωνήσουν τηλεφωνικά, για να συνεργαστούν (σχήμα 5.3). Έστω επίσης ότι κανένας από αυτούς δε μιλά άλλη γλώσσα εκτός από τη μητρική του. Οι δύο επιχειρηματίες αποτελούν το 3ο επίπεδο επικοινωνίας (επίπεδο επιχειρηματιών). Ο μόνος τρόπος να επικοινωνήσουν είναι μέσω μεταφραστών. Ο Κινέζος προσλαμβάνει ένα μεταφραστή που μιλά κινέζικα, αγγλικά και γαλλικά, ενώ ο Έλληνας προσλαμβάνει κάποιον που μιλά ελληνικά, αγγλικά και γαλλικά. Οι δύο μεταφραστές συμφωνούν να επικοινωνούν μέσω της αγγλικής



γλώσσας. Αυτοί αποτελούν το 2ο επίπεδο επικοινωνίας (επίπεδο μεταφραστών). Κάθε φορά που ένας μεταφραστής παίρνει ένα μήνυμα από τον εργοδότη του, το μεταφράζει στα αγγλικά και παραδίδει το κείμενο στη γραμματέα προκειμένου αυτή να το προωθήσει μέσω του τηλεομοιοτυπικού μηχανήματος (*fax*) στην άλλη πλευρά. Οι γραμματείς αποτελούν το 1ο επίπεδο επικοινωνίας (επίπεδο γραμματέων).

Αντίστροφα, όταν η γραμματέας λάβει ένα τηλεομοιοτυπικό μήνυμα, το παραδίδει στο μεταφραστή, ο οποίος το μεταφράζει από τα αγγλικά στη γλώσσα του εργοδότη του και του το παραδίδει. Έτσι επιτυγχάνουν τελικά οι δύο επιχειρηματίες να επικοινωνήσουν.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο επιχειρηματίες, δηλαδή το επίπεδο 3, επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας αλλά εικονικά, όπως δείχνει το σχήμα 5.3, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τους μεταφραστές και τις γραμματείς, δηλαδή τα επίπεδα 2 και 1 αντίστοιχα. Από τα ανωτέρω είναι φανερό ότι, στην πραγματικότητα, η επικοινωνία μεταξύ των ομότιμων μερών δε γίνεται απευθείας, αλλά ακολουθεί τη ροή του σχήματος. Η πραγματική επικοινωνία γίνεται από το φυσικό μέσο από το οποίο μεταφέρονται οι πληροφορίες, δηλαδή τα τηλεφωνικά καλώδια.



Σχήμα 5.3: Επικοινωνία επιχειρηματιών

### 5.1.4 Τύποι πρωτοκόλλων

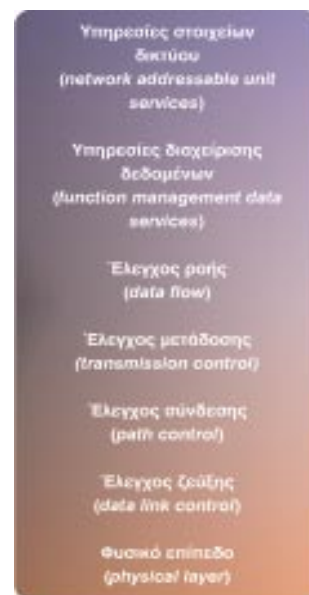
Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες πρωτοκόλλων, οι σπουδαιότερες των οποίων μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- ✓ Πρωτόκολλα που αναπτύσσονται και υποστηρίζονται από τους κατασκευαστές για ειδικά συστήματα. Ορισμένα τέτοια πρωτόκολλα είναι τα εξής:

- **SNA**

Η **αρχιτεκτονική SNA** (System Network Architecture) αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 από την **IBM**, με σκοπό να εξυπηρετήσει τις επικοινωνίες μεταξύ υπολογιστών - σταθμών εξυπηρέτησης και υπολογιστών - τερματικών, σύμφωνα με το σχήμα πελάτης - εξυπηρέτηση. Έκτοτε βελτιώθηκε, έτσι ώστε να καλύπτει και τις ανάγκες των ομοτίμων. Η αρχιτεκτονική SNA οργανώθηκε σε επτά επίπεδα και αποτέλεσε, όπως θα δούμε αργότερα αναλυτικά, το πρότυπο επάνω στο οποίο στηρίχθηκε και η αρχιτεκτονική OSI (Open System Interconnection) του ISO (International Standards Organization).

Η ονομασία των 7 επιπέδων φαίνεται στο σχήμα 5.4, ενώ οι λειτουργίες κάθε επιπέδου περιγράφονται στον πίνακα 5.1.



Σχήμα 5.4: Η αρχιτεκτονική SNA





Επίπεδο	Ονομασία	Λειτουργίες
7	Υπηρεσίες στοιχείων δικτύου	Το επίπεδο εφαρμογών του χρήστη
6	Υπηρεσίες διαχείρισης δεδομένων	Διαχείριση των δεδομένων, κωδικοποίηση - αποκωδικοποίηση των δεδομένων, προετοιμασία των δεδομένων για εκπομπή
5	Έλεγχος ροής	Οργάνωση και ταξινόμηση των δεδομένων για εκπομπή
4	Έλεγχος μετάδοσης	Έλεγχος των κανόνων επικοινωνίας
3	Έλεγχος σύνδεσης	Καθαρισμός της διαδρομής που θα ακολουθήσουν τα δεδομένα, έλεγχος, ρύθμιση του ελέγχου ροής των δεδομένων μέσα στο δίκτυο, κατάρτιση - επανασυγκόλληση των δεδομένων
2	Έλεγχος ζεύξης	Αναγνώριση σφαλμάτων, διόρθωση σφαλμάτων
1	Φυσικό επίπεδο	Έλεγχος της μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων σε ένα κανάλι επικοινωνίας, με σκοπό τη διασφάλιση της σωστής μετάδοσης

Πίνακας 5.1: Η αρχιτεκτονική SNA και οι λειτουργίες των επιπέδων της

### ● NetWare

Η **αρχιτεκτονική NetWare** αναπτύχθηκε από τη *Novell Corporation* και στα τέλη της δεκαετίας του 1980 - αρχές της δεκαετίας του 1990 υπήρξε η πιο δημοφιλής αρχιτεκτονική τοπικών δικτύων. Σχεδιάστηκε με σκοπό να αντικαταστήσει τα μεγάλα συστήματα καταμετρημένης επεξεργασίας των οργανισμών με δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Για το λόγο αυτό κάποιοι ισχυρότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, που έχουν το ρόλο των σταθμών εξυπηρέτησης, παρέχουν ποικίλες υπηρεσίες σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές - πελάτες, όπως υπηρεσίες αρχείων, υπηρεσίες βάσεων δεδομένων κτλ.

Η αρχιτεκτονική *NetWare* οργανώθηκε σε πέντε επίπεδα, για να καλύψει τις ανάγκες επικοινωνίας των υπολογιστών που συνδέονται σε ένα τοπικό δίκτυο. Συγκρίνοντας την αρχιτεκτονική *NetWare* με το μοντέλο αναφοράς *OSI* και το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*, τις δύο σημαντικότερες αρχιτεκτονικές που θα μελετηθούν αναλυτικά στα παρακάτω μαθήματα, παρατηρείται μια ομοιότητα του μοντέλου *NetWare* με το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*, τουλάχιστον όσον αφορά το πλήθος των επιπέδων. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το μοντέλο αναφοράς *NetWare* προηγείται χρονικά του *OSI* και προφανώς δε στηρίζεται σ' αυτό, όπως άλλα μεταγενέστερα μοντέλα αναφοράς. Η ονομασία των 5 επιπέδων φαίνεται στο σχήμα 5.5, ενώ οι λειτουργίες κάθε επιπέδου περιγράφονται στον πίνακα 5.2.



Σχήμα 5.5: Η αρχιτεκτονική NetWare

Επίπεδο	Ονομασία	Πρωτόκολλα του επιπέδου	Λειτουργίες
5	Επίπεδο εφαρμογής	<i>SAP, File Server</i>	Το επίπεδο εφαρμογών του χρήστη
4	Επίπεδο μεταφοράς	<i>NCP, SPX</i>	Έλεγχος των κανόνων επικοινωνίας
3	Επίπεδο δικτύου	<i>IPX</i>	Μεταφορά των δεδομένων από τον αποστολέα στον αποδέκτη, ακόμα και αν βρίσκονται σε διαφορετικά δίκτυα. Έχει την ίδια λειτουργικότητα με το IP, αλλά διαφέρει ως προς το μήκος της διεύθυνσης.
2	Επίπεδο γραμμής δεδομένων	<i>Ethernet, Token Ring, ARCnet</i>	Αναγνώριση σφαλμάτων, διόρθωση σφαλμάτων
1	Φυσικό επίπεδο	<i>Ethernet, Token Ring, ARCnet</i>	Έλεγχος της μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων σε ένα κανάλι επικοινωνίας, με σκοπό τη διασφάλιση της σωστής μετάδοσης

Πίνακας 5.2: Η αρχιτεκτονική Net Ware, τα πρωτόκολλα και οι λειτουργίες των επιπέδων της

### ● AppleTalk

Η αρχιτεκτονική **AppleTalk** αναπτύχθηκε από την εταιρεία *Apple*. Σύμφωνα με τη φιλοσοφία των ανοικτών συστημάτων, που θέλει τους υπολογιστές να επικοινωνούν μεταξύ τους ανεξάρτητα από το λειτουργικό τους σύστημα και τη στοίβα πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούν, η αρχιτεκτονική *AppleTalk* έχει σκοπό τη διασύνδεση των υπολογιστών της *Macintosh* τόσο μεταξύ τους όσο και με τα δίκτυα άλλων κατασκευαστών. Η *Apple*, στα πρότυπα του μοντέλου επιπέδων, ανέπτυξε το μοντέλο αναφοράς *AppleTalk*, το οποίο οργανώθηκε σε έξι επίπεδα.

Η ονομασία των 6 επιπέδων φαίνεται στο σχήμα 5.6, ενώ οι λειτουργίες κάθε επιπέδου περιγράφονται στον πίνακα 5.3.



Σχήμα 5.6: Η αρχιτεκτονική *AppleTalk*



Επίπεδο	Ονομασία	Πρωτόκολλα του επιπέδου	Λειτουργίες
6	Επίπεδο εφαρμογής	<i>AFP, PostScript</i>	Το επίπεδο εφαρμογών του χρήστη
5	Επίπεδο συνόδου	<i>ADSP, ZIP, ASP, PAP</i>	Χορήγηση δικαιώματος στους χρήστες διαφορετικών μηχανημάτων να δημιουργούν συνόδους μεταξύ τους
4	Επίπεδο μεταφοράς	<i>RTMP, AEP, ATP, NBP</i>	Έλεγχος των κανόνων επικοινωνίας
3	Επίπεδο δικτύου	<i>DDP</i>	Ορθή μεταφορά των δεδομένων από τον πομπό στο δέκτη
2	Επίπεδο γραμμής δεδομένων	<i>ELAP, TLAP, LLAP</i>	Αναγνώριση σφαλμάτων, διόρθωση σφαλμάτων
1	Φυσικό επίπεδο	<i>IEEE LANs, LocalTalk</i>	Έλεγχος της μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων σε ένα κανάλι επικοινωνίας, με σκοπό τη διασφάλιση της σωστής μετάδοσης

Πίνακας 5.3: Η αρχιτεκτονική Apple Talk, τα πρωτόκολλα και οι λειτουργίες των επιπέδων της



Σχήμα 5.7: Η αρχιτεκτονική DNA

#### • DNA

**DECnet** (*Digital Equipment Corporation NETwork*) είναι το όνομα των δικτύων της ομώνυμης εταιρείας κατασκευής τους και **DNA** είναι το μοντέλο αναφοράς που χρησιμοποιούν τα εν λόγω δίκτυα, για να επικοινωνήσουν. Η λειτουργία του μοντέλου βασίζεται σε ένα σύστημα επτά επιπέδων κατά το πρότυπο του *OSI*. Η αρχιτεκτονική *DNA* είναι από τις τελευταίες που αναπτύχθηκαν. Είναι ένα εξελίξιμο μοντέλο και έχει εμφανιστεί ως τώρα σε διάφορες εκδόσεις. Η έκδοση IV του *DNA* οργανώθηκε σε επτά επίπεδα, ενώ η έκδοση V έχει πλήρως υιοθετήσει το μοντέλο αναφοράς *OSI*, το οποίο θα εξετάσουμε αναλυτικά στο Μάθημα 5.4.

Η ονομασία των 7 επιπέδων φαίνεται στο σχήμα 5.7, ενώ οι λειτουργίες κάθε επιπέδου περιγράφονται στον πίνακα 5.4.

Επίπεδο	Ονομασία	Λειτουργίες
7	Εφαρμογές χρήστη	Το επίπεδο εφαρμογών του χρήστη, διαχείριση των λειτουργιών του δικτύου
6	Εφαρμογές δικτύου	Διαχείριση και υποστήριξη των εφαρμογών του δικτύου, όπως μεταφορά και πρόσβαση αρχείων, πρόσβαση σε απομακρυσμένο υπολογιστή κτλ.
5	Έλεγχος συνόδου	Αντιστοίχιση ανάμεσα σε λογικά ονόματα και φυσικές διευθύνσεις κ.ά.
4	Από άκρη σε άκρη επικοινωνία	Υποστήριξη της από άκρη σε άκρη επικοινωνίας, ευθύνη για τον κερματισμό και την επανασυγκόλληση των δεδομένων
3	Δρομολόγηση	Επιλογή και αποκατάσταση του δρόμου που θα ακολουθήσουν τα δεδομένα, έλεγχος, ρύθμιση του ελέγχου ροής των δεδομένων μέσα στο δίκτυο
2	Διασύνδεση δεδομένων	Αναγνώριση σφαλμάτων, διόρθωση σφαλμάτων
1	Φυσική σύνδεση	Έλεγχος και υποστήριξη του υλικού επικοινωνίας

Πίνακας 5.4: Η αρχιτεκτονική DNA και οι λειτουργίες των επιπέδων της

- Τέλος, υπάρχουν και άλλες αρχιτεκτονικές οι οποίες ακολουθούν τη φιλοσοφία των επιπέδων και χρησιμοποιήθηκαν ή χρησιμοποιούνται σήμερα, άλλες περισσότερο και άλλες λιγότερο, όπως τα *Windows NT* της Microsoft, το *X.25*, το *XNS*, το *Banyan VINES* κτλ.
- ✓ Πρωτόκολλα για δημόσια και ελεύθερη χρήση που αναπτύσσονται και διατίθενται δωρεάν. Για παράδειγμα, το Υπουργείο Άμυνας της Αμερικής δημιούργησε το *TCP/IP*, για να χρησιμοποιηθεί αρχικά στο δίκτυο *ARPANET* και κατόπιν να διατεθεί δωρεάν σε όλους τους χρήστες του δικτύου, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη δημιουργία του Διαδικτύου (*Internet*).
- ✓ Πρωτόκολλα που αναπτύσσονται από διεθνείς οργανισμούς, όπως είναι ο **ISO** (*International Standards Organization*), η **ITU** (*International Telecommunications Union*), πρώην *CCITT*, και το *IEEE*, με στόχο να προωθήσουν διεθνή και κοινώς αποδεκτά πρωτόκολλα.

Συμπερασματικά, η ταξινόμηση των πρωτοκόλλων περιλαμβάνει τα εξής:

- ✓ **Σχήμα πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης** (*client/server*) και **ομότιμα** (*peer to peer*) **πρωτόκολλα**. Στην πρώτη περίπτωση ο σταθμός εξυπηρέτησης έχει τον έλεγχο της επικοινωνίας. Μόλις επιτευχθεί η επικοινωνία, αυτός είναι υπεύθυνος για τη γραμμή επικοινωνίας και τη μεταφορά των δεδομένων. Αντίθετα, στα ομότιμα πρωτόκολλα δεν υπάρχει αυτή η έννοια του ελέγχου.
- ✓ **Πρωτόκολλα χωρίς σύνδεση** (*connectionless*), **πρωτόκολλα με σύνδεση** (*connection oriented*) και **πρωτόκολλα «στείλε και προσευχήσου»** (*send and pray*). Τα πρωτόκολλα αυτά αντιστοιχούν στους ποικίλους τρόπους με τους οποίους η



πληροφορία μεταφέρεται μεταξύ των χρηστών. Η διαφορά τους έγκειται κυρίως στο διαφορετικό βαθμό αξιοπιστίας της μετάδοσης των δεδομένων (βλ. Μάθημα 5.3).

- ✓ **Συγχρονισμένα και ασυγχρόνιστα πρωτόκολλα** (*synchronous, asynchronous*). Στα ασυγχρόνιστα πρωτόκολλα τα δεδομένα μεταδίδονται ανά ένα δυαδικό ψηφίο στη μονάδα του χρόνου. Στα συγχρονισμένα πρωτόκολλα μια ομάδα από δυαδικά ψηφία μεταδίδεται συνεχώς και ο δέκτης συγχρονίζεται με τον πομπό, ώστε να δεχτεί τα δεδομένα.
- ✓ **Ιεραρχημένα και μονολιθικά πρωτόκολλα**. Τα ιεραρχημένα βασίζονται σε σύγχρονες αρχιτεκτονικές και ακολουθούν το πρότυπο της αυστηρής ιεραρχίας του μοντέλου OSI. Αντίθετα, τα μονολιθικά είναι πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν ένα μόνο επίπεδο, περιοριζόμενα στην αυστηρώς απαραίτητη λειτουργία που χρειάζονται.
- ✓ **Βαριά και ελαφριά πρωτόκολλα** (*heavy, light*). Τα βαριά πρωτόκολλα είναι αυτά που παρέχουν ένα ευρύ πλήθος λειτουργιών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται καθυστερήσεις στη μετάδοση των δεδομένων. Αντίθετα, τα ελαφριά πρωτόκολλα διαθέτουν ελάχιστες λειτουργίες, αλλά δε δημιουργούνται καθυστερήσεις στη μετάδοση των δεδομένων.

### 5.1.5 Μεταφορά δεδομένων μέσω πρωτοκόλλων

Όταν δύο ή περισσότεροι υπολογιστές επικοινωνούν μεταξύ τους, υπάρχει πάντα η πιθανότητα μερικές από τις πληροφορίες που ανταλλάσσουν να χαθούν ή να αλλοιωθούν. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι υπεύθυνα για να ανιχνεύουν την απώλεια ή την αλλοίωση και να αποκαθιστούν τη βλάβη κατά περίπτωση. Συνήθως, όταν ένας υπολογιστής στέλνει πακέτα δεδομένων σε έναν άλλο υπολογιστή, ο δέκτης επιβεβαιώνει τη λήψη των πακέτων στέλνοντας στον αποστολέα μια επιβεβαίωση λήψης (*ACK: Acknowledgment*). Στην περίπτωση που ένα πακέτο χαθεί, τότε ο αποστολέας λαμβάνει αρνητική επιβεβαίωση (*NACK: Not Acknowledgment*), οπότε και ξαναστέλνει το πακέτο.

Και οι δύο περιπτώσεις αφορούν την αποστολή ενός σήματος από το δέκτη στον αποστολέα ότι έλαβε (*ACK*) ή δεν έλαβε (*NACK*) κάποιο συγκεκριμένο πακέτο, αν βέβαια ανιχνεύσει την απώλεια ή την εσφαλμένη λήψη δεδομένων. Σημειώνεται ότι είναι δυνατόν η μη λήψη επιβεβαίωσης για κάποιο πακέτο εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος να ισοδυναμεί με αρνητική επιβεβαίωση. Βέβαια υπάρχουν τεχνικές που διορθώνουν τις απώλειες και τα λάθη, χωρίς να ακολουθείται αυτή η διαδικασία επιβεβαίωσης από το δέκτη. Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται σε δίκτυα στα οποία διαπιστώνεται υψηλή συχνότητα λάθους, της τάξης του  $10^{-5}$ , δηλαδή του 1 στα  $10^5$  δυαδικά ψηφία περίπου.

Τα πρωτόκολλα που επιστρατεύονται, για να αναμεταδώσουν τα δεδομένα που χάθηκαν ή αλλοιώθηκαν, ποικίλλουν ανάλογα με την ποιότητα του καναλιού μετάδο-





σης. Επειδή πρόκειται για μετάδοση σήματος, εφαρμόζονται οι τεχνικές που αναλύθηκαν στο Μάθημα 2.5 (παράγραφος 2.5.3), δηλαδή η τεχνική της άμεσης ή της έμμεσης αναγνώρισης κ.ά.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρωτόκολλο επικοινωνίας, σχήμα πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης, ομότιμα πρωτόκολλα, πρωτόκολλα χωρίς σύνδεση, πρωτόκολλα με σύνδεση, πρωτόκολλα «στείλε και προσευχήσου», συγχρονισμένα πρωτόκολλα, ασυγχρόνιστα πρωτόκολλα, ιεραρχημένα πρωτόκολλα.





## Μάθημα 5.2: Λειτουργίες πρωτοκόλλων

Όπως σημειώθηκε στο προηγούμενο μάθημα, η επικοινωνία στα δίκτυα υπολογιστών καθορίζεται και ελέγχεται από κανόνες οι οποίοι ενεργοποιούνται κατά τη σύνδεση. Αν και κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας διαθέτει το δικό του σύνολο κανόνων, οι βασικές λειτουργίες που αναπτύσσει έχουν ομαδοποιηθεί και σαφώς καθορίζεται ως ακολούθως:

- ✓ Κατάτμηση μηνυμάτων
- ✓ Επανασύνθεση
- ✓ Ενθυλάκωση
- ✓ Έλεγχος σύνδεσης
- ✓ Έλεγχος ροής
- ✓ Έλεγχος σφαλμάτων
- ✓ Τμηματοποίηση
- ✓ Διευθυνσιοδότηση
- ✓ Προτεραιότητα διεκπεραίωσης
- ✓ Ασφάλεια

Οι διακριτές αυτές λειτουργίες θα αναπτυχθούν στη συνέχεια λεπτομερέστερα, ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο εξασφαλίζεται η επικοινωνία.

### 5.2.1 Κατάτμηση μηνυμάτων

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, οι πληροφορίες που στέλνονται από έναν υπολογιστή σε κάποιον άλλο χωρίζονται σε μικρότερες ομάδες δεδομένων, το μέγεθος των οποίων ποικίλλει. Αυτές οι τεμαχισμένες πληροφορίες ονομάζονται **μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου** (*PDUs: Protocol Data Units*), ενώ η λειτουργία τεμαχισμού ονομάζεται **κατάτμηση** (*segmentation* ή *fragmentation*) μηνυμάτων. Το μέγεθος των *PDUs* μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το δίκτυο, το πρωτόκολλο επικοινωνίας ή και την επιμέρους συμφωνία των χρηστών. Για παράδειγμα, ένα πρωτόκολλο μπορεί να ορίζει το μέγεθος της *PDU* σε 8.000 χαρακτήρες, όμως ένας χρήστης μπορεί να το περιορίσει στο μέγεθος ενός τυπικού πακέτου, δηλαδή σε 1.000 περίπου χαρακτήρες. Η κατάτμηση πραγματοποιείται για διάφορους λόγους, όπως είναι:

- ✓ Ο ευκολότερος έλεγχος της μετάδοσης των δεδομένων.
- ✓ Η σαφώς καλύτερη συνολική απόδοση του δικτύου, ειδικότερα στις περιπτώσεις δικτύων πολλαπλής πρόσβασης με μικρό μέγεθος *PDU*.
- ✓ Η συμβατότητα με το υλικό, τα ποικίλα λειτουργικά συστήματα και τα διεθνή πρότυπα.
- ✓ Η ευκολότερη διόρθωση τυχόν σφαλμάτων που παρουσιάζονται κατά τη μετά-

δοση των δεδομένων ή κατά την επαναμετάδοση των λανθασμένων *PDU*s.

- ✓ Η ανάγκη για μικρή παρουσία των *PDU*s στο κανάλι επικοινωνίας. Σημειώνεται ότι το μέγεθος των *PDU*s παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του καναλιού επικοινωνίας, ενώ ο ακριβής καθορισμός του αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερης μελέτης.

## 5.2.2 Επανασύνθεση

Η **επανασύνθεση** (*re-assembly*) είναι η αντίθετη λειτουργία της κατάτμησης. Οι *PDU*s του ίδιου μηνύματος, μέσω ειδικών λειτουργιών, επανασυντίθενται, όταν φθάσουν στον προορισμό τους, προκειμένου να δημιουργήσουν το αρχικό μήνυμα.

## 5.2.3 Ενθυλάκωση

Μια πρόσθετη λειτουργία των πρωτοκόλλων αφορά την **ενθυλάκωση** (*encapsulation*), δηλαδή την προσθήκη διάφορων πληροφοριών ελέγχου στις *PDU*s (σχήμα 5.8). Οι πληροφορίες ελέγχου είναι συνήθως τριών κατηγοριών και αφορούν:

- ✓ **Διευθύνσεις**, δηλαδή τη διεύθυνση του αποστολέα και / ή τη διεύθυνση του παραλήπτη.
- ✓ **Χαρακτήρες ανίχνευσης λαθών**. Μέσα στις *PDU*s υπάρχει συνήθως το πεδίο *FCS* (*Frame Check Sequence*) που ακολουθεί το πεδίο των δεδομένων (Μάθημα 2.5). Όταν οι *PDU*s φθάσουν στο δέκτη, γίνονται διάφοροι υπολογισμοί και το αποτέλεσμα συγκρίνεται με το *FCS*. Αν κάποια δυαδικά ψηφία από το πεδίο *FCS* έχουν χαθεί ή καταστραφεί, το αποτέλεσμα θα είναι διαφορετικό, με συνέπεια ο δέκτης να απορρίψει το πακέτο και να στείλει μήνυμα επανεκπομπής στον πομπό.
- ✓ **Πρόσθετους χαρακτήρες συγχρονισμού και ελέγχου**. Οι χαρακτήρες που προστίθενται στις *PDU*s αφορούν τις επανεκπομπές, το συγχρονισμό και τους ελέγχους.



Σχήμα 5.8: Ενθυλάκωση δεδομένων



### 5.2.4 Έλεγχος σύνδεσης

Η λειτουργία **ελέγχου σύνδεσης** (*connection control*) των πρωτοκόλλων περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες προκειμένου να επιτευχθεί η σύνδεση μεταξύ δύο υπολογιστών. Για την πραγματοποίηση της σύνδεσης ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- ✓ εγκατάσταση σύνδεσης,
- ✓ ανταλλαγή πληροφοριών,
- ✓ αποκατάσταση σύνδεσης σε περιπτώσεις σφαλμάτων ή άλλων διακοπών,
- ✓ τερματισμός και απενεργοποίηση της σύνδεσης.

### 5.2.5 Έλεγχος ροής

Με τη λειτουργία του **ελέγχου ροής** (*flow control*) καθορίζεται ο ανώτατος ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων στον παραλήπτη. Αναλυτικότερα, η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκείνες σύμφωνα με τις οποίες η ροή των *PDU*s σταματά ή περιορίζεται, όταν ο δέκτης έχει γεμίσει από πακέτα και δεν είναι σε θέση να δεχτεί άλλα. Οι συνηθέστερες τεχνικές ελέγχου ροής (Μάθημα 2.5) είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Η τεχνική σύμφωνα με την οποία ο δέκτης πρέπει πρώτα να επιβεβαιώσει την ορθή λήψη ενός πακέτου, πριν ο πομπός στείλει το επόμενο πακέτο (*stop and wait ARQ*).
- ✓ Η τεχνική του παραθύρου, σύμφωνα με την οποία ο πομπός αποστέλλει έναν ορισμένο αριθμό πακέτων χωρίς να περιμένει επιβεβαίωση σωστής λήψης από το δέκτη.
- ✓ Η τεχνική σύμφωνα με την οποία ο δέκτης στέλνει αρνητική απάντηση ή δεν απαντά στην κλήση του πομπού.

### 5.2.6 Έλεγχος σφαλμάτων

Η πιο βασική ίσως λειτουργία των πρωτοκόλλων είναι αυτή της προστασίας των *PDU*s από λανθασμένες αποστολές. Το σύστημα πρέπει να ανιχνεύει τις διακοπές στη μετάδοση των δεδομένων, να εντοπίζει τυχόν απώλειες ή, σε μερικές περιπτώσεις, να εντοπίζει δεδομένα που στάλθηκαν περισσότερες από μία φορές και τέλος, αν είναι δυνατόν, να διορθώνει τα λάθη. Υπάρχουν δύο μέθοδοι διόρθωσης (Μάθημα 2.5):

- ✓ Η μέθοδος της επανεκπομπής μηνυμάτων, κατά την οποία, αφού εντοπισθεί το σφάλμα, ζητείται από τον πομπό να επαναμεταδώσει την εσφαλμένη *PDU* (*ARQ*).
- ✓ Η μέθοδος της διόρθωσης, σύμφωνα με την οποία ο δέκτης έχει την ικανότητα να διορθώσει μόνος του την εσφαλμένη *PDU*, χωρίς να ζητήσει από τον πομπό να την ξαναστείλει (*AEC*).



### 5.2.7 Τμηματοποίηση

Στη λειτουργία αυτή γίνεται η αριθμοδότηση των *PDUs*, ώστε αυτές να ληφθούν σωστά από το δέκτη. Αρκετά δίκτυα έχουν πολλές επιλογές διαδρομών τις οποίες μπορούν να ακολουθήσουν οι *PDUs* προκειμένου να φθάσουν στο δέκτη, αφού αυτές φτάνουν στο δέκτη με διαφορετική σειρά από αυτήν που έφυγαν από τον πομπό. Επομένως είναι ευθύνη των πρωτοκόλλων του δέκτη να επανασυναρμολογήσουν το αρχικό μήνυμα, τοποθετώντας τις *PDUs* στη σωστή σειρά.

### 5.2.8 Διευθυνσιοδότηση

Κάθε υπολογιστής, για να επικοινωνήσει, πρέπει να είναι εφοδιασμένος με μία μοναδική διεύθυνση. Η διεύθυνση αυτή τον ξεχωρίζει από τους άλλους υπολογιστές, καθώς δείχνει ποιος στέλνει και ποιος λαμβάνει τις *PDUs*. Η πιο γνωστή μέθοδος διευθυνσιοδότησης είναι η *IP*, που χρησιμοποιείται από το Διαδίκτυο και για την οποία θα γίνει αναλυτική αναφορά στο Μάθημα 5.6. Η διεύθυνση αυτή δίνει τη δυνατότητα στο Διαδίκτυο να παραδώσει σωστά τις *PDUs* που αντιστοιχούν σε κάθε ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Η διεύθυνση **IP** αποτελεί την ταχυδρομική διεύθυνση ενός υπολογιστή που συνδέεται στο Διαδίκτυο. Οι *IP* διευθύνσεις του Διαδικτύου έχουν μήκος 4 bytes, π.χ. 150. 140. 187.5 1.

### 5.2.9 Προτεραιότητα διεκπεραίωσης

Είναι δυνατόν οι *PDUs* που μεταδίδονται να έχουν διαφορετική προτεραιότητα μετάδοσης. Αν κάποιες *PDUs* συμβαίνει να έχουν υψηλότερη προτεραιότητα διεκπεραίωσης από κάποιες άλλες, το δίκτυο είναι υποχρεωμένο να εξυπηρετήσει πρώτα αυτές και σε δεύτερη φάση όσες έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα. Τέτοια περίπτωση είναι η προτεραιότητα των μηνυμάτων του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, δηλαδή η αποστολή κάποιου ηλεκτρονικού μηνύματος με κανονική (*normal*), πολύ υψηλή (*higher*) ή πάρα πολύ υψηλή (*highest*) προτεραιότητα.

### 5.2.10 Ασφάλεια

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι υποχρεωμένα να εξασφαλίσουν τη μέγιστη ασφάλεια των μηνυμάτων από παρεμβολές, αλλοιώσεις, υποκλοπές και γενικά από οτιδήποτε μπορεί να επηρεάσει την ορθότητά τους. Πολλές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η μεταφορά των δεδομένων. Τα τελευταία χρόνια η έρευνα σ' αυτό τον τομέα έχει ενταθεί, ιδιαίτερα με την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου (*e-commerce*).





### 5.2.11 Συγχρονισμός

Σε μια συνεχή ροή δυαδικών ψηφίων οι δέκτες πρέπει να είναι σε θέση να καθορίζουν τη θέση του πρώτου δυαδικού ψηφίου, του πρώτου χαρακτήρα, του πρώτου πακέτου, καθώς και του πλαισίου (*PDU*s), έτσι ώστε να μπορούν να διαγράψουν την πρόσθετη πληροφορία (*overhead*) ελέγχου με την οποία επιβαρύνονται τα δεδομένα κατά τη δημιουργία του αρχικού μηνύματος.



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Κατάτμηση μηνυμάτων, επανασύνθεση, ενθυλάκωση, τμηματοποίηση, διευθυνσιοδότηση, προτεραιότητα διεκπεραίωσης, έλεγχος σύνδεσης, έλεγχος ροής, έλεγχος σφαλμάτων, ασφάλεια, συγχρονισμός.

## Μάθημα 5.3: Διεπαφές και υπηρεσίες δικτύων

### 5.3.1 Διεπαφές

Όπως είναι γνωστό, σε ένα σύστημα επιπέδων επικοινωνίας κάθε επίπεδο επιτελεί ορισμένες λειτουργίες και προσφέρει πρωτογενείς υπηρεσίες στο αμέσως ανώτερό του μέσω μιας **διεπαφής**. Επειδή οι διεπαφές των επιπέδων είναι αυτές που καθορίζουν την ποιότητα και την ποσότητα της επικοινωνίας, είναι σημαντικό να ορίζονται με ευκρίνεια από τους κατασκευαστές. Για παράδειγμα, εισάγοντας τις διεπαφές μεταξύ των επιπέδων, ένα δίκτυο πέντε επιπέδων μπορεί να παρουσιαστεί όπως στο σχήμα 5.9.



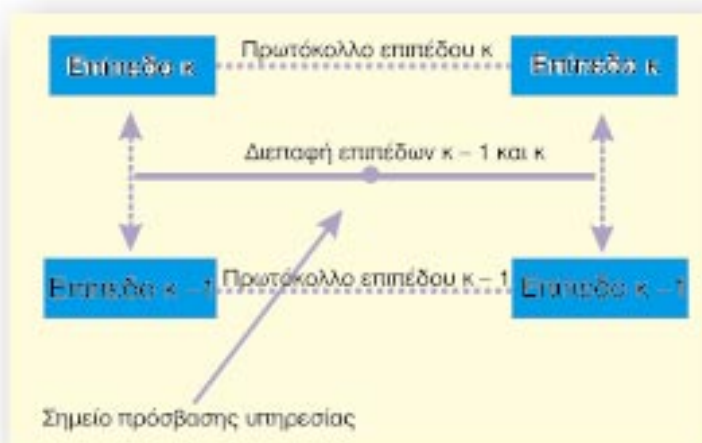
Σχήμα 5.9: Δίκτυο πέντε επιπέδων (επίπεδα - πρωτόκολλα - διεπαφές)

Όπως συνήθως συμβαίνει στα υπολογιστικά συστήματα, τα στοιχεία που καθορίζουν τη λειτουργία ενός επιπέδου είναι δύο ειδών: το υλικό, όπως είναι κάποιο κύκλωμα, και το λογισμικό, όπως είναι κάποιος κώδικας. Για να μπορεί ένα επίπεδο να προσφέρει τις υπηρεσίες του στο αμέσως ανώτερό του, είναι ενδεχόμενο να χρησιμοποιεί υπηρεσίες που του προσφέρονται από το αμέσως κατώτερό του. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από το ένα επίπεδο στο άλλο μπορούν να είναι διάφορων κατηγο-



ριών, όπως, για παράδειγμα, ακριβή και γρήγορη επικοινωνία ή φτηνή και αργή.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.10, οι υπηρεσίες κάποιου επιπέδου στο αμέσως ανώτερό του προσφέρονται στα **σημεία πρόσβασης υπηρεσίας** (SAPs: *Service Access Points*). Τα σημεία πρόσβασης της υπηρεσίας βρίσκονται επάνω στη διεπαφή των δύο επιπέδων.



Σχήμα 5.10: Σημεία πρόσβασης υπηρεσίας

### 5.3.2 Υπηρεσίες

Ένα σύστημα επικοινωνίας χρειάζεται απαραίτητα μία τουλάχιστον υπηρεσία με σύνδεση. Η υπηρεσία αυτή είναι προγραμματισμένη να επιβεβαιώνει ότι τα δεδομένα που στάλθηκαν από τον πομπό παραλήφθηκαν πράγματι από το δέκτη, δηλαδή ότι δεν υπήρξαν απώλειες δεδομένων για οποιονδήποτε λόγο. Σημειώνεται ότι η απώλεια δεδομένων κατά τη διέλευση τους μέσα από το δίκτυο, η οποία συμβαίνει είτε λόγω καταστροφής τους είτε λόγω ανεπανόρθωτα λανθασμένης λήψης τους, καθιστά μια υπηρεσία μη αξιόπιστη, δηλαδή χαρακτηρίζει την ποιότητά της. Επομένως κάποιες υπηρεσίες θεωρούνται λιγότερο αξιόπιστες από κάποιες άλλες, ανάλογα με τον όγκο των δεδομένων που χάνουν. Οι πιο αξιόπιστες δε χάνουν ποτέ δεδομένα και συνήθως είναι αυτές που ο πομπός λαμβάνει μια επιβεβαίωση από το δέκτη ότι πράγματι έλαβε τα δεδομένα που εκείνος έστειλε. Όμως η συνεχής επιβεβαίωση λήψης δημιουργεί καθυστερήσεις, αφού αυξάνει την ποσότητα των δεδομένων που περιμένουν να μεταβιβαστούν από το ένα μέρος στο άλλο, μειώνοντας έτσι την απόδοση του όλου συστήματος επικοινωνίας. Οι πλεοναστικές αυτές πληροφορίες, αν και είναι πολύ



χρήσιμες για την αξιόπιστη μετάδοση των πληροφοριών, στην πράξη όμως δεν ενδιαφέρουν το χρήστη.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται κάθε φορά από το ένα επίπεδο επικοινωνίας στο άλλο εξαρτώνται και από τις ανάγκες των χρηστών για αξιόπιστη επικοινωνία. Για παράδειγμα, κατά τη μεταφορά ενός αρχείου από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή σε έναν άλλο χρειαζόμαστε αξιόπιστη επικοινωνία, γιατί η απώλεια ακόμα και ελάχιστων δυαδικών ψηφίων ίσως να αποδειχτεί καταστροφική για την ολοκληρωμένη και σωστή μεταφορά του αρχείου. Στην περίπτωση όμως της οπτικής τηλεδιάσκεψης ή της τηλεφωνικής επικοινωνίας, η απώλεια κάποιων πλαισίων εικόνας ή κάποιων λέξεων, αντίστοιχα, δεν αποτελεί καταστροφή, αφού αυτό που ενδιαφέρει περισσότερο είναι ο ρυθμός μετάδοσης και όχι η απόλυτη ακρίβεια των δεδομένων που μεταφέρονται.



Ένα επίπεδο μπορεί να προσφέρει στο ανώτερό του επίπεδο δύο ειδών υπηρεσίες:

- ✓ **προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (*COSs: Connection Oriented Services*) και
- ✓ **μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (*CLSs: ConnectionLess Services*).

Οι παραπάνω υπηρεσίες λειτουργούν και με ορισμένες παραλλαγές, που είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **επιβεβαιωμένα μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (*ALSSs: Acknowledged connectionLess Services*) και
- ✓ **ανεπιβεβαίωτα προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (*UOSSs: Unconfirmed connection Oriented Services*).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, για να επικοινωνήσουν δύο μέρη, απαιτείται να συμφωνήσουν τόσο στην κατηγορία της υπηρεσίας όσο και στο πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί για να προσφέρει αυτή την υπηρεσία.

### 5.3.2.1 Προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες

Οι **προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (*COSs: Connection Oriented Services*) διακρίνονται σε υπηρεσίες με **σύνδεση** και σε υπηρεσίες **νοητού κυκλώματος** (*virtual circuit*). Οι υπηρεσίες αυτές βασίζονται στις αρχές του τηλεφωνικού συστήματος, σύμφωνα με το οποίο, πριν αρχίσει η μετάδοση των δεδομένων, απαιτείται να έχει αποκατασταθεί η μεταξύ των δύο μερών σύνδεση με ένα κανάλι επικοινωνίας.

#### Παράδειγμα II

Παράδειγμα υπηρεσίας με σύνδεση είναι η πραγματοποίηση μιας τηλεφωνικής συνομιλίας (σχήμα 5.11). Η επικοινωνία μεταξύ των δύο συνομιλητών καθίσταται εφικτή, όταν εξασφαλιστεί η σύνδεση, από άκρο σε άκρο, όλων των επιμέρους τμημάτων της διαδρομής. Οι επιμέρους συνδέσεις παραμένουν ενεργές σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας, έστω και αν στην πράξη δε μεταδίδονται δεδομένα συνεχώς.



Σχήμα 5.11: Τηλεφωνική επικοινωνία προσανατολισμένη στη σύνδεση

### 5.3.2.2 Μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες

Οι **μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (CLSSs: *ConnectionLess Services*) δεν απαιτούν την εγκατάσταση κάποιας συγκεκριμένης από άκρο σε άκρο γραμμής επικοινωνίας. Οι υπηρεσίες αυτές έχουν βασιστεί στις αρχές του ταχυδρομικού συστήματος.

#### Παράδειγμα III

Το δέμα που αποστέλλεται ταχυδρομικά σε κάποιον πρέπει να αναγράφει την πλήρη διεύθυνσή του. Για να φτάσει στον παραλήπτη, ακολουθεί μια διαδρομή που δεν είναι απαραίτητο να είναι προκαθορισμένη από την αρχή, θα πρέπει όμως να είναι η όσο το δυνατόν συντομότερη. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση μιας υπηρεσίας χωρίς σύνδεση. Το πακέτο δεδομένων πρέπει να εφοδιαστεί με τα στοιχεία διεύθυνσης του παραλήπτη και να αποσταλεί, χωρίς να είναι προκαθορισμένη η διαδρομή που θα ακολουθήσει.

Σημειώνεται ότι ο παραλήπτης δε γνωρίζει για την αποστολή του δέματος. Αν το δέμα χαθεί, ο μόνος που μπορεί να κάνει κάτι, για να μάθει αν έφτασε στον προορισμό του, είναι ο αποστολέας. Για να περιοριστούν λοιπόν οι απώλειες, θα πρέπει το δέμα να φέρει πλήρη στοιχεία με τη διεύθυνση του παραλήπτη.

Επιπλέον στην περίπτωση των δικτύων θα πρέπει να ανιχνεύονται τα λάθη που ίσως παρουσιαστούν κατά τη μεταφορά και, αν είναι δυνατόν, να διορθώνονται αυτόματα. Τέλος, αν αποσταλούν ταυτόχρονα και από το ίδιο σημείο δύο ή περισσότερα πακέτα ενός μηνύματος, δεν είναι βέβαιο ότι θα φθάσουν ταυτόχρονα στον παραλήπτη ο οποίος οφείλει να επανασυναρμολογήσει το μήνυμα.





### 5.3.2.3 Επιβεβαιωμένα μη προσανατολισμένες σύνδεση υπηρεσίες στη

Οι **επιβεβαιωμένα μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (ALSs: *Acknowledged connectionLess Services*) είναι παρόμοιες με τις υπηρεσίες χωρίς σύνδεση με τη διαφορά ότι ο παραλήπτης επιβεβαιώνει τον αποστολέα ότι πράγματι έλαβε ό,τι του εστάλη. Συνήθως οι υπηρεσίες αυτές προσφέρονται από συστήματα με πολύ μικρή πιθανότητα εσφαλμένης μετάδοσης, τα οποία διαθέτουν τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία.

#### Παράδειγμα IV

Οι υπηρεσίες αυτές βασίζονται στο ταχυδρομικό σύστημα, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι ο παραλήπτης ειδοποιεί με κάποιον τρόπο τον αποστολέα ότι πράγματι έλαβε το φάκελο.

### 5.3.2.4 Ανεπιβεβαίωτα προσανατολισμένες σύνδεση υπηρεσίες στη

Οι **ανεπιβεβαίωτα προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες** (UOSs: *Unconfirmed connection Oriented Services*) αναφέρονται, με χιούμορ, και ως υπηρεσίες «**στείλε και προσευχήσου**» (*send and pray*).

Πρωτοπαρουσιάστηκαν από την IBM, η οποία θεωρούσε ότι για τη μεταφορά των δεδομένων θα έπρεπε να αποκατασταθεί πρώτα ένα κανάλι επικοινωνίας. Η διαφορά με τις υπηρεσίες με σύνδεση είναι ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση ο αποστολέας ζητά σύνδεση και στέλνει τα δεδομένα ανεξάρτητα από την κατάσταση που μπορεί να βρίσκεται ο παραλήπτης εκείνη τη στιγμή. Δεν περιμένει δηλαδή από τον παραλήπτη να επιβεβαιώσει ότι είναι διαθέσιμος για να επικοινωνήσει.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Διεπαφή, σημείο πρόσβασης υπηρεσίας, προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες, μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες, επιβεβαιωμένα μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες, ανεπιβεβαίωτα προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες, νοητό κύκλωμα.





## Μάθημα 5.4: Μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων

### 5.4.1 Εισαγωγή

Το **μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων** (*OSI - RM: Open Systems Interconnection - Reference Model*) αναπτύχθηκε από το διεθνή οργανισμό τυποποίησης **ISO** (*International Standards Organization*) και ονομάστηκε έτσι, γιατί αποτέλεσε τη βάση αναφορών και το πλαίσιο καθορισμού των προτύπων διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων. Στόχος της ανάπτυξης αυτού του μοντέλου ήταν η δυνατότητα επικοινωνίας των συστημάτων που προέρχονταν από διαφορετικούς κατασκευαστές και η υποστήριξη εφαρμογών κατανεμημένης επεξεργασίας, ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο υλικό και λογισμικό.

Το μοντέλο αναφοράς *OSI* αποτελείται από επτά ανεξάρτητα μεταξύ τους **επίπεδα** ή **στρώματα** (*layers*), καθένα από τα οποία υλοποιεί ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 5.2, το πρωτόκολλο κάθε επιπέδου επιτελεί ένα σύνολο λειτουργιών, ενώ όμοιες λειτουργίες ομαδοποιούνται και επιτελούνται στο ίδιο επίπεδο. Ο ρόλος κάθε λειτουργίας είναι αυστηρά προσδιορισμένος και περιγράφεται σε διεθνή πρότυπα (συστάσεις ή προδιαγραφές).

Το μοντέλο αναφοράς *OSI* ακολουθεί την **αρχιτεκτονική των στρωμάτων ή επιπέδων** (*layered architecture*), σύμφωνα με την οποία οι λειτουργίες του ανοικτού συστήματος στο οποίο αναφέρεται διαμοιράζονται σε ένα σύνολο κατακόρυφα διαρθρωμένων επιπέδων. Κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του αμέσως χαμηλότερου επιπέδου, ενώ παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως υψηλότερο από αυτό επίπεδο. Ο αριθμός των επιπέδων είναι τέτοιος, ώστε η αρχιτεκτονική να παραμένει απλή και διακριτές λειτουργίες να τοποθετούνται σε διαφορετικά επίπεδα.

Το σύνολο των επιπέδων που υλοποιούνται στο μοντέλο αναφοράς *OSI*, αρχίζοντας από το χαμηλότερο (επίπεδο 1) και προχωρώντας προς το υψηλότερο (επίπεδο 7), είναι το ακόλουθο:

- ✓ **Επίπεδο 1 ή φυσικό επίπεδο** (*L1: physical layer*). Αναλαμβάνει τη μεταφορά των σημάτων στο μέσο μετάδοσης. Το επίπεδο αυτό καθορίζει τις λειτουργίες του μέσου μετάδοσης.
- ✓ **Επίπεδο 2 ή επίπεδο γραμμής δεδομένων** (*L2: data link layer*). Αναλαμβάνει την προσαρμογή και τη μεταφορά των δεδομένων στο κανάλι μετάδοσης. Παραδίδει τα δεδομένα στο *L1* προκειμένου να μεταδοθούν.
- ✓ **Επίπεδο 3 ή επίπεδο δικτύου** (*L3: network layer*). Είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες δρομολόγησης και διευθυνσιοδότησης.
- ✓ **Επίπεδο 4 ή επίπεδο μεταφοράς** (*L4: transport layer*). Αναλαμβάνει, χρησιμο-

ποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων επιπέδων, τη μεταφορά δεδομένων απ' άκρη σ' άκρη στο δίκτυο.

- ✓ **Επίπεδο 5 ή επίπεδο συνόδου (L5: session layer).** Ελέγχει τη δημιουργία και τον τερματισμό των συνδέσεων του L4.
- ✓ **Επίπεδο 6 ή επίπεδο παρουσίασης (L6: presentation layer).** Αναλαμβάνει τη μορφοποίηση και την κωδικοποίηση των δεδομένων.
- ✓ **Επίπεδο 7 ή επίπεδο εφαρμογής (L7: application layer).** Πρόκειται για την εφαρμογή που εμφανίζεται στο χρήστη (το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί).

Στο σχήμα 5.12 παρουσιάζονται σχηματικά τα επτά επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI. Τα L1 έως L3 αφορούν τις υπηρεσίες - λειτουργίες που προσφέρονται από το δίκτυο, ενώ τα L4 έως L7 είναι προσανατολισμένα στις λειτουργίες της εφαρμογής του χρήστη. Σε κάθε τερματική διάταξη ή σταθμό εργασίας ενός δικτύου που ακολουθεί την αρχιτεκτονική επιπέδων του μοντέλου αναφοράς OSI υλοποιούνται και τα επτά επίπεδα. Η υλοποίηση γίνεται είτε με τη μορφή υλικού, και αφορά τα δύο χαμηλότερα επίπεδα, είτε με τη χρήση λογισμικού, και αφορά τα υπόλοιπα. Αντίθετα, σε κάθε κόμβο του δικτύου υλοποιούνται μόνο τα επίπεδα που σχετίζονται με το δίκτυο, δηλαδή το L1 έως το L3.

Οι γενικές αρχές επάνω στις οποίες βασίστηκε η δημιουργία των επιπέδων αυτών είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Ένα επίπεδο πρέπει να δημιουργείται εκεί που χρειάζεται διαφορετικός βαθμός αφαίρεσης.
- ✓ Κάθε επίπεδο πρέπει να επιτελεί μια αυστηρά προσδιορισμένη λειτουργία.
- ✓ Η λειτουργία κάθε επιπέδου πρέπει να επιλέγεται με βάση τα καθορισμένα διεθνώς (τυποποιημένα) πρωτόκολλα.
- ✓ Η επιλογή των ορίων των επιπέδων πρέπει να γίνεται με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ροής των πληροφοριών μέσω των διεπαφών.
- ✓ Ο αριθμός των επιπέδων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος, ώστε διαφορετικές λειτουργίες να μη χρειάζεται να τοποθετηθούν μαζί στο ίδιο επίπεδο, χωρίς να υπάρχει απόλυτη ανάγκη, και αρκετά μικρός, ώστε η αρχιτεκτονική των επιπέδων να μη γίνεται πολύπλοκη.

Ο σχεδιασμός των επιπέδων είναι μια αρκετά πολύπλοκη υπόθεση και, προκειμένου να απλοποιηθεί, πρέπει να οριστούν με ακρίβεια οι λειτουργίες κάθε επιπέδου. Μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες λειτουργίες αφορούν:

- **Την εγκατάσταση σύνδεσης.** Κάθε επίπεδο πρέπει να έχει ένα μηχανισμό για την εγκατάσταση της σύνδεσης.
- **Τον τερματισμό σύνδεσης.** Σχεδόν πάντα πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός τερματισμού της σύνδεσης.



Σχήμα.5.12: Μοντέλο αναφοράς OSI επτά επιπέδων



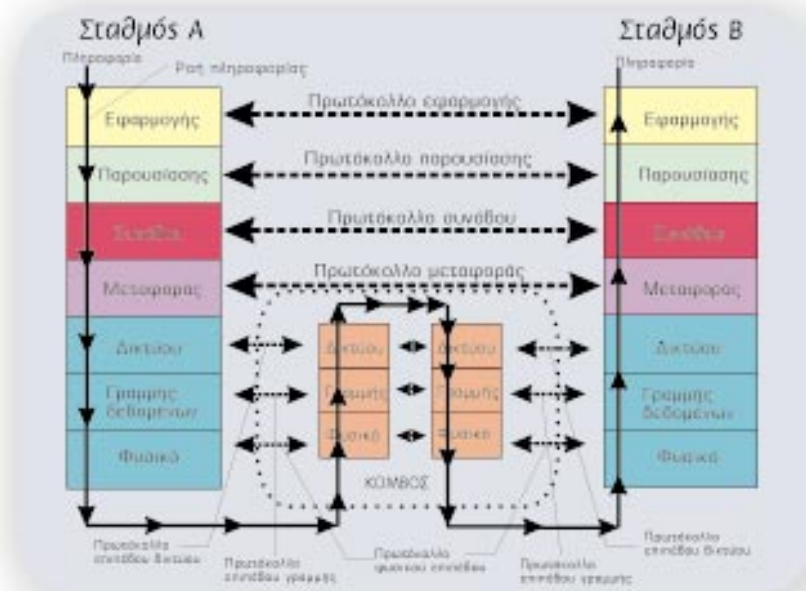
- **Τη διευθυνσιοδότηση.** Επειδή υπάρχουν πολλοί προορισμοί, πρέπει να καθορίζεται ένα σύστημα διευθυνσιοδότησης.
- **Τον έλεγχο κατεύθυνσης.** Είναι απαραίτητος ο καθορισμός της κατεύθυνσης των δεδομένων, δηλαδή μονόπλευρη, ημίπλευρη ή αμφίπλευρη επικοινωνία.
- **Τον έλεγχο λαθών.** Πρέπει να καθορίζεται το επίπεδο στο οποίο γίνεται ο έλεγχος των λαθών της επικοινωνίας και η αποκατάστασή τους.
- **Την τμηματοποίηση.** Πρόκειται για τη διαδικασία αριθμοδότησης των *PDUs* που φτάνουν στο δέκτη προκειμένου αυτός να θέσει σε σειρά και να επανασυνθέσει τα μηνύματα.
- **Τον έλεγχο ροής.** Είναι απαραίτητος ο καθορισμός τεχνικών που δε θα επιτρέπουν σε ένα δέκτη να γεμίσει από μηνύματα που προέρχονται από άλλους χρήστες.
- **Την κατάτμηση - επανασύνθεση.** Πρόκειται για τεχνικές κατάτμησης των δεδομένων σε κάποια επίπεδα του πομπού και επανασύνθεσής τους στα αντίστοιχα επίπεδα του δέκτη.
- **Τη δρομολόγηση.** Είναι απαραίτητο να καθορίζονται οι τεχνικές δρομολόγησης των δεδομένων, ώστε να φτάνουν σωστά και γρήγορα στον προορισμό τους.



Τα αντίστοιχα επίπεδα των επικοινωνούντων σταθμών ονομάζονται και **ομότιμα επίπεδα** (*peer layers*). Τα ομότιμα επίπεδα ανταλλάσσουν δεδομένα χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες όλων των χαμηλότερων προς αυτά επιπέδων.

## 5.4.2 Μετάδοση δεδομένων στο OSI

Για να ανταλλάξουν δεδομένα δύο ή περισσότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, πρέπει να λειτουργούν με κοινά πρωτόκολλα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται μια κοινή γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο η επικοινωνία μεταξύ των αντίστοιχων επιπέδων δύο υπολογιστών έχει νόημα. Όμως, στην πραγματικότητα, δε μεταφέρονται απευθείας τα δεδομένα από το επίπεδο του ενός μηχανήματος στο αντίστοιχο επίπεδο (ομότιμο) του άλλου μηχανήματος. Εκείνο το οποίο συμβαίνει είναι η διαδοχική μετάδοση των δεδομένων από το ένα επίπεδο στο αμέσως χαμηλότερό του, μέχρι να φτάσουν αυτά στο φυσικό επίπεδο, να περάσουν στο άλλο μηχάνημα και να συνεχίσουν την προς τα επάνω ροή τους (σχήμα 5.13). Εδώ αξίζει να υπενθυμίσουμε την αναλογία του παραδείγματος της παραγράφου 5.1.3, που αφορά την προσπάθεια επικοινωνίας των επιχειρηματιών που δε μιλούν την ίδια γλώσσα.



Σχήμα 5.13: Επικοινωνία σταθμών σε δίκτυο μοντέλου αναφοράς OSI

Κάθε επίπεδο επικοινωνεί μόνο με τα γειτονικά του επίπεδα (υψηλότερο και χαμηλότερο) μέσω μιας **διεπαφής**, η οποία καθορίζει τις λειτουργίες που επιτελεί και τις υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο. Η επικοινωνία αυτή γίνεται μόνο μέσω ενός ή περισσότερων σημείων πρόσβασης υπηρεσιών (SAPs).

Στο σχήμα 5.13 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επικοινωνίας μεταξύ δύο σταθμών σε ένα δίκτυο που είναι συμβατό με το μοντέλο αναφοράς OSI. Ας υποθέσουμε ότι ο σταθμός A μεταδίδει στο σταθμό B. Δηλαδή το L7 του σταθμού A ανταλλάσσει δεδομένα με το L7 του σταθμού B, με το οποίο είναι ομότιμο, χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων έξι επιπέδων. Ομοίως το L4 του σταθμού A είναι ομότιμο με το L4 του σταθμού B και ανταλλάσσουν δεδομένα χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων τριών επιπέδων. Οι επικοινωνίες αυτού του είδους ονομάζονται **ομότιμες επικοινωνίες** και θεωρούνται ως **νοητές επικοινωνίες**.

Σημειώνεται ότι τα δεδομένα, καθώς διαπερνούν κάθε επίπεδο προκειμένου να φτάσουν στο φυσικό επίπεδο και να μεταδοθούν από το κανάλι, υφίστανται διαφορετική επεξεργασία. Η επεξεργασία αυτή, που βασίζεται στην ιεραρχική δομή του συνόλου των πρωτοκόλλων του OSI, έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζουν η δομή και το περιεχόμενο των δεδομένων, καθώς αυτά διαπερνούν τα επίπεδα σε όλο το μήκος της διαδρομής από τον αποστολέα μέχρι τον παραλήπτη.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.14, ο πομπός, μέσω της εφαρμογής που χρησιμοποιεί, δίνει τα αρχικά δεδομένα στο επίπεδο εφαρμογής, το οποίο προσθέτει σ' αυτά πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν μόνο από το ομότιμο επίπεδο εφαρμογής του δέκτη. Αυτές οι πληροφορίες περιέχονται σε μια επικεφαλίδα, που επικολλάται στην αρχή του αρχικού πακέτου των δεδομένων και ονομάζεται **πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου (PCI: Protocol Control Information)**. Η επικεφαλίδα, μαζί με τα αρχικά δεδομένα του χρήστη, σχηματίζει ένα νέο πλαίσιο δεδομένων (σχήμα 5.15), που ονομάζεται **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου εφαρμογής (APDU: Application Protocol Data Unit)**.

Η μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου εφαρμογής αντιστοιχεί νοητά στο ομότιμο επίπεδο εφαρμογής του δέκτη, στην πραγματικότητα όμως περνά στο αμέσως επόμενο επίπεδο παρουσίασης. Το επίπεδο εφαρμογής, μόλις παραλάβει τη μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου παρουσίασης, επεξερ-



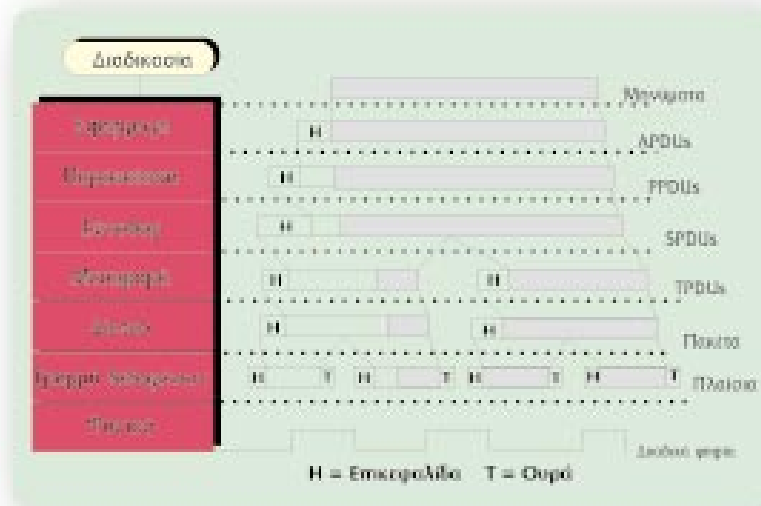
Σχήμα 5.14: Αλλαγή δεδομένων, καθώς διαπερνούν τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI.



Σχήμα 5.15: Μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου εφαρμογής



γάζεται τα δεδομένα, προσθέτει τη δική του επικεφαλίδα, που ονομάζεται **πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου παρουσίασης (PPCI: Presentation Protocol Control Information)**, και σχηματίζει τη **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου παρουσίασης (PPDU: Presentation Protocol Data Unit)**. Η μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου πα-



Σχήμα 5.16: Μορφή δεδομένων, καθώς διαπερνούν τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI.



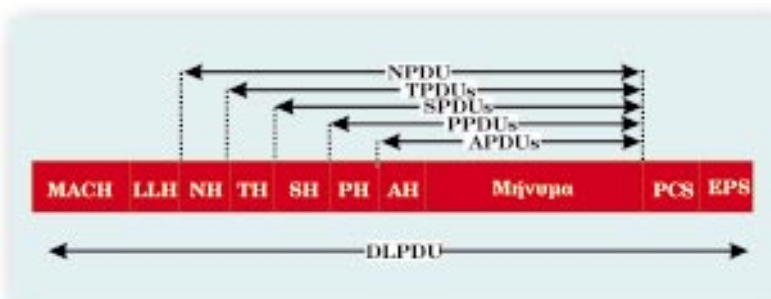
Στο επίπεδο παρουσίασης μια πιθανή επεξεργασία της μονάδας δεδομένων πρωτοκόλλου εφαρμογής είναι η συμπίεση των δεδομένων ή η κρυπτογράφησή τους για λόγους ασφαλείας.

ρουσίασης διαπερνά στη συνέχεια το επίπεδο συνόδου, όπου επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία, μέχρι τα δεδομένα να διοχετευθούν στο φυσικό κανάλι επικοινωνίας, για να οδεύσουν προς τον παραλήπτη.

Μερικά επίπεδα, όπως για παράδειγμα τα επίπεδα μεταφοράς, δικτύου και γραμμής δεδομένων, έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν κατάρτιση, δηλαδή διάσπαση των δεδομένων σε μικρότερες μονάδες, τις *PDU*s (Μάθημα 5.2). Σε καθεμιά από

αυτές τις μονάδες δεδομένων προστίθεται η **πληροφορία ελέγχου διεπαφής** του πρωτοκόλλου επικοινωνίας (*ICI: Interface Control Information* ή *PCI: Protocol Control Information*), η οποία εκτός των άλλων περιέχει πληροφορίες προκειμένου να καταστεί δυνατή η σωστή επανασυναρμολόγηση των *PDU*s στο ομότιμο επίπεδο. Αυτή η κατάρτιση των δεδομένων σε *PDU*s (ή πακέτα) έχει σκοπό να βελτιώσει την αποδοτικότητα των καναλιών επικοινωνίας (σχήμα 5.16).

Άλλα επίπεδα προσθέτουν πληροφορίες στο τέλος της μονάδας δεδομένων του αντίστοιχου πρωτοκόλλου, δηλαδή στην **ουρά** του



Σχήμα 5.17: Δομή πακέτου δεδομένων στο επίπεδο γραμμής δεδομένων

(trailer). Για παράδειγμα, στο επίπεδο γραμμής δεδομένων, εκτός από την επικεφαλίδα, προστίθεται και η ουρά, η οποία χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό για να ανιχνεύει τυχόν λάθη στα πακέτα δεδομένων που στέλνονται στον παραλήπτη. Στο σχήμα 5.17 φαίνεται η δομή ενός πακέτου, όταν αυτό βρίσκεται στο επίπεδο γραμμής δεδομένων.

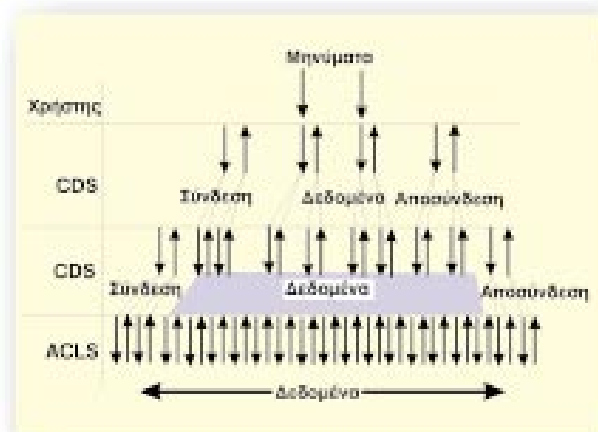
Συμπερασματικά, σε κάθε επίπεδο προστίθεται νέα πληροφορία στα δεδομένα που έρχονται από το προηγούμενο επίπεδο, η πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου. Τα νέα δεδομένα που σχηματίζονται σε κάθε επίπεδο μετά την προσθήκη της πληροφορίας ελέγχου φέρουν τις ακόλουθες ονομασίες:

- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου εφαρμογής** (APDU: Application Protocol Data Unit),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου παρουσίασης** (PPDU: Presentation Protocol Data Unit),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου συνόδου** (SPDU: Session Protocol Data Unit),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου μεταφοράς** (TPDU: Transport Protocol Data Unit),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου δικτύου** (NPDU: Network Protocol Data Unit),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου γραμμής δεδομένων** (DLPPDU: Data Link Protocol Data Unit),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του φυσικού πρωτοκόλλου** (PPDU: Physical Protocol Data Unit).

Το αποτέλεσμα από τη νέα πληροφορία που προστίθεται στα αρχικά δεδομένα είναι η μείωση της αποδοτικότητας της επικοινωνίας μεταξύ των δύο πλευρών, καθώς ένα μέρος από το εύρος του καναλιού χρησιμοποιείται προκειμένου να μεταδοθεί η πληροφορία ελέγχου. Επομένως ο όγκος της πληροφορίας αυτής θα πρέπει να βρίσκεται σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα, ώστε να ελαχιστοποιείται η επιβάρυνση του δικτύου. Φυσικά, πέρα από τις επικεφαλίδες και τις ουρές που προστίθενται στα διάφορα επίπεδα, προστίθενται και άλλες πληροφορίες που αφορούν τις υπηρεσίες που είναι προσανατολισμένες στη σύνδεση, καθώς επίσης και τις υπηρεσίες που πρέπει να επιβεβαιώνονται. Ένα τέτοιο σενάριο παρουσιάζεται στο σχήμα 5.18, όπου ένα σύστημα μιας στοίβας τριών επιπέδων κατακλύζεται από δεδομένα στο τελευταίο επίπεδο.

Οι λειτουργίες που ενεργοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Το μήνυμα του χρήστη εισάγεται στο σύστημα ζητώντας τη χρήση μιας υπηρεσίας με σύνδεση από το ομότιμο επίπεδο. Όταν σταλούν τα δεδομένα, ο χρήστης θα πρέπει να ζητήσει να τερματιστεί η σύνδεση. Οι δύο αυτές δραστηριό-



Σχήμα 5.18: Η σημαντική αύξηση των δεδομένων με τη χρήση πολλών υπηρεσιών σύνδεσης



τητες πρέπει σαφώς να επιβεβαιωθούν.

- ✓ Το δεύτερο επίπεδο πρέπει να δημιουργήσει μία σύνδεση με το ομότιμό του, άρα η διαδικασία της αρχής και του τέλους της σύνδεσης πρέπει να επαναληφθεί.
- ✓ Τέλος, το τρίτο επίπεδο ζητά επιβεβαίωση για κάθε πακέτο δεδομένων που στέλνεται στο ομότιμο επίπεδο του παραλήπτη.

Από όσα μέχρι τώρα αναφέραμε γίνεται φανερό ότι η χρήση πολλών υπηρεσιών προσανατολισμένων στη σύνδεση και υπηρεσιών με επιβεβαίωση, ο κατακερματισμός των δεδομένων, καθώς και η προσθήκη επικεφαλίδων και ουρών, συμβάλλουν στην αύξηση των δεδομένων που πρέπει να διακινηθούν, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποδοτικότητα της επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών. Γι' αυτό το λόγο ένα αξιόπιστο δίκτυο επικοινωνιών πρέπει να χρησιμοποιεί τις απολύτως απαραίτητες υπηρεσίες και να κρατά τις επιπλέον πληροφορίες ελέγχου σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο επίπεδο. Συνήθως μία υπηρεσία με επιβεβαίωση και μερικές υπηρεσίες μη προσανατολισμένες στη σύνδεση είναι ικανές να κρατήσουν την αξιοπιστία του δικτύου σε υψηλά επίπεδα, συμβάλλοντας συγχρόνως και στην αποδοτικότητά του.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις βασικές λειτουργίες των επιπέδων του μοντέλου αναφοράς OSI.

### 5.4.3 Υπηρεσίες και λειτουργίες των επιπέδων του OSI

#### 5.4.3.1 Φυσικό επίπεδο

Το **φυσικό επίπεδο** (*physical layer*) αποτελεί το πρώτο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς OSI. Είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δυαδικών ψηφίων που παραλαμβάνονται από το δέκτη σε σήμα κατάλληλο για μετάδοση από το μέσο επικοινωνίας, τη μετάδοσή τους και την επαναφορά τους σε δυαδική μορφή. Τα χαρακτηριστικά του δικτύου που ορίζει το φυσικό επίπεδο αφορούν κυρίως το χρησιμοποιούμενο κανάλι επικοινωνίας. Έτσι το φυσικό επίπεδο ορίζει τις στάθμες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των δυαδικών ψηφίων μέσα από το κανάλι, καθώς και τον τρόπο κωδικοποίησης της πληροφορίας.

Άλλα στοιχεία τα οποία αναλαμβάνει να ορίσει το φυσικό επίπεδο είναι ο τύπος και τα χαρακτηριστικά των ακροδεκτών που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του σταθμού με τη γραμμή επικοινωνίας, δηλαδή τον αριθμό τους, τις διαστάσεις τους κτλ. Τέλος, το φυσικό επίπεδο ορίζει το είδος της μετάδοσης, δηλαδή αν θα είναι αναλογική ή ψηφιακή, καθώς και τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης, εάν, για παράδειγμα, θα χρησιμοποιηθεί στη σύνδεση απλό χάλκινο καλώδιο, ομοαξονικό καλώδιο ή οπτική ίνα.

Όλα τα παραπάνω αφορούν τις προδιαγραφές που ορίζει το φυσικό επίπεδο για το μέσο μετάδοσης. Επιπλέον το φυσικό επίπεδο επικοινωνεί, όπως είναι γνωστό, μόνο με το επίπεδο γραμμής δεδομένων και έχει την υποχρέωση να του παρέχει μια σειρά

δυναμικών ψηφίων χωρίς να ελέγχει την ορθότητά τους, αν δηλαδή παραλήφθηκαν με τον τρόπο που στάλθηκαν. Ο έλεγχος αυτός είναι υποχρέωση του επιπέδου γραμμής δεδομένων, η περιγραφή του οποίου γίνεται στην επόμενη παράγραφο.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το φυσικό επίπεδο είναι:

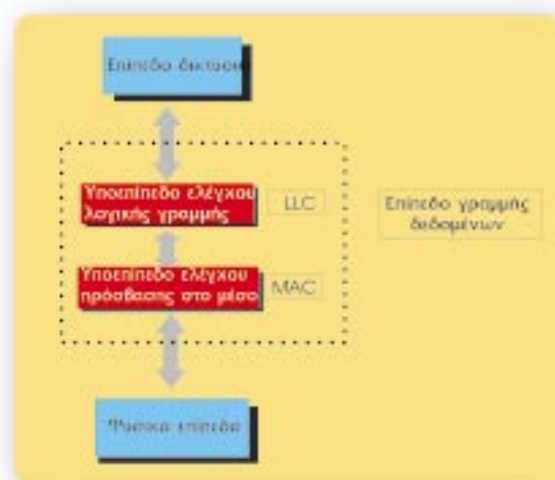
- ✓ Ενεργοποιεί τη φυσική σύνδεση.
- ✓ Απενεργοποιεί τη φυσική σύνδεση.
- ✓ Μεταφέρει τα δεδομένα σε μορφή δυαδικού ψηφίου.
- ✓ Επισημαίνει τα σφάλματα στη μετάδοση.

### 5.4.3.2 Επίπεδο γραμμής δεδομένων

Το **επίπεδο γραμμής δεδομένων** (*data link layer*) βρίσκεται μία θέση πιο πάνω από το φυσικό επίπεδο και είναι υπεύθυνο για τη διόρθωση των σφαλμάτων των δεδομένων. Πρέπει δηλαδή να παραδώσει στο φυσικό επίπεδο μία σειρά από δυαδικά ψηφία η οποία δε θα περιέχει σφάλματα. Επίσης φροντίζει να επιβεβαιώνει ότι τα δεδομένα πράγματι παραλήφθηκαν από την άλλη πλευρά και αυτό γίνεται με τα πλαίσια επιβεβαίωσης λήψης που στέλνονται από το δέκτη. Σημειώνεται ότι, αφού το φυσικό επίπεδο ασχολείται αποκλειστικά και μόνο με τη μετάδοση των δυαδικών ψηφίων, είναι υποχρέωση του επιπέδου γραμμής να καθορίζει τα όρια των πλαισίων που στέλνει και να αναγνωρίζει τα όρια των πλαισίων που δέχεται.

Το επίπεδο αυτό χωρίζεται σε δύο επιμέρους υποεπίπεδα, καθένα από τα οποία υλοποιεί ορισμένες λειτουργίες. Το πρώτο ονομάζεται **υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο** (*MAC: Media Access Control*), εκτελεί το πρωτόκολλο πρόσβασης στο δίκτυο και επικοινωνεί με το φυσικό επίπεδο, ενώ το δεύτερο ονομάζεται **υποεπίπεδο ελέγχου λογικής γραμμής** (*LLC: Logical Link Control*) και επικοινωνεί με το επίπεδο δικτύου. Το σχήμα 5.19 δείχνει τη δομή του επιπέδου γραμμής δεδομένων.

- ✓ **Υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο:** Όπως προαναφέρθηκε, το υποεπίπεδο αυτό αναλαμβάνει την επικοινωνία με το φυσικό επίπεδο. Σκοπός του είναι να ελέγχει τη ροή της πληροφορίας από και προς τον κόμβο στον οποίο βρίσκεται. Σ' αυτό το υποεπίπεδο υπάρχει συνήθως ένας χώρος αποθήκευσης πληροφοριών, αφού ο σταθμός δε γνωρίζει αν το κανάλι είναι ελεύθερο, για να μεταδώσει την πληροφορία. Ο αποθηκευτικός αυτός χώρος είναι αρκετός, ώστε ο σταθμός να μπορέσει να μεταδώσει την πληροφορία σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα. Ειδικά σε πρωτοκόλλα που κάνουν χρήση της διαδικασίας του κουπονιού διέλευσης, το υποεπίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την αναγνώρισή του και την παραπέρα επεξεργασία του. Επίσης, εάν η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με συγ-



Σχήμα 5.19: Ο διαχωρισμός του επιπέδου γραμμής δεδομένων



Η τεχνική του **κουπονιού διέλευσης** χρησιμοποιείται σε τοπικά δίκτυα τοπολογίας διαύλου και δακτυλίου, όπως είναι τα Token Bus και Token Ring (θα τα γνωρίσουμε αναλυτικά σε επόμενα μαθήματα), με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα δύο σταθμοί να μεταδώσουν ταυτόχρονα δεδομένα στο ίδιο κανάλι, με συνέπεια τη σύγκρουση.



χρονισμένο τρόπο, το υποεπίπεδο αυτό αναλαμβάνει τον έλεγχο του συγχρονισμού, καθώς και την έναρξη της μετάδοσης ή της λήψης.

- ✓ **Υποεπίπεδο ελέγχου λογικής γραμμής:** Το υποεπίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την τοποθέτηση της επικεφαλίδας, που περιλαμβάνει τα στοιχεία του πλαισίου, καθώς και την ταυτότητα (διεύθυνση) του σταθμού για τον οποίο προορίζεται. Τέλος, υλοποιεί τις διαδικασίες επικοινωνίας με το υψηλότερο επίπεδο δικτύου.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο γραμμής δεδομένων είναι:

- ✓ Αποκαθιστά και ελευθερώνει τη ζεύξη των δεδομένων.
- ✓ Μεταφέρει δεδομένα.
- ✓ Αριθμεί και συγχρονίζει τα πλαίσια που διοχετεύονται στο φυσικό επίπεδο.
- ✓ Ανιχνεύει και διορθώνει τα σφάλματα των πλαισίων.
- ✓ Ελέγχει τη ροή των πλαισίων.

### 5.4.3.3 Επίπεδο δικτύου

Το **επίπεδο δικτύου** (*network layer*) ασχολείται με τη μεταφορά των πακέτων από τον πομπό προς το δέκτη, διαδικασία η οποία απαιτεί τη δρομολόγηση των πακέτων από ενδιάμεσους κόμβους. Η βασική επομένως ασχολία του επιπέδου είναι να δρομολογήσει τη ροή των πακέτων από τον πομπό προς το δέκτη, καθώς επίσης να τα απαριθμήσει και να τα ταξινομήσει. Επιπλέον το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της **συμφόρησης** (*congestion*) στο δίκτυο και, μερικές φορές, για τη χρέωση των πελατών που χρησιμοποιούν το υποδίκτυο. Τέλος, το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για τη λύση των προβλημάτων που δημιουργούνται, όταν ετερογενή δίκτυα προσπαθούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.

Επομένως οι βασικές λειτουργίες του επιπέδου δικτύου είναι:

- ✓ η διευθυνσιοδότηση (ένας τρόπος αντιστοίχισης μίας μοναδικής διεύθυνσης σε καθέναν υπολογιστή που συμμετέχει στο δίκτυο),
- ✓ η δρομολόγηση των δεδομένων,
- ✓ η οργάνωσή τους σε πακέτα,
- ✓ η απαρίθμησή τους και
- ✓ η ταξινόμησή τους.

Για να επιτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες, το επίπεδο αυτό πρέπει να γνωρίζει την τοπολογία του δικτύου και να επιλέγει τις κατάλληλες διαδρομές. Όταν ο πομπός και ο δέκτης ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα, είναι αρμοδιότητα του επιπέδου δικτύου να μεσολαβήσει για την ορθή μετάδοση των πακέτων και να κάνει τη διασύνδεση μεταξύ των διαφορετικών δικτύων. Τέλος, το επίπεδο δικτύου ασχολείται, όπως προαναφέρθηκε, και με τον έλεγχο της συμφόρησης στο δίκτυο. Ο έλεγχος της συμφόρησης έχει σχέση με το πρόβλημα που ανακύπτει, όταν σε έναν υπολογιστή (κόμβο) φτάνουν περισσότερα πακέτα από αυτά που μπορεί να δεχτεί. Ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος είναι ο έλεγχος της κυκλοφορίας των δεδομένων σε κάθε υπολογιστή και η απαγόρευση μεταβίβασής τους σε άλλον υπολογιστή, όταν αυτός δεν





μπορεί να τα δεχτεί και να τα επεξεργαστεί.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο δικτύου είναι:

- ✓ Αποκαθιστά και τερματίζει τις συνδέσεις μεταξύ διάφορων ηλεκτρονικών υπολογιστών συνδεδεμένων στο δίκτυο.
- ✓ Προσδιορίζει, με τη χρήση του συστήματος διευθυνσιοδότησης, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές που επιθυμούν να επικοινωνήσουν.
- ✓ Μεταφέρει τα δεδομένα σε μορφή πακέτων ή μηνυμάτων.
- ✓ Ελέγχει για σφάλματα.
- ✓ Ελέγχει τη ροή των δεδομένων.

#### 5.4.3.4 Επίπεδο μεταφοράς

Η βασική λειτουργία του **επιπέδου μεταφοράς** (*transport layer*) είναι η παραλαβή των δεδομένων από το αμέσως υψηλότερο επίπεδο (το επίπεδο συνόδου), ο τεμαχισμός τους (αν χρειαστεί) σε μικρότερες μονάδες, η παράδοσή τους στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο (το επίπεδο δικτύου) και η διασφάλιση ότι όλες οι μονάδες θα φτάσουν σωστά στην άλλη πλευρά. Όλα αυτά πρέπει να γίνονται έτσι, ώστε να μην επηρεάζεται το επίπεδο συνόδου από τις αλλαγές της τεχνολογίας υλικού. Να επισημάνουμε ότι το επίπεδο μεταφοράς είναι αυτό που συνδέει τα χαμηλότερα επίπεδα (κατά το πρότυπο του OSI), τα οποία υλοποιούνται κυρίως μέσω του υλικού, με τα υψηλότερα επίπεδα, τα οποία υλοποιούνται κυρίως μέσω του λογισμικού. Επομένως το επίπεδο μεταφοράς, αφού αποτελεί το σύνορο μεταξύ των τριών χαμηλότερων και των τριών υψηλότερων επιπέδων, έχει ως σκοπό να παρέχει μια ομοιογενή διασύνδεση επικοινωνίας στο επίπεδο συνόδου, ανεξάρτητα από την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών από το επίπεδο δικτύου.

Γενικά, το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για τη συνολικά επιτυχημένη και χωρίς λάθη μετάδοση δεδομένων. Παρ' ότι το επίπεδο δικτύου ελέγχει τη μεταφορά των πληροφοριών από κόμβο σε κόμβο, το επίπεδο μεταφοράς είναι αυτό που εξασφαλίζει την αξιοπιστία της μετάδοσης και την αποφυγή δυσμενών καταστάσεων, όπως είναι η δημιουργία σφαλμάτων σε ενδιάμεσους κόμβους της γραμμής επικοινωνίας. Για να επιτευχθεί η καλύτερη αξιοποίηση του δικτύου και για να εξασφαλιστεί η ποιότητα των υπηρεσιών που το επίπεδο συνόδου μπορεί να ζητήσει από το επίπεδο μεταφοράς, επιτελούνται διάφορες λειτουργίες σ' αυτό το επίπεδο, όπως είναι ο κατακερματισμός και η επανασυγκόλληση των δεδομένων. Το επίπεδο μεταφοράς επιτελεί επίσης εκείνες τις λειτουργίες οι οποίες συμβάλλουν:

- ✓ στη σωστή λήψη των πακέτων, ακόμη και αν έχει συμβεί κάποιο προσωρινό λάθος, κάτι που διορθώνεται με αναμετάδοση του λανθασμένου πακέτου,
- ✓ στον έλεγχο ροής των δεδομένων από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη, η οποία σταματά ή περιορίζεται με ενέργειες του δέκτη,
- ✓ στον έλεγχο ακολουθίας των πακέτων.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο μεταφοράς είναι:

- ✓ Αποκαθιστά και τερματίζει τη σύνδεση στο επίπεδό του.



- ✓ Μεταδίδει τα δεδομένα στο βαθμό αξιοπιστίας που απαιτεί ο χρήστης.
- ✓ Επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει την ποιότητα εξυπηρέτησης της σύνδεσης.
- ✓ Ελέγχει τη ροή των δεδομένων.
- ✓ Παρέχει τη δυνατότητα πολυπλεξίας μέσω της ίδιας ζεύξης.

### 5.4.3.5 Επίπεδο συνόδου

Το **επίπεδο συνόδου** (*session layer*) επιτρέπει στους χρήστες διαφορετικών υπολογιστών να δημιουργούν συνόδους μεταξύ τους. Μια σύνοδος, για παράδειγμα, μπορεί να είναι η σύνδεση ενός χρήστη με ένα απομακρυσμένο σύστημα ή η μεταφορά αρχείων ανάμεσα σε δύο υπολογιστές. Το επίπεδο συνόδου ελέγχει επίσης την κυκλοφορία ανάμεσα στις δύο κατευθύνσεις, ενώ πολλές φορές παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης κουπονιού (βλ. παρακάτω), καθώς επίσης και υπηρεσίες συγχρονισμού ανάμεσα στις δύο πλευρές. Στην ουσία το επίπεδο αυτό δεν ασχολείται με τη μεταφορά των δεδομένων, για την οποία ευθύνη έχουν άλλα επίπεδα, αλλά αναλαμβάνει κυρίως τη διαχείριση και το συγχρονισμό του διαλόγου μεταξύ των εφαρμογών.

Έτσι το επίπεδο συνόδου αναλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- ✓ Την εγκατάσταση μιας συνόδου με έναν ή περισσότερους σταθμούς.
- ✓ Την εξακρίβωση του χρήστη.
- ✓ Την εξακρίβωση της ποιότητας της συνόδου.
- ✓ Τον έλεγχο της ανταλλαγής δεδομένων.
- ✓ Τη διαχείριση της κατεύθυνσης της πληροφορίας. Οι σύνοδοι μπορούν να επιτρέψουν την ταυτόχρονη και προς τις δύο κατευθύνσεις ροή δεδομένων μεταξύ δύο σταθμών ή προς τη μία κατεύθυνση κάθε στιγμή.
- ✓ Τον τερματισμό της σύνδεσης. Ο τερματισμός μπορεί να είναι είτε ομαλός είτε αποτέλεσμα κάποιου προβλήματος ή σφάλματος του χρήστη ή του δικτύου. Στην περίπτωση μη ομαλού τερματισμού πιθανόν να υπάρξει και απώλεια δεδομένων.
- ✓ Το συγχρονισμό των δεδομένων. Στόχος είναι η εισαγωγή σημείων ελέγχου μέσα στη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων, ώστε σε περίπτωση σφάλματος ή προβλήματος κατά τη μετάδοση να μη χρειαστεί η επανεκπομπή όλων των δεδομένων, αλλά μόνο αυτών που δεν παραλήφθηκαν μετά το τελευταίο σημείο ελέγχου που είχε αποσταλεί πριν από το σφάλμα.
- ✓ Τη διαχείριση κουπονιού (*token management*). Για να μην παρουσιάζεται το φαινόμενο και οι δύο πλευρές σε μια σύνδεση να προσπαθούν να κάνουν ταυτόχρονα την ίδια ενέργεια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόβλημα, κάθε πλευρά, πριν προχωρήσει σε μια λειτουργία, ζητά άδεια από το επίπεδο συνόδου, το οποίο της παρέχει ένα ειδικό πακέτο που ονομάζεται **κουπόνι** (*token*) και της επιτρέπει τη συγκεκριμένη λειτουργία. Επομένως, εάν η άλλη πλευρά σκοπεύει να κάνει την ίδια ενέργεια, το κουπόνι το έχει ο άλλος σταθμός και αποτρέπεται έτσι η σύγκρουση. Βέβαια η λειτουργία με τη χρήση κουπονιού δε



συναντάται σε όλα τα δίκτυα.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο συνόδου είναι:

- ✓ Αποκαθιστά και συντηρεί το διάλογο μεταξύ των δύο πλευρών, ώστε να εξασφαλίζεται η επιτυχής μεταφορά των δεδομένων.
- ✓ Διαχειρίζεται και ελέγχει την πρόσβαση σε έναν απομακρυσμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- ✓ Κάνει επανορθωτικές διαδικασίες σε επίπεδο διαλόγου.

### 5.4.3.6 Επίπεδο παρουσίασης

Το **επίπεδο παρουσίασης** (*presentation layer*) ασχολείται με την ορθότητα της σύνταξης των δεδομένων που μεταδίδονται, αντίθετα με τα άλλα επίπεδα που ασχολούνται με την αξιόπιστη μεταβίβαση των δυαδικών ψηφίων από το ένα μέρος στο άλλο. Επομένως το επίπεδο αυτό δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για την αναπαράσταση και σύνταξη των δεδομένων, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν οι εφαρμογές των σταθμών. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι δύο διαφορετικοί υπολογιστές που επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσσουν απλούς χαρακτήρες, όπως ονόματα, ημερομηνίες, αριθμούς κ.ά. Έστω ότι αυτοί οι δύο υπολογιστές χρησιμοποιούν διαφορετικούς κώδικες αναπαράστασης των χαρακτήρων: ο ένας χρησιμοποιεί τη γνωστή μας κωδικοποίηση *ASCII* και ο άλλος τη *UNICODE*, που συναντάται στο λειτουργικό σύστημα *Windows NT*. Για να γίνει δυνατή η επικοινωνία των συστημάτων αυτών, θα πρέπει οι χαρακτήρες της πληροφορίας να αναπαρασταθούν με έναν άλλο (συμβολικό) τρόπο, ώστε να είναι κατανοητοί και από τους δύο υπολογιστές. Βέβαια αυτός ο τρόπος θα πρέπει να έχει από κοινού συμφωνηθεί και να υλοποιείται από το πρωτόκολλο του επιπέδου παρουσίασης. Ένα παράδειγμα συμβολικού τρόπου αναπαράστασης των δεδομένων είναι η κωδικοποίηση *ASN-1* (*Abstract Syntax Notation - One*).

Μια άλλη βασική λειτουργία του επιπέδου παρουσίασης είναι η **συμπίεση** και η **αποσυμπίεση** των δεδομένων, με την οποία μπορεί να ελαττωθεί ο όγκος των δεδομένων που μεταδίδονται προσαρμόζοντας το ρυθμό μετάδοσης στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού. Μ' αυτό τον τρόπο γίνεται οικονομία στο εύρος ζώνης του καναλιού αλλά και στο χρόνο μετάδοσης. Τέλος, μια σημαντική λειτουργία του επιπέδου παρουσίασης είναι η **κρυπτογράφηση** των δεδομένων, η οποία αποσκοπεί στο να διασφαλιστεί το απόρρητο των διακινούμενων πληροφοριών, πράγμα που συχνά επιβάλλεται στις επικοινωνίες (τράπεζες, αγορές, τηλεδιασκέψεις κ.ά.). Αξίζει να σημειωθεί ότι η κρυπτογράφηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε χαμηλότερα επίπεδα (*L2, L3*), όμως όσο υψηλότερο είναι το επίπεδο στο οποίο γίνεται αυτή η διαδικασία, τόσο ασφαλέστερη είναι. Γενικά, η αρχή της κρυπτογράφησης συνίσταται στο να κωδικοποιούνται τα αποστελλόμενα δεδομένα με τη βοήθεια ενός **κλειδιού κωδικοποίησης** (*encryption key*), ώστε ο παραλήπτης να μπορεί να τα αποκωδικοποιήσει μέσω της αντίστροφης διαδικασίας.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο παρουσίασης είναι:



- ✓ Μετατρέπει τη σύνταξη των δεδομένων.
- ✓ Συμπιέζει και αποσυμπιέζει τα δεδομένα (*data compression – de-compression*).
- ✓ Κρυπτογραφεί τα δεδομένα (*data encryption*).

### 5.4.3.7 Επίπεδο εφαρμογής

Το **επίπεδο εφαρμογής** (*application layer*) αναλαμβάνει τη σωστή επικοινωνία ασύμμετρων εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους χρήστες που επιθυμούν να επικοινωνήσουν, π.χ. *e-mail*, *ftp* κτλ.

Το επίπεδο εφαρμογής χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του επιπέδου παρουσίασης και κατ' επέκταση όλων των χαμηλότερων επιπέδων. Είναι το υψηλότερο επίπεδο και ουσιαστικά προσφέρει τις επικοινωνιακές υπηρεσίες που υποστηρίζουν την εφαρμογή την οποία υλοποιεί ο χρήστης (δηλαδή το πρόγραμμα που δουλεύει). Οι εφαρμογές που μπορεί να έχουμε είναι αμέτρητες, από απλές μεταφορές αρχείων έως πολυσύνθετα πακέτα τηλεεργασίας και τηλεεκπαίδευσης με χρήση πολυμέσων.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο εφαρμογής είναι:

- ✓ Εξακριβώνει την ταυτότητα των εφαρμογών που θέλουν να επικοινωνήσουν.
- ✓ Επιβεβαιώνει το κατά πόσο οι εφαρμογές είναι διαθέσιμες για το διάλογο που πρόκειται να ακολουθήσει.
- ✓ Παρέχει επιβεβαίωση και έλεγχο στο δικαίωμα διαλόγου.

### 5.4.4 Οικογένειες πρωτοκόλλων

Όπως είναι φανερό, πρωτόκολλα επικοινωνίας υπάρχουν σε όλα τα επίπεδα του *OSI-RM* (πίνακας 5.5). Αν και δεν είναι πιθανό ένας χρήστης να ασχοληθεί αναλυτικά μ' αυτά, εντούτοις η επίδρασή τους στην απόδοση ενός συστήματος μπορεί να είναι μεγάλη. Ένα κακώς υλοποιημένο πρωτόκολλο μπορεί να καθυστερήσει τη μεταφορά δεδομένων, όμως το λογισμικό που συνοδεύει τα τυποποιημένα πρωτόκολλα μπορεί να κάνει δυνατή την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο *TCP/IP*, που θα εξετάσουμε παρακάτω, μας δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρουμε δεδομένα μεταξύ υπολογιστών με διαφορετικές αρχιτεκτονικές και λειτουργικά συστήματα.

Τα στοιχεία - κλειδιά σε ένα πρωτόκολλο είναι η **σύνταξη**, οι **όροι** και ο **χρονισμός**. Η σύνταξη ορίζει τα επίπεδα των σταθμών των σημάτων που θα χρησιμοποιηθούν και τη μορφή με την οποία θα σταλούν τα δεδομένα. Οι όροι καθορίζουν τη δομή της πληροφορίας που απαιτείται για το συγχρονισμό μεταξύ των υπολογιστών και για το χειρισμό των δεδομένων. Ο χρονισμός καθορίζει, εκτός των άλλων, και τη σχέση των ρυθμών μετάδοσης, έτσι ώστε ένας υπολογιστής με έξοδο, για παράδειγμα, 9.600 bps να μπορεί να επικοινωνήσει με έναν άλλο υπολογιστή με έξοδο 1.200 bps.

## Πρωτόκολλα φυσικού επιπέδου:

- ✓ EIA: RS-232, RS-449, RS-485
- ✓ CCITT: V.24/V.28, X.21, X.21 bis, X.20, X.20 bis
- ✓ ISO: 4903, 9314 FDDI
- ✓ IEEE: 802 LAN, 488

## Πρωτόκολλα επιπέδου γραμμής δεδομένων:

- ✓ CCITT: LAP-B, HDLC
- ✓ ISO: 4335 (HDLC), 7776 (LAP/LAPB), 8802 LAN
- ✓ ISO: R 1745, 9314-2 FDDI
- ✓ ANSI: ADCCP
- ✓ IEEE: 802.2 Logical Link Control

## Πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου:

- ✓ CCITT: X.25, X.75
- ✓ EIA: RS-366-A
- ✓ ISO: 8473-IP
- ✓ DOD: IP

## Πρωτόκολλα επιπέδου μεταφοράς:

- ✓ CCITT: X.244 Transport Protocol
- ✓ EDMA: ECMA-72
- ✓ DOD: TCP
- ✓ ISO: 8073, 9574 ISDN/τέταρτο επίπεδο

## Πρωτόκολλα επιπέδου συνόδου:

- ✓ CCITT: X.255
- ✓ ISO: 8327

## Πρωτόκολλα επιπέδου παρουσίασης:

- ✓ CCITT: X.226, X.400/410
- ✓ ISO: 8823
- ✓ Virtual File Protocol
- ✓ Job Transfer Manipulation Protocol





Πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής:

- ✓ CCITT: X.500 Directory System, X.520, T.411 (ODA), X.400 Message Handling System
- ✓ ISO: 8831 Job Transfer and Manipulation
- ✓ ISO: 9040, 10026 TP Distributed Transaction Processing
- ✓ ISO: 8632 Computer Graphics Metafile
- ✓ ISO: 9595 Network Management
- ✓ ISO: 8571 FTAM (File Transfer Access Management)
- ✓ Virtual Terminal Protocol
- ✓ File Transfer Protocol

Πίνακας 5.5: Τα πρωτόκολλα των επτά επιπέδων του OSI



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων, φυσικό επίπεδο, επίπεδο γραμμής δεδομένων, επίπεδο δικτύου, επίπεδο μεταφοράς, επίπεδο συνόδου, επίπεδο παρουσίασης, επίπεδο εφαρμογής, μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου, έλεγχος πρόσβασης στο μέσο, έλεγχος λογικής γραμμής, συμφόρηση, κρυπτογράφηση, κλειδί κωδικοποίησης.

## Μάθημα 5.5: Διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης – Πρότυπα και συστάσεις

### 5.5.1 Η ανάγκη προτυποποίησης

Η αλματώδης ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιακών και των πληροφοριακών συστημάτων έφερε στο προσκήνιο την ανάγκη επιμόρφωσης προτύπων κοινώς αποδεκτών από τη διεθνή κοινότητα. Για καιρό το μόνο που προσέφεραν οι εταιρείες κατασκευής υπολογιστών ήταν η συμβατότητα ανάμεσα στα δικά τους προϊόντα, με αποτέλεσμα κάθε μεγάλη εταιρεία να αναπτύσσει ένα σύνολο από ιδιωτικά (*proprietary*) πρωτόκολλα που αφορούσαν τη δικτυακή λειτουργία των συστημάτων της.


Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη δεκαετία του 1950 η δημιουργία προτύπων για την επικοινωνία δεδομένων αποτελούσε ταυτόχρονα και ανταγωνιστική τακτική που είχε σκοπό την κατάκτηση της αγοράς. Αυτός ο ανταγωνισμός οδήγησε τελικά στην ανάπτυξη ορισμένων πρωτοκόλλων τα οποία έτυχαν ευρείας αποδοχής, με αποτέλεσμα την καθιέρωσή τους ως *de facto* προτύπων. Ένα παράδειγμα *de facto* προτύπου είναι το δυαδικό σύγχρονο πρωτόκολλο της IBM για μεταφορά δεδομένων, το οποίο αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα ευρέως.

Όμως, με την πάροδο του χρόνου, ο αριθμός των κατασκευαστών άρχισε να αυξάνεται, με αποτέλεσμα να μεγαλώνει και ο αριθμός των πρωτοκόλλων ελέγχου δικτύων που δεν ήταν συμβατά μεταξύ τους. Ως εκ τούτου, η στρατηγική της υιοθέτησης ή της εξομίσωσης *de facto* προτύπων δε λειτούργησε με επιτυχία σε όλα τα είδη των δικτύων.


### 5.5.2 Διεθνείς οργανισμοί για πρότυπα

Από το 1970 και μετά η ανάγκη για πρωτόκολλα που θα υποστηρίζονταν από όλους έδειχνε να είναι επιτακτική. Αυτή η ανάγκη, καθώς και οι ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις των χρηστών για επικοινωνία οδήγησαν τους οργανισμούς που ήταν υπεύθυνοι για εθνικά και διεθνή πρότυπα να εξετάσουν τρόπους για την ανάπτυξη κοινών προτύπων τα οποία θα έπρεπε να λαμβάνουν υπόψη τους οι διάφοροι κατασκευαστές. Σαφής στόχος ήταν — και παραμένει — η εξασφάλιση της συμβατότητας μεταξύ των συστημάτων που αναπτύσσονταν από τις διάφορες κατασκευαστικές εταιρείες, ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία τους.

Οι σπουδαιότεροι διεθνείς οργανισμοί για πρότυπα που λειτουργούν μέχρι σήμερα είναι αυτοί για τους οποίους γίνεται λόγος στις επόμενες παραγράφους.



Τα πρότυπα επηρεάζουν την καθημερινή μας ζωή σε πολλούς τομείς και με διάφορους τρόπους. Πολλά προϊόντα και υπηρεσίες που χρησιμοποιούμε καθημερινά χρωστούν την επιτυχία τους στο ότι ακολουθούν κάποια πρότυπα. Σήμερα όλες σχεδόν οι βιομηχανίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα πρότυπα.



Οι συμφωνίες επάνω σε κοινώς αποδεκτά πρότυπα είναι συστατικό στοιχείο της τεχνολογικής ανάπτυξης. Για παράδειγμα, αν κάθε κράτος είχε τα δικά του πρότυπα όσον αφορά τις βίδες και την πυκνότητα των στροφών τους, τότε το πρόβλημα που θα ανέκυπτε στην κατασκευή ηλεκτρονικού ή μηχανολογικού (και όχι μόνο) εξοπλισμού θα ήταν ανυπερβλήτο.



### 5.5.2.1 Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης

Ο **Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης** (*ISO: International Standards Organization*) είναι ένα εθελοντικό σώμα που ιδρύθηκε το 1946, με σκοπό να εναρμονίσει και να τυποποιήσει ένα ευρύτατο φάσμα προϊόντων που παράγονταν από διάφορους κατασκευαστές σε όλο τον κόσμο, ώστε να εξασφαλιστεί η συμβατότητα των συστημάτων τους. Πρόκειται για μια διεθνή ομοσπονδία από εθνικούς, μη κυβερνητικούς οργανισμούς τυποποίησης 130 κρατών. Ο *ISO* σήμερα στοχεύει στην προώθηση της δημιουργίας προτύπων και σχετικών δράσεων σε διεθνές επίπεδο. Η αλληλεπίδραση και η συνεργασία των διάφορων οργανισμών για τη δημιουργία διεθνών προτύπων φαίνεται στο σχήμα 5.20.



Μερικοί από τους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης, που εκπροσωπούνται στο Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης, είναι το **Αμερικανικό Ίδρυμα Εθνικών Προτύπων** (*ANSI: American National Standards Institute*) και το **Βρετανικό Ίδρυμα Προτύπων** (*BSI: British Standards Institute*). Την Ελλάδα εκπροσωπεί στον *ISO* ο **Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης** (*ΕΛΟΤ*) ή *HOS* (*Hellenic Organization for Standardization*), ενώ την Κύπρο ο **Κυπριακός Οργανισμός Τυποποίησης και Ελέγχου Ποιότητας** (*Cyprus Organization for Standards and Control of Quality*).



Σχήμα 5.20: Δομή του *ISO*

Ο *ISO* υποδιαιρείται σε **τεχνικές επιτροπές** (*TC: Technical Committees*), καθεμιά από τις οποίες ασχολείται με ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Για παράδειγμα, η Τεχνική Επιτροπή - 97 (*TC-97: Technical Committee-1997*) ασχολείται με υπολογιστές και επεξεργασία δεδομένων, ενώ είναι υπεύθυνη και για το μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (*OSI - RM*), που εξετάστηκε στο Μάθημα 5.4. Κάθε τεχνική επιτροπή υποδιαιρείται σε **τεχνικές υποεπιτροπές** (*TSC: Technical Sub-*



*Committees*), οι οποίες ασχολούνται με ειδικότερα θέματα, ενώ κάθε υποεπιτροπή αποτελείται από **ομάδες εργασίας** (*WG: Working Groups*), οι οποίες ασχολούνται με τα πιο εξειδικευμένα θέματα. Η ουσιαστική δουλειά γίνεται από τις εθελοντικές ομάδες εργασίας, οι οποίες αποτελούνται από εκπροσώπους του χώρου της βιομηχανίας, των δημόσιων υπηρεσιών των κρατών - μελών του *ISO* και των εθνικών οργανισμών τυποποίησης, καθώς και από εκπροσώπους του ακαδημαϊκού χώρου. Περισσότερες πληροφορίες για την ιστορία του Οργανισμού, τα μέλη του και τις δραστηριότητές του μπορεί κάποιος να αναζητήσει στην ιστοσελίδα του *ISO* στο Διαδίκτυο: <http://www.iso.ch/>.

### 5.5.2.2 Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών

Η **Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών** (*ITU: International Telecommunications Union*) ιδρύθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη και αποτελεί τον πρωτοπόρο οργανισμό δημιουργίας προτύπων για δίκτυα δεδομένων. Απαρτίζεται από 161 κράτη - μέλη και είναι υπεύθυνη για τη σχεδίαση και την τυποποίηση όλων των μορφών των διεθνών τηλεπικοινωνιών (ραδιοφωνία, τηλεφωνία και τηλεγραφία). Οι σκοποί της είναι:

- ✓ Να διατηρήσει και να επεκτείνει τη διεθνή συνεργασία για τη βελτίωση των τηλεπικοινωνιών.
- ✓ Να προωθήσει την ανάπτυξη νέων τεχνικών λύσεων.
- ✓ Να επιταχύνει τις διαδικασίες υλοποίησης των προτύπων.

Η *ITU* αποτελείται από επιτροπές οι οποίες είναι υπεύθυνες για την τυποποίηση σε διάφορους τομείς. Δύο από αυτές, η **Διεθνής Συμβουλευτική Επιτροπή Ραδιοφώνου** (*CCIR: Conference Committee International Radio*) και η **Παγκόσμια Διοικητική Διάσκεψη Ραδιοφώνου** (*WARC: World Administrative Radio Conference*), ασχολούνται με τα ραδιοφωνικά δρώμενα, ενώ η **Διεθνής Συμβουλευτική Επιτροπή Τηλεγραφίας και Τηλεφωνίας** (*CCITT: Comite Consultatif International de Telegraphique et Telephonique*) ασχολείται με προτάσεις που αφορούν δίκτυα επικοινωνίας δεδομένων, διασυνδέσεις τηλεφώνων, ψηφιακά και τηλεγραφικά πρότυπα. Πρόσφατα η *CCITT* μετονομάστηκε σε *ITU-T* και η *CCIR* σε *ITU-R*.

Η *ITU-T* απαρτίζεται από τρεις κατηγορίες μελών:

- ✓ τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς (AT&T, BT, OTE κτλ.),
- ✓ επιστημονικούς και βιομηχανικούς οργανισμούς (*IEEE*, *IEE* κτλ.),
- ✓ διεθνείς οργανισμούς που είτε ασχολούνται με τα τηλεπικοινωνιακά δρώμενα είτε διαχειρίζονται άλλες υποθέσεις οι οποίες όμως άπτονται των ενδιαφερόντων της *ITU-T*.

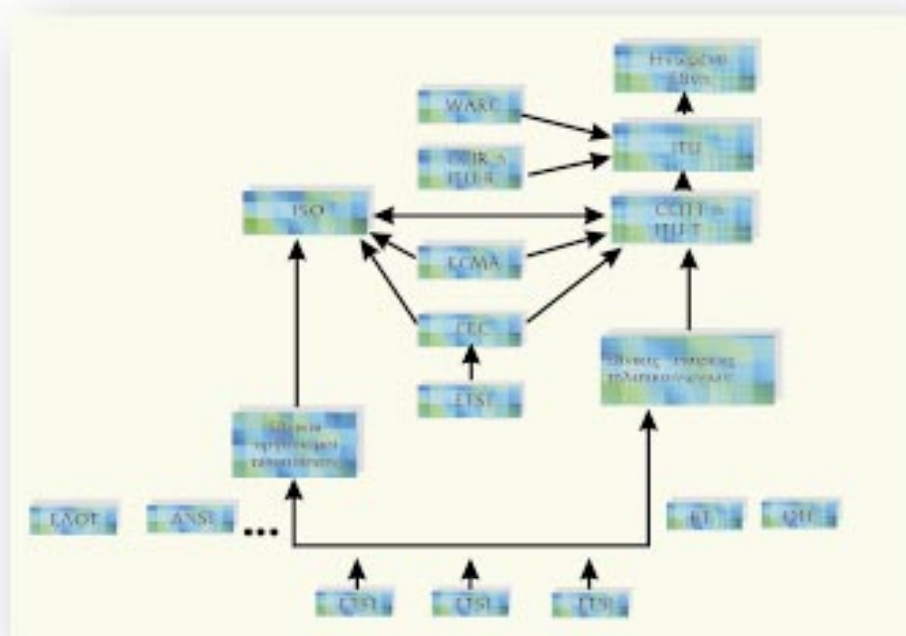
Οι συστάσεις της *ITU* είναι συνήθως αποτέλεσμα της συνεργασίας με άλλους διεθνείς οργανισμούς. Η *ITU* λειτουργεί σε τετραετείς κύκλους και στο τέλος κάθε κύκλου εκδίδει νέα πρότυπα υπό μορφή συστάσεων. Οι συστάσεις αυτές αναπτύσσονται από διάφορες τεχνικές **ομάδες έρευνας** (*SG: Study Groups*), καθεμιά από τις οποίες εργάζεται επάνω σε ένα ειδικό τμήμα των τηλεπικοινωνιών.



Η Ευρωπαϊκή Ένωση γίνεται ριό αυστηρή και απαιτητική όσον αφορά τις τυποποιήσεις στον ευρωπαϊκό χώρο. Με την ενδεδειγμένη εργασία που αφορά τις τηλεπικοινωνίες έχει επιφορτιστεί το **Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών** (*ETSI: European Telecommunications Standards Institute*), το οποίο υποστηρίζει και ενισχύει την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στον τεχνικό τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Το **Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (IEEE: Institute of Electronics and Electrical and Engineers)** είναι ένας από τους κορυφαίους διεθνείς οργανισμούς στον τομέα της τεχνολογικής ανάπτυξης. Ο οργανισμός αυτός ασχολείται με πολλά τεχνολογικά θέματα, τα οποία εκτείνονται από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τη βιοϊατρική και τις τηλεπικοινωνίες μέχρι την αεροναυπηγική και τα καταναλωτικά ηλεκτρονικά. Το *IEEE* είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός στον οποίο συμμετέχουν πάνω από 330.000 μέλη από 150 χώρες. Μέσα από τις τεχνολογικές αναφορές, τα συνέδρια και τη δημιουργία προτύπων το *IEEE* έχει παραγάγει το 30% της παγκόσμιας βιβλιογραφίας σε θέματα σχετικά με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, ηλεκτρολογία και τεχνολογία ελέγχου. Έχει επίσης δημιουργήσει πάνω από 800 ενεργά πρότυπα, ενώ 700 πρότυπα βρίσκονται ήδη υπό ανάπτυξη.

Σε πολλές περιπτώσεις η λεπτομερής ανάλυση και ο σχεδιασμός των προτύπων γίνεται από μικρότερες, καταξιωμένες στην επιστημονική και στη βιομηχανική κοινότητα, ομάδες εργασίας. Έτσι, εκτός από το *IEEE*, σημαντικό ρόλο όσον αφορά την



Σχήμα.5.21: Σχέσεις των οργανισμών τυποποίησης





τεχνική τυποποίησης των τηλεπικοινωνιών παίζουν:

- ✓ το **Εθνικό Ινστιτούτο Τυποποίησης και Τεχνολογίας** των Η.Π.Α. (*NIST: National Institute of Standards and Technology*) και
- ✓ η **Ένωση Ηλεκτρονικών Βιομηχανιών** (*EIA: Electronic Industries Association*).

Μια σχηματική παράσταση των διάφορων οργανισμών τυποποίησης και των σχέσεων τους απεικονίζεται στο σχήμα 5.21.

### 5.5.3 Διαδικασία τυποποίησης προτύπων

Η διαδικασία τυποποίησης ενός διεθνούς προτύπου είναι μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, η οποία μπορεί να διαρκέσει από μερικούς μήνες έως και χρόνια. Σε μερικές περιπτώσεις το εγχείρημα είναι δυνατόν να αποτύχει, είτε γιατί η αποδοχή του προτύπου, για διάφορους λόγους, δεν είναι καθολική είτε γιατί τα αποτελέσματά του δεν είναι εμφανή. Δεν είναι λίγες οι φορές που η καθιέρωση ενός προτύπου προκαλεί συγκρούσεις σε διάφορα επιστημονικά, βιομηχανικά ή και οικονομικά πεδία. Γι' αυτό η συνήθης διαδικασία αποδοχής ενός προτύπου κάποιας ομάδας εργασίας είναι επίπονη και χρονοβόρα. Περνά μέσα από διάφορα στάδια και επίπεδα κρίσεων, αλλαγών, πιστοποιήσεων και δοκιμών από ειδικές ομάδες ενδιαφερόμενων φορέων προκειμένου να φθάσει στο στάδιο της τελικής ψηφοφορίας, όπου εγκρίνεται και ανακοινώνεται το τελικό κείμενο που περιγράφει το πρότυπο.

Από τη στιγμή της νέας (ακαδημαϊκής ή βιομηχανικής) ανακάλυψης μέχρι την οικονομική επένδυση επάνω σ' αυτή μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο πρέπει να υλοποιηθεί και να περιγραφεί το νέο πρότυπο. Αυτό δεν πρέπει να γίνει πολύ νωρίς, ειδικά πριν τελειώσει η έρευνα επάνω στη νέα ανακάλυψη, γιατί τότε τα πρότυπα ίσως να μην περιγραφούν σωστά. Επίσης δεν πρέπει να δημιουργηθούν ή να περιγραφούν τα πρότυπα πολύ αργά, ιδιαίτερα όταν οι διάφορες εταιρείες θα έχουν επενδύσει κεφάλαια για την ανάπτυξη άλλων λύσεων, με αποτέλεσμα την αγνόηση των προτύπων. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που το *OSI* δε βρήκε την ανάλογη ανταπόκριση από τους κατασκευαστές δικτύων και πρωτοκόλλων και έχει ουσιαστικά βγει εκτός μάχης από το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*, το οποίο θα μελετηθεί στη συνέχεια.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (*ISO*), Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (*ITU*), Διεθνής Συμβουλευτική Επιτροπή Τηλεγραφίας και Τηλεφωνίας (*CCITT*), Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (*IEEE*), Εθνικό Ινστιτούτο Τυποποίησης και Τεχνολογίας (*NIST*), Ένωση Ηλεκτρονικών Βιομηχανιών (*EIA*), διαδικασία τυποποίησης προτύπων.





## Μάθημα 5.6: Μοντέλο αναφοράς TCP/IP

### 5.6.1 Εισαγωγή

Η δημιουργία του **μοντέλου αναφοράς TCP/IP** (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), μιας εναλλακτικής πρότασης του μοντέλου διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων *OSI*, οφείλεται στη λειτουργία του *ARPANET*, ενός δικτύου που προηγήθηκε του *Internet* και το οποίο αργότερα μετεξελίχθηκε στη μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Το *ARPANET* ήταν ένα δίκτυο που δημιουργήθηκε για λογαριασμό του Υπουργείου Άμυνας των Η.Π.Α. την εποχή του ψυχρού πολέμου, στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η ιδέα ήταν τα διάφορα πολιτικά και στρατιωτικά κέντρα των Η.Π.Α. να έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας οποιαδήποτε χρονική στιγμή, έστω και αν ένα μέρος του δικτύου επικοινωνίας είχε τεθεί για διάφορους λόγους εκτός λειτουργίας. Σ' αυτή την περίπτωση η επικοινωνία θα γινόταν μέσω εναλλακτικών οδεύσεων και στοιχείων μεταγωγής, αρκεί οι υπολογιστές που επρόκειτο να επικοινωνήσουν να είναι σε λειτουργία. Αυτή η ανάγκη αδιάλειπτης επικοινωνίας κάτω από οποιεσδήποτε περιστάσεις οδήγησε στη δημιουργία ενός δικτύου μεταγωγής πακέτων, θέμα που θα προσεγγίσουμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Στα δίκτυα μεταγωγής οι πληροφορίες, υπό μορφή μηνυμάτων, διαχωρίζονται σε μικρότερα πακέτα, καθένα από τα οποία μπορεί να έχει σταθερό ή μεταβλητό μήκος (πλήθος χαρακτήρων). Τα πακέτα μεταδίδονται στον προορισμό τους ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, έστω και αν προέρχονται από το ίδιο μήνυμα, μέσα από τα διαθέσιμα κανάλια επικοινωνίας και τα στοιχεία μεταγωγής. Τα πακέτα αυτά ίσως να φτάσουν στον προορισμό τους με διαφορετική σειρά από αυτήν που έφυγαν. Σ' αυτή την περίπτωση ο παραλήπτης έχει την ευθύνη να τα επανατοποθετήσει στη σωστή σειρά, ώστε να σχηματιστεί το αρχικό μήνυμα.

### Παράδειγμα V

Η διαδικασία της μεταγωγής πακέτων έχει πολλές ομοιότητες με το ταχυδρομικό δίκτυο. Ας υποθεθεί ότι κάποιος γράφει ένα γράμμα πέντε σελίδων και, αφού τοποθετήσει από μία σελίδα του γράμματος μέσα σε πέντε αριθμημένους φακέλους με την ένδειξη 1/5, 2/5...5/5, τους στέλνει σε ένα φίλο του σε μακρινή χώρα. Ασφαλώς, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, όλοι οι φάκελοι θα πρέπει να φτάσουν στον προορισμό τους. Ίσως βέβαια φτάσουν με διαφορετική σειρά και σε διαφορετική χρονική στιγμή. Ίσως περάσουν από διαφορετικές χώρες, η καθεμία από τις οποίες έχει το δικό της σύστημα προώθησης και τους δικούς της ταχυδρομικούς κανόνες. Όμως τελικά οι φάκελοι θα φτάσουν στον παραλήπτη, χωρίς να είναι απαραίτητο αυτός ή ο αποστολέας να γνωρίζουν τη διαδρομή ή τη διαδικασία με την οποία έγινε αυτό.



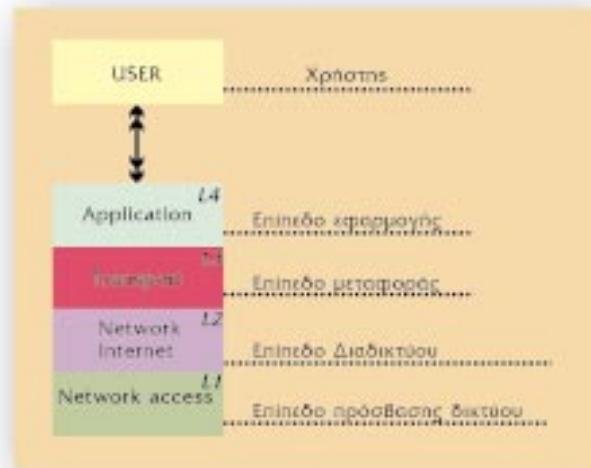
Το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP* πήρε το όνομά του από τα δύο κυριότερα πρωτόκολλα του μοντέλου, το *TCP* και το *IP*. Σε αντιστοιχία με την αρχιτεκτονική του *OSI*, το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP* αποτελείται από τέσσερα **επίπεδα** ή **στρώματα** (*layers*), ενώ κάθε επίπεδο, όπως και στην περίπτωση του *OSI*, υλοποιεί ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Στο σχήμα 5.22 απεικονίζονται παραστατικά αυτά τα επίπεδα, δηλαδή το επίπεδο πρόσβασης δικτύου, το επίπεδο Διαδικτύου, το επίπεδο μεταφοράς και το επίπεδο εφαρμογής.

Όπως γίνεται σε όλες τις αρχιτεκτονικές κατά στρώματα ή επίπεδα, κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του αμέσως χαμηλότερου επιπέδου, ενώ παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως υψηλότερο από αυτό επίπεδο. Ο αριθμός των επιπέδων είναι ο πλέον πρόσφορος, ώστε η αρχιτεκτονική να παραμένει απλή και ταυτόχρονα αυστηρά προσδιορισμένες λειτουργίες να τοποθετούνται σε διαφορετικά επίπεδα.

Το σύνολο των επιπέδων που υλοποιούνται στο μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*, αρχίζοντας από το χαμηλότερο (επίπεδο 1) και προχωρώντας προς το υψηλότερο (επίπεδο 4), είναι το ακόλουθο:

- ✓ **Επίπεδο 1 ή επίπεδο πρόσβασης δικτύου** (*L1: network access layer*). Αναλαμβάνει τη μεταφορά των σημάτων στο μέσο μετάδοσης. Το επίπεδο αυτό καθορίζει τις λειτουργίες του μέσου μετάδοσης και είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με το δίκτυο.
- ✓ **Επίπεδο 2 ή επίπεδο Διαδικτύου ή δικτύου** (*L2: Internet layer*). Είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες δρομολόγησης και διευθυνσιοδότησης.
- ✓ **Επίπεδο 3 ή επίπεδο μεταφοράς** (*L3: transport layer*). Αναλαμβάνει, χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων προς αυτό επιπέδων, τη μεταφορά δεδομένων απ' άκρη σ' άκρη στο δίκτυο.
- ✓ **Επίπεδο 4 ή επίπεδο εφαρμογής** (*L4: application layer*). Πρόκειται για την εφαρμογή που εμφανίζεται στο χρήστη (το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί).

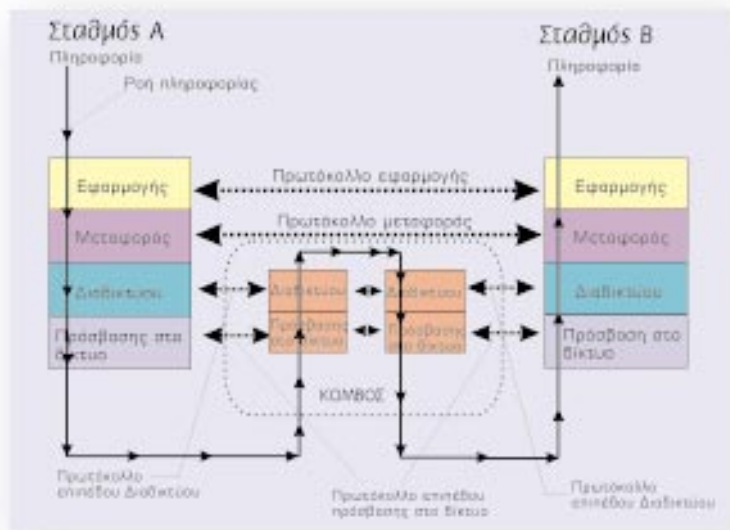
Τα *L1* έως *L3* αφορούν τις υπηρεσίες - λειτουργίες που προσφέρονται από το δίκτυο, ενώ το *L4* είναι προσανατολισμένο στις λειτουργίες της εφαρμογής του χρήστη.



Σχήμα.5.22: Τα τέσσερα επίπεδα του *TCP/IP*

### 5.6.2 Μετάδοση δεδομένων στο *TCP/IP*

Για να επικοινωνήσουν δύο ή περισσότεροι ηλεκτρονικοί υπολογιστές πρέπει, όπως ήδη έχει αναφερθεί, να διαθέτουν το ίδιο σύνολο πρωτοκόλλων. Όταν αυτό εξασφαλιστεί, οι υπολογιστές μπορούν να ανταλλάξουν δεδομένα. Όπως και στην περίπτωση του μοντέλου αναφοράς *OSI*, τα δεδομένα μεταδίδονται από το ένα επίπεδο στο αμέσως χαμηλότερό του και προωθούνται μέχρι να φθάσουν στο επίπεδο πρόσβασης

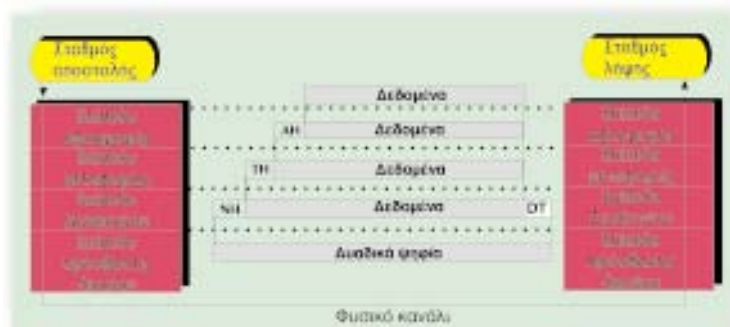


Σχήμα 5.23: Επικοινωνία σταθμών σε δίκτυο μοντέλου αναφοράς TCP/IP

Κατά τη διεκπεραίωση αυτής της λειτουργίας τα δεδομένα υφίστανται επεξεργασία η οποία βασίζεται στην ιεραρχική δομή του συνόλου των πρωτοκόλλων του TCP/IP, με αποτέλεσμα η δομή και το περιεχόμενο των δεδομένων να αλλάζουν, καθώς

δικτύου. Κατόπιν περνούν στο άλλο μηχάνημα, για να συνεχίσουν τη ροή τους προς τα επάνω, φθάνοντας στο αντίστοιχο ομότιμο επίπεδο εκείνου από το οποίο ξεκίνησαν. Σημειώνεται ότι κάθε επίπεδο επικοινωνεί μόνο με τα γειτονικά του επίπεδα μέσω μιας **διεπαφής**, η οποία καθορίζει τις λειτουργίες που επιτελεί και τις υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο.

Στο σχήμα 5.23 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επικοινωνίας μεταξύ δύο σταθμών σε ένα δίκτυο που είναι συμβατό με το μοντέλο αναφοράς TCP/IP. Ας υποθέσουμε ότι ο σταθμός A μεταδίδει στο σταθμό B. Δηλαδή το L4 του σταθμού A ανταλλάσσει δεδομένα με το L4 του σταθμού B, με το οποίο είναι ομότιμο, χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων τριών επιπέδων. Ομοίως το L3 του σταθμού A είναι ομότιμο με το L3 του σταθμού B και ανταλλάσσουν δεδομένα χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων δύο επιπέδων κτλ.



Σχήμα 5.24: Μορφή δεδομένων, καθώς διαπερνούν τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς TCP/IP.

διαπερνούν τα επίπεδα σε όλο το μήκος της διαδρομής από τον αποστολέα μέχρι τον παραλήπτη (σχήμα 5.24). Σημειώνεται ότι τα δεδομένα που διαπερνούν κάποιο επίπεδο προκειμένου να φτάσουν στο επίπεδο πρόσβασης δικτύου υφίστανται διαφορετική επεξεργασία.

Η επικοινωνία δύο υπολογιστών που χρησιμοποιούν το μοντέλο αναφοράς TCP/IP πραγματοποιείται μέσω των ακόλουθων δύο μορφών διευθυνσιοδότησης:

- ✓ Μέσω μίας μοναδικής διεύθυνσης για κάθε υπολογιστή που συνδέεται στο δίκτυο. Αυτή είναι γνωστή ως **διεύθυνση IP** (*IP address*) και μπορεί να παρομοιαστεί με το μοναδικό αριθμό κλήσης τηλεφώνου. Η διεύθυνση αυτή αποτελείται από 32 δυαδικά ψηφία, χωρισμένα ανά οκτώ με μια τελεία. Μία *IP διεύθυνση* είναι, για παράδειγμα: 10000001.00010100.00010000.00001101.
- ✓ Μέσω μίας μοναδικής διεύθυνσης για κάθε εφαρμογή που λειτουργεί στον κάθε υπολογιστή. Αυτό επιτρέπει στο επίπεδο μεταφοράς να παραδίδει τα δεδομένα στη σωστή εφαρμογή. Οι διευθύνσεις αυτές είναι γνωστές ως **θύρες** (*ports*).



Όπως φαίνεται και από το σχήμα 5.24, ο πομπός, μέσω της εφαρμογής που χρησιμοποιεί, δίνει τα αρχικά δεδομένα στο επίπεδο εφαρμογής, το οποίο προσθέτει σ' αυτά πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν μόνο από το ομότιμο επίπεδο εφαρμογής του δέκτη. Αυτές οι πληροφορίες περιέχονται σε μια επικεφαλίδα, η οποία επικολλάται στην αρχή του αρχικού πακέτου των δεδομένων και ονομάζεται **πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου** (*PCI: Protocol Control Information*). Η επικεφαλίδα, μαζί με τα αρχικά δεδομένα του χρήστη, σχηματίζει ένα νέο πλαίσιο δεδομένων, που ονομάζεται **μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου εφαρμογής** (*APDU: Application Protocol Data Unit*).

Η μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου εφαρμογής αντιστοιχεί νοητά στο ομότιμο επίπεδο εφαρμογής του δέκτη, στην πραγματικότητα όμως περνά στο αμέσως επόμενο επίπεδο μεταφοράς. Το επίπεδο μεταφοράς, μόλις την παραλάβει, επεξεργάζεται τα δεδομένα και προσθέτει τη δική του επικεφαλίδα, που ονομάζεται **πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου μεταφοράς** (*TPCI: Transport Protocol Control Information*), σχηματίζοντας τη **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου μεταφοράς** (*TPDU: Transport Protocol Data Unit*). Η μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου μεταφοράς διαπερνά στη συνέχεια το επίπεδο Διαδικτύου, όπου επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία, μέχρι τα δεδομένα να διοχετευθούν στο φυσικό κανάλι επικοινωνίας, για να οδεύσουν προς τον παραλήπτη.

Τα επίπεδα μεταφοράς και Διαδικτύου προκαλούν κατάτμηση, δηλαδή διάσπαση των δεδομένων σε μικρότερες μονάδες πληροφορίας, τις *PDU*s. Σε καθεμιά από αυτές τις μονάδες προστίθεται η πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου (*PCI*), η οποία εκτός των άλλων περιέχει πληροφορίες προκειμένου να καταστεί δυνατή η σωστή συναρμολόγηση των πακέτων στο ομότιμο επίπεδο. Αυτή η κατάτμηση των δεδομένων σε μικρότερα πακέτα έχει σκοπό να βελτιώσει την αποδοτικότητα των καναλιών επικοινωνίας.

Συμπερασματικά, σε κάθε επίπεδο προστίθεται νέα πληροφορία στα δεδομένα που έρχονται από το προηγούμενο επίπεδο, η πληροφορία ελέγχου του πρωτοκόλλου. Τα νέα δεδομένα που σχηματίζονται σε κάθε επίπεδο μετά την προσθήκη της πληροφορίας ελέγχου φέρουν τις ακόλουθες ονομασίες:

- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου εφαρμογής** (*APDU: Application Protocol Data Unit*),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου μεταφοράς** (*TPDU: Transport Protocol Data Unit*),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου Διαδικτύου ή Δικτύου** (*NPDU: Network/Internet Protocol Data Unit*),
- ✓ **μονάδα δεδομένων του πρωτοκόλλου πρόσβασης δικτύου** (*PPDU: Physical Protocol Data Unit*).

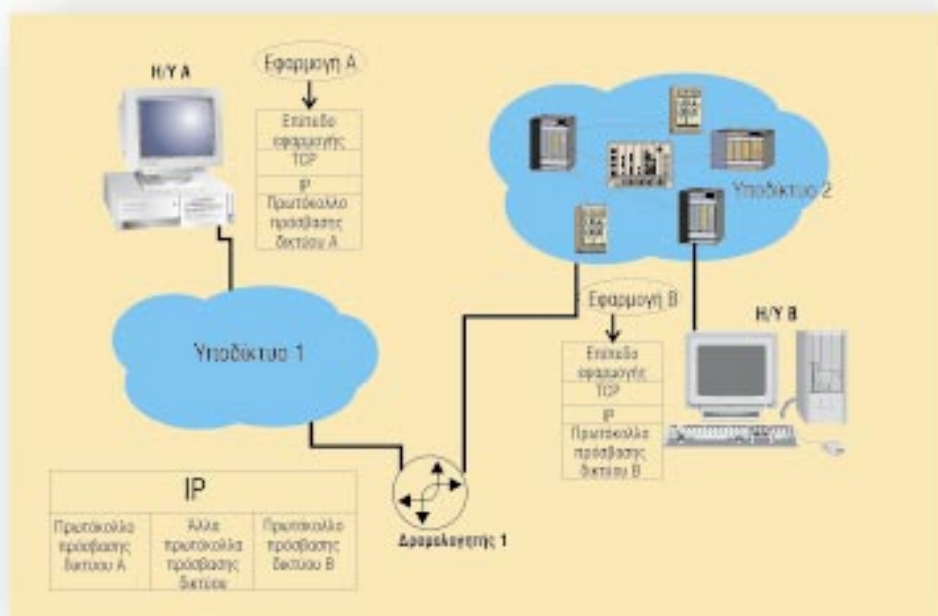




## Παράδειγμα VI

Στο σχήμα 5.25 παρουσιάζεται η διαδρομή ενός πακέτου που στέλνεται από τον υπολογιστή Α στον υπολογιστή Β μέσω ενός *TCP/IP* δικτύου.

Ο χρήστης του υπολογιστή Α θέλει να επικοινωνήσει, μέσω κάποιας εφαρμογής Α που χρησιμοποιεί τη θύρα 1, με τον υπολογιστή Β, στον οποίο η αντίστοιχη εφαρμογή Β χρησιμοποιεί τη θύρα 2. Ο χρήστης, μέσω της εφαρμογής Α, δίνει τα δεδομένα στο επίπεδο εφαρμογής, που με τη σειρά του τα περνά στο επόμενο επίπεδο, και συγκεκριμένα στο πρωτόκολλο *TCP*, με οδηγίες να τα παραδώσει στον υπολογιστή Β, θύρα 2. Το *TCP* κατακερματίζει τα δεδομένα σε *PDU*s και δίνει καθεμία από αυτές στο επόμενο επίπεδο, με την οδηγία να την παραδώσει στον υπολογιστή Β. Το *IP* προσθέτει σε καθεμία από τις *PDU*s την *IP διεύθυνση* του παραλήπτη, του υπολογιστή Β στη συγκεκριμένη περίπτωση, και τη δίνει στο επίπεδο πρόσβασης δικτύου, με την οδηγία να τη στείλει στο δρομολογητή 1, που είναι ο πρώτος σταθμός στη διαδρομή των πακέτων προς τον υπολογιστή Β. Ο δρομολογητής 1 διαβάζει τη διεύθυνση του παραλήπτη και, αν τη γνωρίζει, ξέρει πώς να στείλει τις *PDU*s στον υπολογιστή Β, αν δεν τη γνωρίζει, συνομιλεί με τους γειτονικούς δρομολογητές, για να πάρει πληροφορίες σχετικά με την καλύτερη δρομολόγηση των *PDU*s προς τον παραλήπτη. Τελικά οι *PDU*s φτάνουν στον προορισμό τους και παραδίδονται στον υπολογιστή Β. Ανεβαίνοντας προς τα υψηλότερα επίπεδα οι *PDU*s φτάνουν στο επίπεδο μεταφοράς και στο πρωτόκολλο *TCP* του παραλήπτη, επανασυναρμολογούνται και παραδίδονται στη θύρα 2 και στην αντίστοιχη εφαρμογή.



Σχήμα 5.25: Επικοινωνία δύο υπολογιστών με το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*



## 5.6.3 Τα επίπεδα του TCP/IP

### 5.6.3.1 Επίπεδο πρόσβασης δικτύου

Το **επίπεδο πρόσβασης δικτύου** (*network access layer*) είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του σταθμού με το δίκτυο. Ανιχνεύει την αρχιτεκτονική του δικτύου και ανάλογα διοχετεύει τα πακέτα στο κανάλι επικοινωνίας. Επίσης είναι υπεύθυνο για την παροχή μιας διεπαφής που θα του επιτρέψει την επικοινωνία με το επίπεδο Διαδικτύου.

Το επίπεδο αυτό καθορίζει το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των συσκευών μετάδοσης δεδομένων (σταθμών εργασίας ή προσωπικών υπολογιστών) με το δίκτυο. Το κύριο τμήμα του Διαδικτύου αποτελείται από έναν αριθμό υπολογιστών ειδικού σκοπού, που διασυνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας γραμμές επικοινωνίας παντός τύπου. Όλοι οι υπόλοιποι υπολογιστές και τα τοπικά δίκτυα συνδέονται στη συνέχεια σ' αυτούς τους ειδικού σκοπού υπολογιστές. Κατ' αυτό τον τρόπο διασυνδέονται μεταξύ τους οι υπολογιστές, χρησιμοποιώντας μια μεγάλη ποικιλία φυσικών μέσων, από τηλεφωνικές γραμμές (κοινές ή μισθωμένες) έως δορυφορικές ζεύξεις, UHF κτλ.

Το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP* δεν περιγράφει αναλυτικά το συγκεκριμένο επίπεδο ούτε τα πρωτόκολλα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, για να επιτευχθεί η πρόσβαση στο δίκτυο, με αποτέλεσμα τα χρησιμοποιούμενα σ' αυτό το επίπεδο πρωτόκολλα να ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος ή το είδος του δικτύου.

### 5.6.3.2 Επίπεδο Διαδικτύου

Το **επίπεδο Διαδικτύου** (*Internet layer*) είναι το ζωτικό επίπεδο του μοντέλου. Ο σκοπός του είναι η δρομολόγηση και η παράδοση των *PDU*s στον παραλήπτη. Προσθέτει στις *PDU*s τη διεύθυνση του παραλήπτη και τις στέλνει στο δίκτυο, προκειμένου αυτές να φθάσουν, ανεξάρτητα η μία από την άλλη, στον προορισμό τους, περνώντας από διάφορους ενδιάμεσους σταθμούς οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με το αντίστοιχο πρωτόκολλο. Στις περιπτώσεις που δύο συστήματα είναι συνδεδεμένα σε διαφορετικά δίκτυα, απαιτούνται διαδικασίες οι οποίες θα επιτρέψουν τη μετάβαση των δεδομένων στον προορισμό τους διαμέσου πολλαπλών διασυνδεδεμένων δικτύων.

Το πρωτόκολλο της οικογένειας *TCP/IP* που είναι υπεύθυνο για την παροχή υπηρεσιών σ' αυτό το επίπεδο είναι το *Internet Protocol (IP)*. Η μονάδα μεταφερόμενων δεδομένων σ' αυτό το επίπεδο είναι το πακέτο *IP* ή, όπως συνήθως λέγεται, *IP datagram*, εμπεριέχοντας έτσι την έννοια του αυτοδύναμου πακέτου, αυτού δηλαδή που διανύει ανεξάρτητα και με δικές του δυνάμεις προς τον προορισμό του. Το πακέτο *IP* περιέχει τόσο τη διεύθυνση του αποστολέα όσο και τη διεύθυνση του παραλήπτη, έτσι ώστε να μπορεί να διανεμηθεί και να δρομολογηθεί ανεξάρτητα από τα άλλα.

Καθεμία από τις *διευθύνσεις IP* έχει μήκος 32 δυαδικά ψηφία. Επειδή η απομνημόνευσή τους είναι εξαιρετικά δύσκολη, έχει επινοηθεί η παράσταση της διεύθυνσης με



έναν τρόπο απλούστερο, χρησιμοποιώντας δεκαδικούς αριθμούς. Μία *IP διεύθυνση* 32 δυαδικών ψηφίων χωρίζεται με τελείες σε τέσσερα πεδία των 8 δυαδικών ψηφίων. Κάθε πεδίο μετατρέπεται στον ισοδύναμο δεκαδικό αριθμό, ώστε τελικά η *IP διεύθυνση* να περιγράφεται από τέσσερις δεκαδικούς αριθμούς χωρισμένους με τελείες. Στην πράξη έχει επικρατήσει αυτός ο τρόπος παρουσίασης των *IP διευθύνσεων*, ο οποίος εκτός από την ευκολία απομνημόνευσης έχει και το πλεονέκτημα της ιεράρχησης των διευθύνσεων αυτών, όπως θα δούμε στη συνέχεια (Μάθημα 15.3). Για παράδειγμα, η *IP διεύθυνση*:

10110011111001000100100100001011 γίνεται

10110011.11100100.01001001.00001011 και στη συνέχεια

179.228.73.12

Τα πρωτόκολλα που συνήθως χρησιμοποιούνται σ' αυτό το επίπεδο, εκτός από το *IP*, είναι το **ICMP** (*Internet Control Messaging Protocol*), το **ARP** (*Address Resolution Protocol*), το **RARP** (*Reverse Address Resolution Protocol*) και άλλα λιγότερο γνωστά.

### 5.6.3.2.1 Το πρωτόκολλο Διαδικτύου

Το **πρωτόκολλο Διαδικτύου** (*IP: Internet Protocol*) είναι πρωτόκολλο του επιπέδου Διαδικτύου, δηλαδή του τρίτου επιπέδου κατά την ορολογία που έχει καθιερωθεί για να περιγράψει το *OSI*, και χρησιμοποιείται στη διασύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών που ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικά δίκτυα.

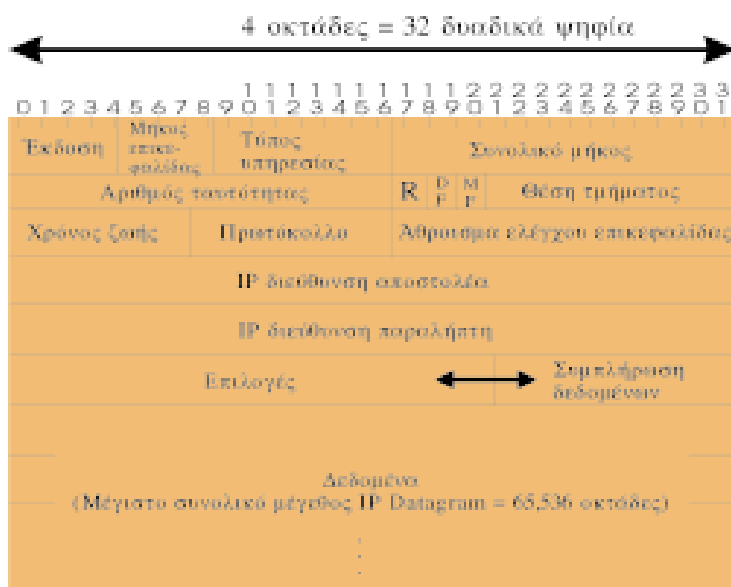
Το *IP* υποστηρίζει τις παρακάτω λειτουργίες:

- ✓ Καθορίζει τη διευθυνσιοδότηση, τη δρομολόγηση, την τμηματοποίηση και την επανασυναρμολόγηση των δεδομένων. Για παράδειγμα, αν κάποιος ενδιαμέσος υπολογιστής παραλάβει μία μονάδα δεδομένων που είναι πολύ μεγάλη για να μεταδοθεί στο επόμενο δίκτυο, τότε αυτή τμηματοποιείται σε πακέτα από το *IP*, τα οποία μεταδίδονται ανεξάρτητα. Οι *PDUs* επανασυναρμολογούνται σε μία μονάδα, μόνο όταν φτάσουν στον παραλήπτη. Αν κάποια *PDU* χαθεί, τότε απορρίπτεται όλη η μονάδα.
- ✓ Παρέχει ένα στοιχειώδη τρόπο ελέγχου ροής, έτσι ώστε, όταν μια πηγή δεδομένων αποστέλλει με μεγαλύτερους ρυθμούς από αυτούς που μπορεί να διαχειριστεί ο δέκτης, αυτό (*IP*) να ενημερώνεται με κατάλληλα μηνύματα προκειμένου να συμμορφωθεί στον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης.
- ✓ Παραλαμβάνει από το επίπεδο μεταφοράς δεδομένα μεγέθους 64 Kbytes το πολύ, τα τεμαχίζει σε μικρότερα τμήματα, αν το κρίνει απαραίτητο, και τα μεταδίδει στο δίκτυο. Η τμηματοποίηση των πακέτων γίνεται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες αυτά πρέπει, για να φτάσουν στον προορισμό τους, να περάσουν από δίκτυα που δεν μπορούν να χειριστούν μεγάλα πακέτα. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο *Ethernet* μπορεί να χειριστεί *PDUs* από 64 έως 1.500 Kbytes, οπότε σ' αυτή την περίπτωση το *IP* μπορεί παρεμβαίνοντας να τμηματοποιήσει τις *PDUs* των 64 Kbytes που παίρνει από το επίπεδο μεταφοράς σε μικρότερες *PDUs* των 1.500 bytes το πολύ.

- ✓ Το *IP* δεν εγγυάται ότι οι μονάδες δεδομένων θα διανεμηθούν οπωσδήποτε ή ότι θα διανεμηθούν σωστά. Επομένως, όταν μία *PDU* απορρίπτεται, δεν είναι δεδομένο ότι κάποιο ανώτερο πρωτόκολλο θα φροντίσει για την επαναμετάδοσή της.

Στο σχήμα 5.26 παρουσιάζεται η δομή ενός πακέτου *IP* που έχει μέγιστο μήκος 64 Kbytes. Το *IP* έχει μία επικεφαλίδα (*header*) τουλάχιστον 20 bytes και ένα πεδίο για τα δεδομένα (*data*) μεταβλητού μήκους. Αναλυτικά, αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία:

- ✓ Το πεδίο **έκδοση** (*version*). Είναι 4 δυαδικά ψηφία και δηλώνει την έκδοση του πρωτοκόλλου *IP*.
- ✓ Το πεδίο **μήκος επικεφαλίδας** (*header length*). Είναι 4 δυαδικά ψηφία και προσδιορίζει το μήκος της επικεφαλίδας, καθώς και το πεδίο των **επιλογών** (*options*). Το μήκος της επικεφαλίδας υπολογίζεται σε 32 δυαδικά ψηφία, π.χ. για πακέτα *IP* χωρίς επιλογή το πεδίο αυτό έχει τιμή 5.
- ✓ Το πεδίο **τύπος υπηρεσίας** (*type of service*). Είναι 8 δυαδικά ψηφία και χαρακτηρίζει την ποιότητα μετάδοσης που επιδιώκει ένα πακέτο. Εδώ επιλέγεται αν το πακέτο πρέπει να φθάσει γρήγορα ανεξαρτήτως ποιότητας ή αν πρέπει να φθάσει σωστά ανεξαρτήτως χρόνου. Χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν αυτή την ποιότητα είναι:
  - η αξιοπιστία,
  - η καθυστέρηση μετάδοσης,
  - ο ρυθμός διέλευσης (*throughput*) κτλ.
- ✓ Το πεδίο **συνολικό μήκος** (*total length*). Είναι 16 δυαδικά ψηφία και προσδιορίζει το μήκος όλου του πακέτου, καθώς και της επικεφαλίδας και των δεδομένων. Το μέγιστο μήκος του πακέτου μπορεί να φθάσει τα 65.536 bytes.
- ✓ Το πεδίο **αριθμός ταυτότητας** (*identification number*). Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις κατάτμησης ενός πακέτου σε μικρότερα τμήματα, ώστε ο υπολογιστής - παραλήπτης να μπορεί στη συνέχεια να προσδιορίζει για κάθε τμήμα που φθάνει σε ποιο πακέτο ανήκει. Να σημειωθεί ότι όλα τα τμήματα ενός αυτοδύναμου πακέτου (*datagram*) έχουν τον ίδιο αριθμό ταυτότητας.
- ✓ Το πεδίο **σήμανση** (*flags*). Είναι 3 δυαδικά ψηφία, από τα οποία το πρώτο, το R, έχει τιμή 0 και υπάρχει για μελλοντική χρήση. Το δυαδικό ψηφίο *DF* (*Don't Fragment*) χρησιμοποιείται ως εντολή του αποστολέα του *IP* πακέτου προς το δίκτυο, ώστε αυτό να μην τεμαχιστεί, διότι ο παραλήπτης αδυνατεί να το επανασυνδέσει.



R, DF, MP: δυαδικά ψηφία του πεδίου σήμανσης

Σχήμα 5.26: Δομή του *IP* πακέτου



- Όταν το  $DF = 1$ , σημαίνει ότι επιτρέπεται ο τεμαχισμός, ενώ
- όταν το  $DF = 0$ , σημαίνει ότι δεν επιτρέπεται.

Όταν το δυαδικό ψηφίο  $MF$  (*More Fragments*) έχει τιμή 1, δηλώνει στον παραλήπτη ότι ακολουθούν και άλλα τμήματα του ίδιου κατακερματισμένου πακέτου. Προφανώς το τελευταίο τμήμα του πακέτου έχει  $MF = 0$ .

- ✓ Το πεδίο **θέση τμήματος** (*fragment offset*). Προσδιορίζει τη θέση κάθε τμήματος στο πακέτο, ώστε ο παραλήπτης να μπορεί να επανασυναρμολογήσει το πακέτο. Το πεδίο αυτό καθορίζει την απόσταση που έχει η θέση του συγκεκριμένου τμήματος από την αρχή του  $IP$  πακέτου και μετριέται σε πολλαπλάσια του 8 δυαδικά ψηφία.
- ✓ Το πεδίο **χρόνος ζωής** (*life time*). Προσδιορίζει το χρόνο ζωής του  $IP$  πακέτου. Ο χρόνος ζωής μετριέται σε δευτερόλεπτα, αλλά το πιο συνηθισμένο είναι να μετριέται σε αριθμό ζεύξεων (*hops*), επειδή ο χρόνος διέλευσης από έναν ενδιάμεσο σταθμό σε έναν άλλο είναι κάτω του ενός δευτερολέπτου. Κάθε φορά που το πακέτο περνά από έναν ενδιάμεσο σταθμό, αφαιρείται μία μονάδα. Η τιμή έναρξης προσδιορίζεται από το πρωτόκολλο του ανώτερου επιπέδου που δημιουργεί το πακέτο, ενώ η μέγιστη τιμή έναρξης είναι το 255. Όταν η τιμή αυτή γίνει μηδέν, το πακέτο καταστρέφεται, επειδή θεωρείται ότι έχει μπει σε ατέρμονα κυκλική πορεία (*loop*) μέσα στο δίκτυο.
- ✓ Το πεδίο **πρωτόκολλο** (*protocol*). Αναφέρεται στο πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς, που χρησιμοποιείται (π.χ.  $TCP$ ,  $UDP$ ) στον τελικό σταθμό προορισμού. Τυπικές τιμές του πεδίου αυτού είναι:
  - $TCP = 6$
  - $UDP = 17$
- ✓ Το πεδίο **άθροισμα ελέγχου επικεφαλίδας** (*header checksum*). Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ορθής μετάδοσης μόνο για την επικεφαλίδα και όχι για τα δεδομένα. Επειδή υπάρχουν πεδία που αλλάζουν κατά την πορεία του μηνύματος, όπως είναι ο χρόνος ζωής, το άθροισμα ελέγχου επικεφαλίδας επανυπολογίζεται σε κάθε ενδιάμεσο επίπεδο του δικτύου.
- ✓ Το πεδίο **διεύθυνση αποστολέα** (*source address*). Είναι 32 δυαδικά ψηφία και προσδιορίζει την  $IP$  διεύθυνση του αποστολέα.
- ✓ Το πεδίο **διεύθυνση παραλήπτη** (*destination address*). Είναι 32 δυαδικά ψηφία και προσδιορίζει την  $IP$  διεύθυνση του παραλήπτη.
- ✓ Το πεδίο **επιλογές** (*options*). Είναι μη υποχρεωτικό πεδίο μεταβλητού μήκους, που χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίζει θέματα ασφάλειας, κατευθυνόμενης δρομολόγησης, χρονοσφραγίδων, καταγραφής διαδρομών κτλ. Όταν το μέγεθος του πεδίου αυτού δεν είναι πολλαπλάσιο των 32 δυαδικών ψηφίων, το υπόλοιπο συμπληρώνεται με μηδενικά.
- ✓ Το πεδίο **συμπλήρωση δεδομένων** (*padding data*). Χρησιμοποιείται για να συμπληρωθεί με 32 δυαδικά ψηφία το πεδίο επιλογές και έχει πάντα τιμή 0.
- ✓ Το πεδίο **δεδομένα** (*data*). Είναι το πεδίο που περιέχει μέρος των πραγματικών δεδομένων που στέλνει ο ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής στον άλλο.



Σε κάθε κάρτα διασύνδεσης δικτύου ( $NIC$ : *Network Interface Card*) που έχει φτιαχτεί μέχρι σήμερα έχει αποδοθεί από τον κατασκευαστή της ένας μοναδικός αριθμός 48 χαρακτήρων. Αυτή η φυσική διεύθυνση ονομάζεται διεύθυνση ελέγχου πρόσβασης μέσου (*Media Access Control* ή  $MAC$  address).



### 5.6.3.2.2 Το πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων

Το **πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων** (*ARP: Address Resolution Protocol*) χρησιμοποιείται από το μοντέλο *TCP/IP* για τη μετατροπή της *IP* διεύθυνσης της συσκευής στην πραγματική φυσική διεύθυνση **ελέγχου πρόσβασης στο μέσο** (*MAC: Media Access Control*) του υλικού. Το *TCP/IP* χρησιμοποιεί πακέτα αιτήσεων *ARP*, για να πάρει τη φυσική διεύθυνση κάθε συσκευής του δικτύου, και στη συνέχεια αντιστοιχίζει αυτή τη διεύθυνση στη *διεύθυνση IP*. Όταν δηλαδή χρειάζεται να σταλεί ένα πακέτο σε ένα συγκεκριμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή, θα πρέπει το δίκτυο — και ειδικότερα ο τελευταίος ενδιαμέσος σταθμός — πέρα από την *IP* διεύθυνση να γνωρίζει και τη φυσική *MAC* διεύθυνση του παραλήπτη. Το πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων κάνει ακριβώς αυτή τη δουλειά, δίνοντας στο σταθμό τη φυσική διεύθυνση της αντίστοιχης *IP* διεύθυνσης του υπολογιστή - παραλήπτη.

### 5.6.3.2.3 Το πρωτόκολλο ελέγχου μηνυμάτων Διαδικτύου

Το **πρωτόκολλο ελέγχου μηνυμάτων Διαδικτύου** (*ICMP: Internet Control Message Protocol*) χρησιμοποιείται κυρίως από το πρόγραμμα *Ping*. Τα πακέτα *ICMP* ενθυλακώνονται μέσα στα πακέτα *IP*, επιτρέποντας σε δύο κόμβους του δικτύου να χρησιμοποιούν από κοινού πληροφορίες για την κατάσταση και τα σφάλματα των πακέτων *IP*. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα *Ping* με τη μορφή μηνυμάτων **αιτήσεων αντήχησης** (*echo request*) και **απαντήσεων αντήχησης** (*echo reply*), για να διαπιστωθεί κατά πόσο υπάρχει μια συγκεκριμένη *IP* διεύθυνση στο δίκτυο.

### 5.6.3.3 Επίπεδο μεταφοράς

Ανεξάρτητα από τη φύση των εφαρμογών που ανταλλάσσουν δεδομένα, υπάρχει απαίτηση για αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων με τη σειρά που στάλθηκαν. Οι μηχανισμοί που παρέχουν αυτού του είδους την αξιοπιστία είναι ανεξάρτητοι από τη φύση των εφαρμογών, οπότε δικαιολογείται η ομαδοποίησή τους σε ένα επίπεδο διαμοιρασμένο σε όλες τις εφαρμογές, το οποίο αποκαλείται **επίπεδο μεταφοράς** (*transport layer*).

Το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για την παραλαβή των δεδομένων από το επίπεδο εφαρμογής, τη διάσπασή τους σε μικρότερα μηνύματα, αν χρειαστεί, την παράδοσή τους στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο του Διαδικτύου και τη διασφάλιση ότι όλα τα μηνύματα φτάνουν σωστά στην άλλη πλευρά. Αν οι *PDU*s δε φτάσουν με τη σωστή σειρά στον παραλήπτη ή περιέχουν λάθη ή χαθούν, είναι ευθύνη των πρωτοκόλλων του επιπέδου αυτού να τις τοποθετήσουν στη σωστή σειρά ή και να ζητήσουν την επαναμετάδοση των λανθασμένων ή απολεσθέντων *PDU*s. Οι υπηρεσίες αυτού του επιπέδου παρέχονται από δύο πρωτόκολλα, το *TCP* και το *UDP*.



Δίνοντας την εντολή:

`ping 150. 140.90.30`

μπορεί κάποιος να διαπιστώσει αν ο ηλεκτρονικός υπολογιστής συνδέεται στο δίκτυο, τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, με τη συγκεκριμένη *IP* διεύθυνση. Πιθανές απαντήσεις είναι:

✓ `150. 140.90.30 is alive`, που σημαίνει ότι ο υπολογιστής με *IP* διεύθυνση:

`150. 140.90.30`

είναι στο δίκτυο.

✓ `no answer`, που σημαίνει ότι ο υπολογιστής με *IP* διεύθυνση `150. 140.90.30` δεν είναι στο δίκτυο.



### 5.6.3.3.1 Πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης

Το **πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης** (*TCP: Transmission Control Protocol*) είναι το κυριότερο πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς στο μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*. Αυτό παραλαμβάνει τα δεδομένα από το επίπεδο εφαρμογής και τα τεμαχίζει σε τμήματα των 64 Kbytes το πολύ, τα οποία και στέλνει μέσω του δικτύου στο ομότιμο επίπεδο ως ξεχωριστά πακέτα. Ειδικότερα, το *TCP* είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- ✓ Είναι **προσανατολισμένο στη σύνδεση** (*connection-oriented*). Το *TCP* φροντίζει για τη σύνδεση δύο σημείων, καθώς και για τη μεταξύ τους επικοινωνία, εξασφαλίζοντας την αποστολή και τη λήψη των *PDUs*.
- ✓ Η σύνδεση παρέχεται **από το ένα άκρο στο άλλο** (*end-to-end*). Κάθε *PDU* του *TCP* έχει ένα συγκεκριμένο τελικό άκρο (σημείο προορισμού), το οποίο προσδιορίζεται μέσα στην *PDU*. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής της μέσα από τα κανάλια επικοινωνίας η *PDU* αγνοείται από όλα τα σημεία (ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή άλλες διατάξεις) από τα οποία περνάει, για να καταλήξει στο τελικό σημείο που είναι και ο προορισμός της.
- ✓ Είναι **αξιόπιστο** (*reliable*). Πρόκειται για το πιο βασικό και χαρακτηριστικό γνώρισμα του *TCP*. Το πρωτόκολλο φροντίζει να εξασφαλιστεί όχι μόνο η άφιξη των *PDUs* που στέλνονται στον προορισμό τους, αλλά και ότι αυτές φτάνουν εκεί με τη σειρά με την οποία στάλθηκαν. Αν κάποια *PDU* λείπει, το πρωτόκολλο θα ειδοποιήσει τον ηλεκτρονικό υπολογιστή - αποστολέα προκειμένου αυτή να σταλεί ξανά.

Το *TCP* υποστηρίζει τις παρακάτω λειτουργίες:

- ✓ τη λογική σύνδεση και αποσύνδεση με το ομότιμό του πρωτόκολλο,
- ✓ τη μετάδοση των δεδομένων σε πακέτα που δεν υπερβαίνουν τα 64 Kbytes,
- ✓ την αξιοπιστία της μετάδοσης,
- ✓ τον έλεγχο ροής των δεδομένων,
- ✓ την ολικά αμφίδρομη επικοινωνία κ.ά.

Προκειμένου το *TCP* να επικοινωνήσει με το επίπεδο εφαρμογής αλλά και οι εφαρμογές μεταξύ τους, χρησιμοποιείται η έννοια της **θύρας** ή **πόρτας** (*port*). Η θύρα είναι ένα πεδίο στην επικεφαλίδα του *TCP*. Σε κάθε εφαρμογή αντιστοιχεί και μια ορισμένη τιμή. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές έχουν μια συγκεκριμένη **τιμή θύρας**, όπως για παράδειγμα:

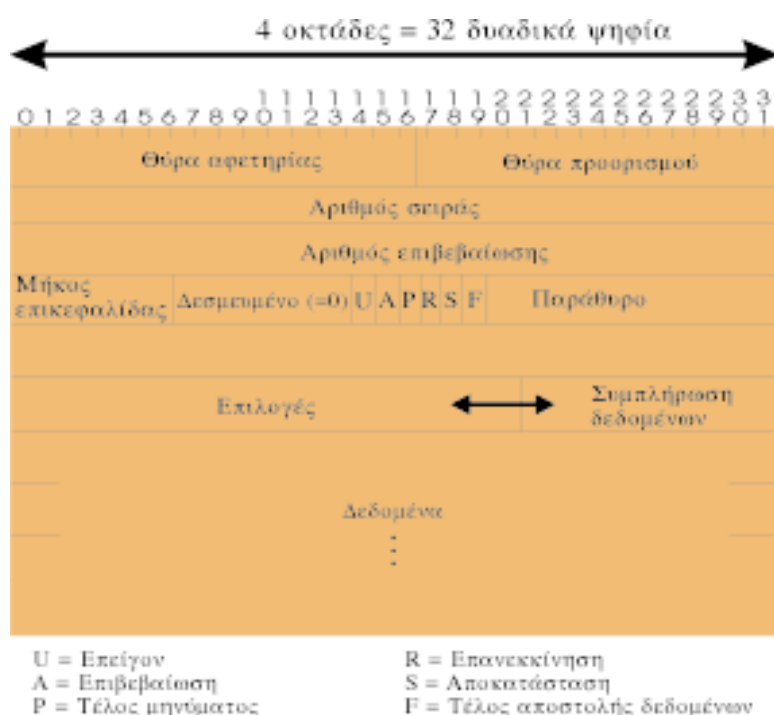
- ✓ *FTP (File Transfer Protocol)*: 21
- ✓ *SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)*: 25
- ✓ *Telnet*: 23

Στο σχήμα 5.27 παρουσιάζεται η δομή μίας *PDU* του πακέτου *TCP* που έχει μήκος 64 Kbytes. Το πακέτο αυτό αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία:

- ✓ Τα πεδία **θύρα αφετηρίας** (*source port*) και **θύρα προορισμού** (*destination port*). Αναφέρονται στον αριθμό της θύρας που αντιστοιχεί στην τρέχουσα

εφαρμογή.

- ✓ Το πεδίο **αριθμός σειράς** (*sequence number*). Είναι 32 δυαδικών ψηφίων και εξασφαλίζει ότι, όταν τα δεδομένα κατατμηθούν σε *PDU*s, αυτές θα τοποθετηθούν στη σωστή σειρά.
- ✓ Το πεδίο **αριθμός επιβεβαίωσης** (*confirmation number*). Είναι 32 δυαδικών ψηφίων και εξασφαλίζει ότι οι *PDU*s που λαμβάνονται από τον παραλήπτη το-



Σχήμα 5.27: Το πακέτο TCP

ποθετούνται στη σωστή σειρά.

- ✓ Το πεδίο **μήκος επικεφαλίδας** (*header length*). Είναι 4 δυαδικών ψηφίων και αναφέρει πόσα πεδία των 32 δυαδικών ψηφίων βρίσκονται στην επικεφαλίδα του TCP.
- ✓ Το πεδίο **δεσμευμένο** (*reserved*). Είναι 6 δυαδικών ψηφίων και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά. Η τιμή του σήμερα είναι 0.

Ακολουθούν έξι δυαδικά ψηφία τα οποία είναι:

- Το **επείγον** (*U: Urgent*), το οποίο προσδιορίζει την ύπαρξη επειγόντων δεδομένων, όπως σήματα ελέγχου, διακοπτικά στοιχεία, χαρακτήρες ελέγχου οθόνης κτλ.
- Η **επιβεβαίωση** (*A: Acknowledge*), η οποία χρησιμοποιείται για να δηλώσει ότι η σύνδεση αποκαταστάθηκε.
- Το **τέλος μηνύματος** (*P: Push*), το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει τον



τερματισμό του μηνύματος.

- Η **επανεκκίνηση** (*R: Reset*), η οποία χρησιμοποιείται για να αποκαταστήσει μια χαμένη σύνδεση.
- Η **αποκατάσταση** (*S: Syn*), η οποία χρησιμοποιείται για να αποκαταστήσει μια λανθασμένη σύνδεση.
- Το **τέλος** (*F: Fin*), το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει το τέλος της αποστολής των δεδομένων.
- ✓ Το πεδίο **παράθυρο** (*window*). Είναι 16 δυαδικών ψηφίων και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ροής των δεδομένων.
- ✓ Το πεδίο **έλεγχος αθροίσματος** (*checksum*). Είναι 16 δυαδικών ψηφίων και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ορθότητας των δεδομένων.
- ✓ Το πεδίο **επείγον δείκτης** (*urgent pointer*). Είναι 16 δυαδικών ψηφίων, και χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί ο πρώτος χαρακτήρας δεδομένων μετά από αυτά που έχουν χαρακτηριστεί ως επείγοντα.
- ✓ Το πεδίο **επιλογές** (*options*). Είναι μεταβλητού μήκους και χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται από το *TCP*, όπως για παράδειγμα το μέγιστο μήκος της μονάδας δεδομένων πρωτοκόλλου μεταφοράς (*TPDU*).
- ✓ Το πεδίο **συμπλήρωση δεδομένων** (*padding data*). Χρησιμοποιείται για να συμπληρώσει το προηγούμενο πεδίο, έτσι ώστε αυτό να γίνει 32 δυαδικών ψηφίων, και έχει πάντα τιμή 0.
- ✓ Το πεδίο **δεδομένα** (*data*). Είναι μέρος των πραγματικών δεδομένων που στέλνει ο ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής στον άλλο.

### 5.6.3.3.2 Πρωτόκολλο διαγράμματος δεδομένων χρήστη

Το **πρωτόκολλο διαγράμματος δεδομένων χρήστη** (*UDP: User Datagram Protocol*) είναι και αυτό ένα βασικό πρωτόκολλο μεταφοράς πακέτων δικτύου. Τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου αυτού είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Είναι **μη βασισμένο στη σύνδεση** (*connectionless*). Αυτό σημαίνει ότι το πακέτο *UDP* που στέλνεται από ένα πρόγραμμα σε ολόκληρο το δίκτυο έχει την ελπίδα ότι θα καταλήξει στον προορισμό του και ότι θα φτάσει στη σωστή σειρά.
- ✓ Θεωρείται απλό στην υλοποίησή του.
- ✓ Δεν προσφέρει μηχανισμούς αξιοπιστίας και ελέγχου ροής.

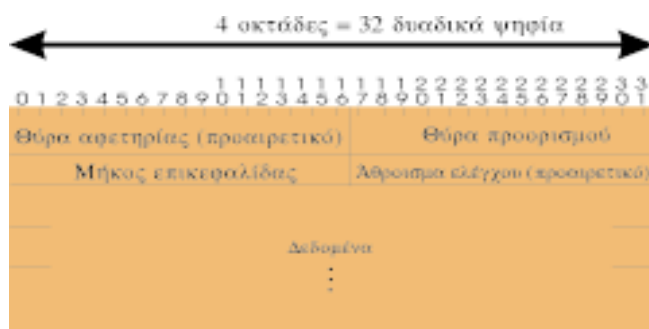
Το *UDP* χρησιμοποιείται σε κάποιες εφαρμογές, όπως η *NFS* (*Network File System*) για διαχείριση αρχείων δικτύου και η *TFTP* (*Trivial File Transfer Protocol*) για μεταφορά αρχείων, στις οποίες η ίδια η εφαρμογή αποφασίζει να καταβάλει την επιπλέον προσπάθεια προκειμένου να εκτελεστεί πρόσθετος έλεγχος και παρακολούθηση των ασφαλμάτων, έτσι ώστε να επωφεληθεί από τη μεγαλύτερη ταχύτητα και τη μικρότερη επιβάρυνση του *UDP*.

Επίσης το *UDP* χρησιμοποιείται συχνά για **μηνύματα εκπομπής** (*broadcast messages*), όταν δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τελικός αποδέκτης, μπορεί όμως

να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές στις οποίες ο αποστολέας είναι διατεθειμένος να αποδεχτεί κάποια επιπλέον εσωτερική επιβάρυνση, για να εξασφαλίσει την αξιοπιστία της παράδοσης, κάτι το οποίο συντελεί τελικά στη μείωση της συνολικής επιβάρυνσης του πρωτοκόλλου.

Στο σχήμα 5.28 παρουσιάζεται η δομή ενός πακέτου *UDP* που έχει μήκος 64 Kbytes και αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία:

- ✓ Τα πεδία **θύρα αφετηρίας** (*source port*) και **θύρα προορισμού** (*destination port*). Αναφέρονται στον αριθμό της θύρας που αντιστοιχεί στην τρέχουσα εφαρμογή.
- ✓ Το πεδίο **μήκος επικεφαλίδας** (*header length*). Είναι 16 δυαδικών ψηφίων και προσδιορίζει το μέγεθος του πακέτου, συμπεριλαμβανομένης και της επικεφαλίδας.
- ✓ Το πεδίο **έλεγχος αθροίσματος** (*checksum*). Είναι 16 δυαδικών ψηφίων, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ορθότητας των δεδομένων και είναι προαιρετικό.
- ✓ Το πεδίο **δεδομένα** (*data*). Περιλαμβάνει μέρος των πραγματικών δεδομένων.



Σχήμα 5.28: Το πακέτο *UDP*

### 5.6.3.4 Επίπεδο εφαρμογής

Επάνω από το επίπεδο μεταφοράς στο μοντέλο *TCP/IP* είναι το **επίπεδο εφαρμογής** (*application layer*). Δεν υπάρχουν στο μοντέλο *TCP/IP* τα επίπεδα συνόδου και παρουσίασης όπως στο *OSI*, που έτσι κι αλλιώς, όπως έχει δείξει η έως τώρα εμπειρία, ελάχιστα χρησιμοποιούνται. Στο επίπεδο εφαρμογής υπάρχουν πολλά ευρέως διαδεδομένα πρωτόκολλα, όπως το **πρωτόκολλο εξομοίωσης τερματικού** (*terminal emulator protocol*), γνωστό και ως *Telnet*, που επιτρέπει σε κάποιον χρήστη να συνδεθεί από τον υπολογιστή του με κάποιο απομακρυσμένο μηχάνημα, το **πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων** (*FTP: File Transfer Protocol*), που χρησιμοποιείται για μεταφορά αρχείων από έναν υπολογιστή σε έναν άλλο, το **πρωτόκολλο μεταφοράς απλού ταχυδρομείου** (*SMTP: Simple Mail Transfer Protocol*) για αποστολή και λήψη ηλεκτρονικής αλληλογραφίας, το **πρωτόκολλο HTTP** (*Hyper Text Transfer Protocol*) για μεταφορά ιστοσελίδων από το Διαδίκτυο στον υπολογιστή μας και πολλά άλλα. Στο σχήμα 5.29 παρουσιάζονται τα τέσσερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *TCP/IP* σε αντιστοιχία με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που εφαρμόζονται σε κάθε επίπεδο του *TCP/IP*, καθώς και τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI*.

Επίπεδο OSI	Οικογένεια TCP/IP				DNS				Εφαρμογή
	T	G	E	K					
7	F	O	R	S					
6	L	F	B	F	H	S	Domain	S	
5	N	H	E	T	T	M	Name	N	
	T	E	R	P	T	P	System	M	
								P	
4	TCP				UDP				
3	ARP		IP		ICMP		RARP		CRW-P
2	Ethernet		Fast Ethernet		Token Ring		SDLC		
1	802.3		802.5		FDDI		X.25		

Σχήμα 5.29: Σχέση επιπέδων και πρωτοκόλλων στο μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*





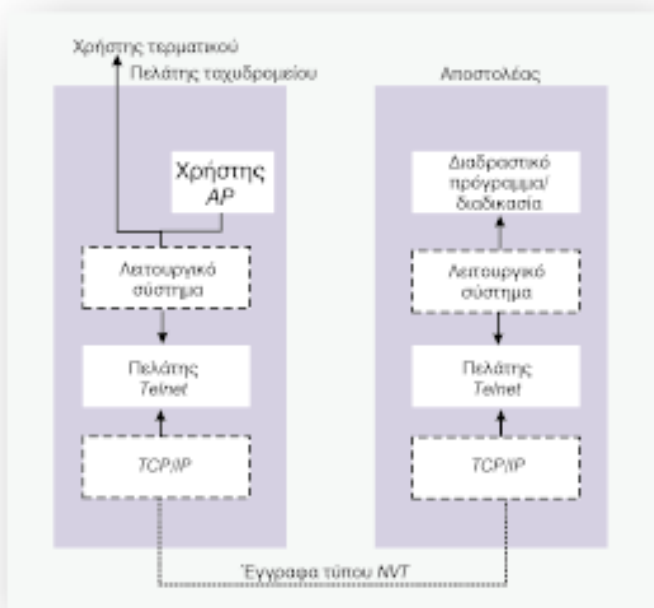
#### 5.6.3.4.1 Πρωτόκολλο εξομοίωσης τερματικού

Το **πρωτόκολλο εξομοίωσης τερματικού** (*Telnet*) χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση μιας σύνδεσης με κάποιον απομακρυσμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου αυτού υλοποιείται μέσω της αρχιτεκτονικής πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.30, ο πελάτης *Telnet* προσεγγίζεται μέσω του λειτουργικού συστήματος του τοπικού υπολογιστή με τη βοήθεια μιας εφαρμογής. Το *Telnet* προσφέρει υπηρεσίες που επιτρέπουν στο χρήστη να επικοινωνήσει (*log on*) με το λειτουργικό σύστημα ενός απομακρυσμένου ηλεκτρονικού υπολογιστή και να χρησιμοποιήσει τα εγκατεστημένα προγράμμάτα του, όπως για παράδειγμα τον επεξεργαστή κειμένου ή την ηλεκτρονική αλληλογραφία του.

Όλες οι εντολές του χρήστη περνούν μέσω του τοπικού λειτουργικού συστήματος στον πελάτη *Telnet* και στη συνέχεια μέσω του μοντέλου *TCP* στο σταθμό εξυπηρέτησης *Telnet*, δηλαδή στο απομακρυσμένο μηχάνημα. Με τον ίδιο τρόπο τα αποτελέσματα επιστρέφονται στον πελάτη *Telnet* και μέσω του τοπικού λειτουργικού συστήματος στο χρήστη.

Τα δύο πρωτόκολλα *Telnet*, του πελάτη και του σταθμού εξυπηρέτησης, επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας εντολές που είναι κωδικοποιημένες σε ένα πρότυπο το οποίο ονομάζεται **δίκτυο νοητού τερματικού** (*NVT: Network Virtual Terminal*). Για να αποδοθούν οι εντολές αυτές, χρησιμοποιείται το σύνολο των χαρακτήρων *ASCII*. Όλα τα δεδομένα εισόδου και εξόδου που σχετίζονται με την επικοινωνία των δύο ομότιμων πρωτοκόλλων πελάτη και σταθμού εξυπηρέτησης μεταφέρονται προς μία κατεύθυνση με σειρές χαρακτήρων *ASCII*. Αν τα δύο μηχανήματα δε χρησιμοποιούν το ίδιο σύνολο χαρακτήρων, τότε τα αντίστοιχα πρωτόκολλα *Telnet* μεταφέρουν μαζί τους και την πληροφορία για την αντιστοίχιση (*mapping*) των

δύο συνόλων, αναλαμβάνοντας έτσι και το ρόλο του επιπέδου παρουσίασης του μοντέλου αναφοράς *OSI*.



Σχήμα 5.30: Η αρχιτεκτονική πελάτη - σταθμός εξυπηρέτησης στην υπηρεσία προσομοίωσης τερματικού (*Telnet*)

#### 5.6.3.4.2 Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων

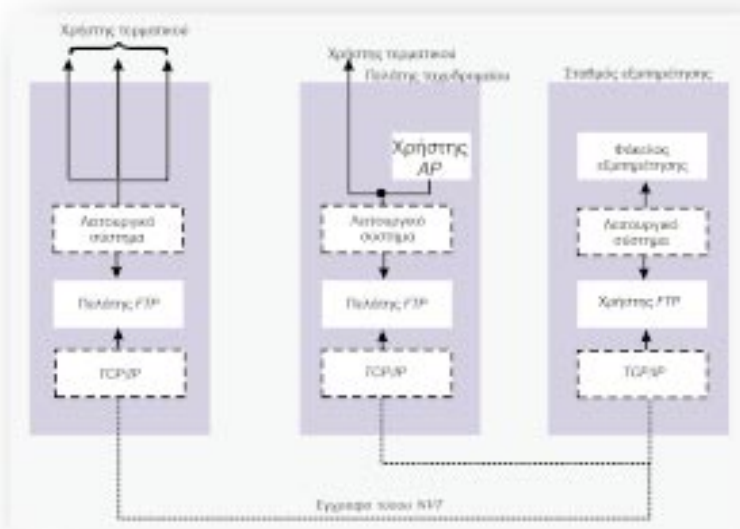
Το **πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων** (*FTP: File Transfer Protocol*) επιτρέπει την πρόσβαση και τη διαχείριση ενός απομακρυσμένου σταθμού εξυπηρέτησης αρχείων (*file server*). Η λειτουργία και αυτού του πρωτοκόλλου υλοποιείται μέσω της αρχιτεκτονικής πελάτη - σταθμός εξυπηρέτησης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.31, ο πελάτης *FTP* προσεγγίζεται μέσω του λειτουργικού συστήματος του τοπικού υπολογιστή είτε

απευθείας είτε με τη βοήθεια μιας εφαρμογής. Το *ftp* προσφέρει υπηρεσίες που επιτρέπουν στο χρήστη να διαχειριστεί ένα σύστημα αρχείων που βρίσκεται σε έναν απομακρυσμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αναλυτικότερα, ο χρήστης μπορεί να δει τη δομή του απομακρυσμένου συστήματος αρχείων, να διαγράψει, να μετονομάσει, να δημιουργήσει, να μεταφέρει αρχεία και γενικά να χρησιμοποιήσει όλες τις λειτουργίες ενός συστήματος αρχείων.

Ο πελάτης *FTP* επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει τη δομή των αρχείων και τον τύπο των δεδομένων τα οποία εμπλέκονται στις τυχόν διεργασίες του. Τρεις τύποι δεδομένων είναι στη διάθεση του χρήστη:

- ✓ δυαδικά ψηφία σταθερού μήκους,
- ✓ κείμενο (*text ASCII* και *EBCDIC*),
- ✓ δυαδικά ψηφία μεταβλητού μήκους.

Να σημειωθεί ότι σε έναν απομακρυσμένο σταθμό εξυπηρέτησης αρχείων μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω *FTP* περισσότεροι του ενός χρήστες, όπως άλλωστε φαίνεται και στο σχήμα 5.31.



Σχήμα 5.31: Αρχιτεκτονική πελάτη - σταθμός εξυπηρέτησης *FTP*

#### 5.6.3.4.3 Πρωτόκολλο μεταφοράς απλού ταχυδρομείου

Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, γνωστότερο και ως *e-mail*, είναι η πιο διαδεδομένη υπηρεσία που προσφέρουν τα δίκτυα. Τα τοπικά συστήματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου έκαναν την εμφάνισή τους ταυτόχρονα με την εμφάνιση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ήταν θέμα χρόνου να επεκταθεί αυτή η υπηρεσία και στα διασυνδεδεμένα δίκτυα. Το **πρωτόκολλο μεταφοράς απλού ταχυδρομείου** (*SMTP: Simple Mail Transfer Protocol*) είναι ένα πρωτόκολλο που διαχειρίζεται τη μεταφορά του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε απομακρυσμένους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και δίκτυα. Να σημειωθεί ότι το *SMTP* δε διαχειρίζεται το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο χρηστών που συνδέονται σε ένα τοπικό δίκτυο, αφού αυτό είναι αρμοδιότητα του τοπικού συστήματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Διαχειρίζεται όμως την εξωτερική αλληλογραφία του τοπικού δικτύου, σε συ-



Σχήμα 5.32: Σχέση *SMTP* και τοπικού συστήματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου



νεργασία πάντα με το τοπικό σύστημα. Η σχέση του *SMTP* και του τοπικού συστήματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου φαίνεται στο σχήμα 5.32.

Ο τυπικός σχεδιασμός του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου προϋποθέτει μια ουρά εισόδου, μια ουρά εξόδου, μια διεπαφή μεταξύ του τοπικού συστήματος και του *SMTP*, καθώς και την αρχιτεκτονική πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης του *SMTP*. Ο πελάτης *SMTP* είναι υπεύθυνος για την αποστολή της αλληλογραφίας, ενώ ο σταθμός εξυπηρέτησης *SMTP* είναι υπεύθυνος για τη λήψη της.

Το τοπικό σύστημα αλληλογραφίας παρέχει πάντα στο χρήστη ένα **κουτί αλληλογραφίας** (*mailbox*), στο οποίο ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει την αλληλογραφία του, αλλά και να την ανακαλέσει οποτεδήποτε το επιθυμήσει. Ένα κουτί αλληλογραφίας χαρακτηρίζεται από δύο πεδία, το **τοπικό πεδίο** (*local part*) και το **γενικό πεδίο** (*global part*). Το πρώτο είναι συνήθως ένα όνομα που παραπέμπει στο χρήστη και είναι μοναδικό στο τοπικό σύστημα ταχυδρομείου. Το δεύτερο παραπέμπει στο όνομα του οργανισμού στον οποίο ανήκει ο χρήστης και είναι μοναδικό σε όλο το Διαδίκτυο. Τα δύο πεδία χωρίζονται με το σύμβολο @. Ένα παράδειγμα διεύθυνσης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου φαίνεται στο σχήμα 5.33.



Σχήμα 5.33: Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου

Οι σημαντικότερες λειτουργίες του *SMTP* είναι οι εξής:

- ✓ Ο καθορισμός της μορφής (*format*) της ηλεκτρονικής αλληλογραφίας, ώστε να διασφαλιστεί ότι η μορφή είναι κατανοητή και από τα δύο μέρη που επικοινωνούν.
- ✓ Η μεταφορά της ηλεκτρονικής αλληλογραφίας από τη μία διάταξη στην άλλη.

Όσον αφορά τη μορφή, σήμερα χρησιμοποιούνται πολλά προγράμματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Είναι πολύ συχνό φαινόμενο δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές που ανταλλάσσουν μηνύματα αλληλογραφίας να χρησιμοποιούν διαφορετικές εφαρμογές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Μεταξύ των δύο εφαρμογών το ρόλο του μεταφραστή παίζει το *SMTP*, ώστε τα μηνύματα να είναι κατανοητά και στις δύο εφαρμογές.

Η μορφή του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου απαρτίζεται από δύο μέρη, την **επικεφαλίδα** (*header*) και το κυρίως **σώμα** (*body*). Τα δύο αυτά μέρη αποτελούνται από ένα σύνολο γραμμών κειμένου *ASCII* με μια κενή γραμμή ενδιάμεσα, ώστε να ξεχωρίζουν. Κάθε γραμμή στην επικεφαλίδα περιέχει μια **λέξη - κλειδί** (*keyword*), που ακολουθείται από μια σειρά αλφαριθμητικών με μια διπλή τελεία ενδιάμεσα, για να ξεχωρίζουν. Κάποιες λέξεις - κλειδιά είναι υποχρεωτικές, ενώ άλλες είναι προαιρετικές. Μια τυπική επικεφαλίδα θα μπορούσε να αποτελείται από τις παρακάτω γραμμές:

TO:	Όνομα παραλήπτη, π.χ. tsili@aia.gr
FROM:	Όνομα αποστολέα, π.χ. alexiou@cti.gr
CC:	Αντίγραφα σε άλλους παραλήπτες



SUBJECT: Τίτλος μηνύματος  
DATE: Ημερομηνία αποστολής

Το κυρίως σώμα περιέχει το μήνυμα που αποστέλλεται στον παραλήπτη.

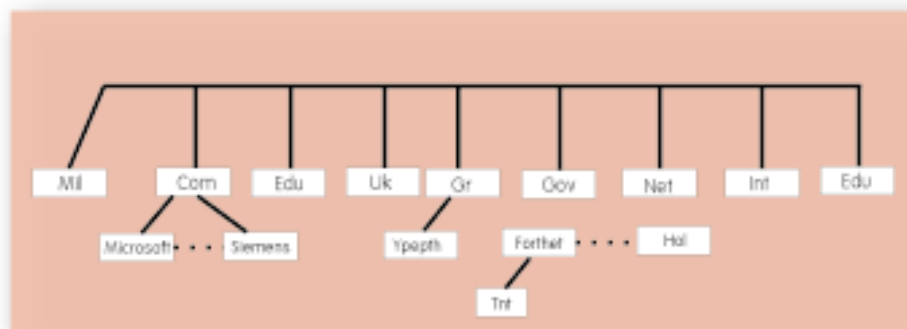
Η δεύτερη λειτουργία του *SMTP* είναι η μεταφορά του ηλεκτρονικής αλληλογραφίας. Από τη στιγμή που το μήνυμα είναι έτοιμο να αποσταλεί στον παραλήπτη, το τοπικό σύστημα αλληλογραφίας ελέγχει το όνομα του παραλήπτη, για να διαπιστώσει αν πρόκειται για κάποιον τοπικό ή εξωτερικό χρήστη. Στην πρώτη περίπτωση η αλληλογραφία διεκπεραιώνεται με τη βοήθεια του τοπικού συστήματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το μήνυμα στέλνεται στην ουρά εξόδου, προκειμένου να διεκπεραιωθεί από τον *SMTP* πελάτη.

#### 5.6.3.4.4 Υπηρεσίες καταλόγου

Σε ένα οποιοδήποτε τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι απαραίτητο να υπάρχουν υπηρεσίες καταλόγου, με σκοπό τη διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα οι χρήστες του τηλεφωνικού συστήματος χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες καταλόγου, το γνωστό 131, για να βρουν το τηλέφωνο κάποιου συνδρομητή με τον οποίο θέλουν να επικοινωνήσουν. Αντίστοιχα, το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP* έχει τη δική του υπηρεσία καταλόγου, η οποία είναι γνωστή ως **σύστημα ονομασίας περιοχών** (*DNS: Domain Name System*). Η αντίστοιχη υπηρεσία στο μοντέλο αναφοράς *OSI* ονομάζεται **κατάλογος X.500**.

Το σύστημα ονομασίας περιοχών υιοθετήθηκε το 1984, για να αποτελέσει τη σύμβαση ονομασίας του Διαδικτύου που θα χρησίμευε για την αντιστοίχιση διευθύνσεων *IP* σε ονόματα συσκευών. Σχεδιάστηκε από τον Paul Mockapetris και περιγράφεται ως μια «ιεραρχική και κατανεμημένη βάση δεδομένων ονομάτων». Η ιεραρχική δομή του *DNS* ξεκινά με τη **βασική περιοχή** (*root domain*), που συμβολίζεται συνήθως με μία κουκκίδα (*.*), όπως φαίνεται στην ανεστραμμένη δένδροειδή δομή του σχήματος 5.34. Κάτω από τη βασική περιοχή υπάρχουν οι περιοχές **ανώτατου επιπέδου** (*top-level domains*), στις οποίες περιλαμβάνονται σήμερα οι αρχικές επτά περιοχές αυτού του επιπέδου και περιοχές που προστέθηκαν αργότερα, έτσι ώστε να μπορούν να φιλοξενηθούν στο Διαδίκτυο διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Οι επτά αρχικές περιοχές ανώτατου επιπέδου ήταν σαφέστατα σχεδιασμένες για τις Η.Π.Α. και είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **.com εμπορικοί (commercial)** οργανισμοί, όπως η Hewlett-Packard (*hp.com*) και η Microsoft (*microsoft.com*).
- ✓ **.edu εκπαιδευτικοί (educational)** οργανισμοί, όπως το Πανεπιστήμιο Berkeley της Καλιφόρνια (*berkeley.edu*) και το Πανεπιστήμιο Stanford (*stanford.edu*).
- ✓ **.gov κυβερνητικές (government)** υπηρεσίες, όπως το Γραφείο του προέδρου των Η.Π.Α. (*whitehouse.gov*).
- ✓ **.mil στρατιωτικές (military)** υπηρεσίες, όπως το Γενικό Επιτελείο Ναυτικού των



Σχήμα 5.34: Η ιεραρχική δομή του DNS

Η.Π.Α. (navy.mil).

- ✓ **.net οργανισμοί δικτύωσης (networking)**, όπως το InterNIC (internic.net).
- ✓ **.org μη εμπορικοί οργανισμοί (organizations)**, όπως η αμερικανική δημόσια ραδιοφωνία National Public Radio (npr.org).
- ✓ **.int διεθνείς (international) οργανισμοί**, όπως το NATO (nato.int).

Οι ονομασίες των διάφορων γεωγραφικών περιοχών που προστέθηκαν σ' αυτές τις περιοχές ανώτατου επιπέδου αντιστοιχούν στις διεθνείς συντομίες της ονομασίας κάθε κράτους, όπως είναι για παράδειγμα: *gr* για την Ελλάδα, *uk* για τη Βρετανία, *au* για την Αυστραλία κ.ο.κ.

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του *DNS* είναι ότι υλοποιείται σε κατανεμημένη βάση δεδομένων. Πρόκειται για μια σύμβαση ονομασίας, η οποία όμως δεν επιδέχεται δυναμικές αλλαγές. Αυτό συνιστά ταυτόχρονα και το μεγαλύτερο μειονέκτημα του *DNS*, αφού απαιτείται πολύς χρόνος προκειμένου οι ενημερώσεις ή οι μεταβολές της βάσης δεδομένων να ενεργοποιηθούν στους κόμβους του Διαδικτύου.



Σήμερα γνωστοί φυλλομετρητές είναι οι *Netscape 4.x* της *Netscape* και *Internet Explorer 5.x* της *Microsoft*, ενώ υπάρχουν και αρκετοί άλλοι λιγότερο γνωστοί.

#### 5.6.3.4.5 Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου

Η αλματώδης ανάπτυξη του Διαδικτύου τα τελευταία χρόνια οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ευελιξία του, η οποία σε μεγάλο βαθμό είναι αποτέλεσμα της χρήσης του **πρωτοκόλλου μεταφοράς υπερκειμένου** (*HTTP: HyperText Transfer Protocol*). Το πρωτόκολλο αυτό καθορίζει τον τρόπο μεταφοράς των δεδομένων υπερκειμένου μέσω των δικτύων *TCP/IP*. Τα δεδομένα υπερκειμένου διαμορφώνονται μέσω της **γλώσσας μορφοποίησης υπερκειμένου** (*HTML: HyperText Markup Language*). Μια σελίδα υπερκειμένου μπορεί να έχει **δεσμούς** (συνδέσεις) με άλλες σελίδες υπερκειμένου, επιτρέποντας έτσι στην ίδια σελίδα να περιέχει γραφικά, κείμενο, αρχεία ήχου, βίντεο κτλ. Ειδικά προγράμματα, οι **φυλλομετρητές παγκόσμιου ιστού** (*WEB-browsers*), χρησιμοποιούνται μέσω του *HTTP*, ώστε να μπορεί κανείς να δει *HTML* σελίδες.





## Μάθημα 5.7: Σύγκριση των μοντέλων αναφοράς TCP/IP και OSI

### 5.7.1 Εισαγωγή

Συγκρίνοντας τα δύο μοντέλα αναφοράς, *OSI* και *TCP/IP*, είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι δε συγκρίνονται τα πρωτόκολλα που λειτουργούν στα διάφορα επίπεδα των μοντέλων. Βέβαια η ονομασία του μοντέλου *TCP/IP* παραπέμπει στα δύο κυριότερα πρωτόκολλα που βρίσκονται στο επίπεδο μεταφοράς και στο επίπεδο Διαδικτύου αντίστοιχα και αυτός ίσως είναι ένας λόγος σύγχυσης.

Αρκετές είναι οι ομοιότητες αλλά και οι διαφορές των δύο μοντέλων, οι σημαντικότερες από τις οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 5.7.2 Ομοιότητες

- ✓ Και τα δύο μοντέλα αναφοράς περιγράφονται υπό μορφή επιπέδων.
- ✓ Σε κάθε επίπεδο δρουν κάποια πρωτόκολλα, που αναφέρονται και ως πρωτόκολλα του αντίστοιχου επιπέδου. Για παράδειγμα, στο επίπεδο μεταφοράς του μοντέλου *TCP/IP* μπορούμε να συναντήσουμε δύο πρωτόκολλα, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, το *TCP* και το *UDP*. Άρα η αντιστοιχία πρωτοκόλλων - επιπέδων δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένη.
- ✓ Συνήθως κάθε επίπεδο περιλαμβάνει περισσότερα από ένα πρωτόκολλα. Το ποιο πρωτόκολλο θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τις απαιτήσεις των χρηστών και της εφαρμογής που επιλέγουν για να επικοινωνήσουν.
- ✓ Και στα δύο μοντέλα αναφοράς τα πρωτόκολλα των υψηλότερων επιπέδων από το επίπεδο μεταφοράς (του επιπέδου μεταφοράς συμπεριλαμβανομένου) είναι ανεξάρτητα από το δίκτυο που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί η επικοινωνία.

### 5.7.3 Διαφορές

Παρά τις ομοιότητες των δύο μοντέλων αναφοράς υπάρχουν και σημαντικές διαφορές, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- ✓ Η περιγραφή του *OSI* θεωρείται πληρέστερη από αυτήν του *TCP/IP*, αν και στην πορεία αποδείχτηκε ότι και στο *OSI* υπήρχαν ελλείψεις οι οποίες έπρεπε να συμπληρωθούν. Η μεγαλύτερη προσφορά του *OSI* είναι το γεγονός ότι κάνει ένα σαφή διαχωρισμό ανάμεσα στις έννοιες της **υπηρεσίας**, της **διεπαφής** και του **πρωτοκόλλου**. Στο *TCP/IP* ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι ευδιάκριτος. Αν και έγιναν αρκετές προσπάθειες προκειμένου να οριοθετηθούν σαφέστερα οι έν-

νοιες αυτές, δεν υπήρξε σημαντική βελτίωση. Ο λόγος που παρουσιάζεται αυτή η διαφορά στα δύο μοντέλα είναι ο εξής: το μοντέλο *OSI* πρώτα περιγράφηκε από τους ειδικούς και μετά γράφτηκαν τα πρωτόκολλα και όλο το σχετικό λογισμικό που αφορούσε τη λειτουργία των διεπαφών και των υπηρεσιών που προσφέρονται. Αντίθετα, στην περίπτωση του *TCP/IP* τα πράγματα ακολούθησαν διαφορετική πορεία. Πρώτα δημιουργήθηκαν τα πρωτόκολλα, τα οποία βέβαια πράγματι έκαναν τη δουλειά τους, και μετά, με βάση τα υπάρχοντα πρωτόκολλα, δημιουργήθηκε το μοντέλο. Αυτό φυσικά είχε πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα.

- ✓ Στην περίπτωση του *TCP/IP* δεν υπήρξε πρόβλημα συμφωνίας πρωτοκόλλων - μοντέλου, καθώς το μοντέλο περιγράφηκε με βάση τα υπάρχοντα πρωτόκολλα, με αποτέλεσμα αυτά να ταιριάζουν (εκ των υστέρων) απόλυτα στο μοντέλο. Βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, στο *TCP/IP* δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στις έννοιες του πρωτοκόλλου, της διεπαφής και της υπηρεσίας.
- ✓ Στην περίπτωση του *OSI* το μοντέλο περιγράφηκε κάνοντας σαφή διαχωρισμό στις έννοιες που υιοθετήθηκαν από τα πρωτόκολλα. Ωστόσο η ανυπαρξία κάποιων έτοιμων πρωτοκόλλων τα οποία θα προσδιόριζαν (εκ των προτέρων) με ακρίβεια τον ορισμό του μοντέλου είχε ως αποτέλεσμα το μοντέλο που δημιουργήθηκε να είναι αρκετά γενικό. Όταν λοιπόν υλοποιήθηκαν δίκτυα που χρησιμοποιούσαν λειτουργικά το μοντέλο *OSI*, τότε εμφανίστηκαν τα προβλήματα, τα οποία έγινε προσπάθεια να επιλυθούν με την επέκταση, τις περισσότερες φορές, του ορισμού και της λειτουργικότητας του μοντέλου. Για παράδειγμα, αρχικά το *OSI* στο επίπεδο γραμμής δεδομένων αναφερόταν μόνο σε δίκτυα σημείου προς σημείο και δεν είχε λάβει υπόψη του τα δίκτυα εκπομπής, τα οποία εμφανίστηκαν στο προσκήνιο αργότερα. Έτσι λοιπόν προστέθηκε ένα υποεπίπεδο (*sub-layer*) στο επίπεδο γραμμής δεδομένων το οποίο ασχολείται με τα δίκτυα εκπομπής.
- ✓ Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι αυτή του αριθμού των επιπέδων τους (σχήμα 5.35). Στο *OSI* έχουμε επτά επίπεδα, ενώ στο *TCP/IP* τέσσερα. Η χρήση των επτά επιπέδων κρίνεται σήμερα υπερβολική, την εποχή όμως που γινόταν η συζήτηση για την περιγραφή του μοντέλου *OSI* η συγκεκριμένη λύση φαινόταν η καλύτερη. Σημειώνεται ότι η βρετανική πρόταση περιγραφής ενός μοντέλου πέντε επιπέδων τελικά δεν ευδοκίμησε. Η λύση των επτά επιπέδων βρήκε πρόσφορο έδαφος, αφού εκείνη την εποχή η IBM κυριαρχούσε απόλυτα στο χώρο και είχε ήδη κατασκευάσει ένα πρωτόκολλο επτά επιπέδων, το γνωστό *SNA* (Μάθημα 5.1). Η επιτροπή που είχε υπό την ευθύνη της την περιγραφή του νέου μοντέλου και που αποτελούνταν από εκπροσώπους της βιομηχανίας,



Σχήμα 5.35: Σύγκριση επιπέδων των μοντέλων αναφοράς *OSI* και *TCP/IP*



της τηλεφωνίας, των μεγάλων εταιρειών ηλεκτρονικών υπολογιστών, διάφορων διεθνών οργανισμών που έχουν ήδη αναφερθεί, καθώς και από εκπροσώπους κρατών, δεν κατάφερε να περιγράψει ένα μοντέλο διαφορετικό από το μοντέλο της IBM, κυρίως από το φόβο μήπως αυτό αποτύχει και η IBM γίνει η απόλυτη κυρίαρχος του χώρου. Εξάλλου το μοντέλο *TCP/IP* δεν είχε ακόμα δείξει την πραγματική του δύναμη. Έτσι λοιπόν η επιτροπή περιέγραψε ένα μοντέλο κοντά στα πρότυπα της IBM, με σκοπό να γίνει ευκολότερα ένα παγκόσμιο πρότυπο, το οποίο όμως να ελέγχεται από έναν ουδέτερο και μη κερδοφόρο οργανισμό, όπως ο *ISO*, και όχι από μία και μόνο εταιρεία.

- ✓ Το επίπεδο συνόδου του *OSI* έχει στην πραγματικότητα πολύ μικρή εφαρμογή, ενώ το επίπεδο παρουσίασης απουσιάζει εντελώς από τις περισσότερες εφαρμογές, πράγμα που δικαιώνει αυτούς που υποστήριζαν την περιγραφή ενός μοντέλου με λιγότερα επίπεδα, όπως το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*, στο οποίο και τα δύο αυτά επίπεδα απουσιάζουν.
- ✓ Αντίθετα από το *OSI*, το *TCP/IP* δεν κάνει σαφή διαχωρισμό μεταξύ του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου γραμμής δεδομένων. Αυτό όμως αποτελεί μειονέκτημα για το *TCP/IP*, αφού τα δύο αυτά επίπεδα είναι εντελώς διαφορετικά και ο διαχωρισμός τους είναι απαραίτητος. Το επίπεδο γραμμής δεδομένων ασχολείται με την οριοθέτηση των πακέτων και την αξιόπιστη μετάδοσή τους, ενώ το φυσικό επίπεδο ασχολείται με τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης.
- ✓ Στο επίπεδο δικτύου το *OSI* υποστηρίζει τόσο την προσανατολισμένη όσο και τη μη προσανατολισμένη στη σύνδεση επικοινωνία. Όμως στο επίπεδο μεταφοράς υποστηρίζει μόνο την προσανατολισμένη στη σύνδεση επικοινωνία. Αντίθετα, το μοντέλο *TCP/IP* υποστηρίζει στο επίπεδο Διαδικτύου μόνο τη μη προσανατολισμένη στη σύνδεση επικοινωνία, ενώ υποστηρίζει και τους δύο τρόπους επικοινωνίας στο επίπεδο μεταφοράς.
- ✓ Η διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων εντοπίζεται και στην ικανότητα κάθε μοντέλου να περιγράφει διαφορετικές οικογένειες πρωτοκόλλων που δεν ανήκουν σ' αυτό. Η περιγραφή, για παράδειγμα, του *SNA* της IBM χρησιμοποιώντας το μοντέλο *TCP/IP* είναι αδύνατη, αφού το μοντέλο *TCP/IP* δημιουργήθηκε για να περιγράψει συγκεκριμένα πρωτόκολλα. Αντίθετα, το *OSI* είναι ένα γενικό μοντέλο αναφοράς, μέσα από το οποίο μπορούν να περιγραφούν και να υλοποιηθούν και άλλες στοίβες πρωτοκόλλων.
- ✓ Το *TCP/IP* έτυχε ευρύτερης αποδοχής από τον κόσμο των επικοινωνιών σε σύγκριση με το *OSI*. Οι αιτίες αυτής της αποδοχής ποικίλλουν, περιληπτικά όμως οι σπουδαιότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες:
  - Το *OSI* προσπάθησε να αναπτυχθεί, όταν το *TCP/IP* χρησιμοποιούνταν ήδη από όλο σχεδόν το φάσμα του ακαδημαϊκού χώρου.
  - Δεδομένης της αναλυτικής περιγραφής του *OSI* και του σαφή διαχωρισμού που έκανε μεταξύ των εννοιών του πρωτοκόλλου, της διεπαφής και της υπηρεσίας, οι πρώτες εφαρμογές που γράφτηκαν στα πλαίσια του μοντέλου ήταν πολύπλοκες και δύσχρηστες. Αντίθετα, τα πρωτόκολλα του *TCP/IP*, και ειδικότερα τα δύο βασικά πρωτόκολλά του, το *TCP* και το *IP*, ήταν καλο-



γραμμένα και εύχρηστα.

- Οι εφαρμογές οι βασισμένες στο μοντέλο *TCP/IP* ήταν και είναι δωρεάν διαθέσιμες στους χρήστες υπολογιστών, οι οποίοι μπορούν γρήγορα και εύκολα να τις χρησιμοποιούν και να τις ενσωματώνουν στα δίκτυα των υπολογιστών τους.
- Το *OSI*, ενώ δεν έχει την καθολική αποδοχή που απολαμβάνει το μοντέλο *TCP/IP* στο χώρο των εμπορικών δικτύων υπολογιστών, όπως το Διαδίκτυο και τα Ενδοδίκτυα διάφορων εταιρειών και οργανισμών, εντούτοις συνεχίζει να αποτελεί χρήσιμο εκπαιδευτικό εργαλείο για την εξερεύνηση και τη μελέτη των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Διεπαφή, υπηρεσία, *OSI*, *TCP/IP*, πρότυπα αναφοράς, συστάσεις.





## Μάθημα 6.1: Τεχνολογία σημείου προς σημείο - Μεταγωγή

### 6.1.1 Δίκτυα μεταγωγής

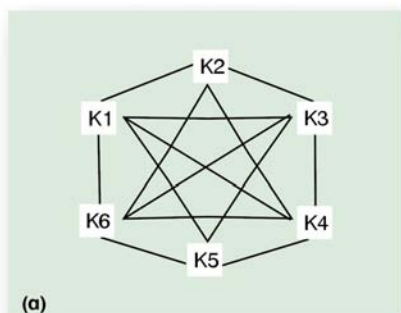
Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 4.2, για τη διασύνδεση απομακρυσμένων υπολογιστικών συστημάτων χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι σημείου προς σημείο. Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε για τη διασύνδεση αυτού του τύπου δικτύων είναι συνυφασμένη με την έννοια της μεταγωγής. Ιστορικά, από τις τρεις μεγάλες περιόδους στις οποίες διακρίνεται η εξέλιξη της τεχνολογίας των δικτύων υπολογιστών, η τεχνολογία μεταγωγής απασχόλησε τους ειδικούς πολλά χρόνια πριν. Έτσι η τεχνική **μεταγωγής κυκλώματος** είναι η πρώτη που εμφανίστηκε και έχει τη βάση της στο τηλεφωνικό σύστημα, ενώ η τεχνική **αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής** δρομολογήθηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 και αφορά δίκτυα δεδομένων. Σύγχρονες τεχνολογίες που εξασφαλίζουν μετάδοση πληροφοριών πολλών τύπων από το ίδιο μέσο (πολυμέσα) στηρίζονται σε **υβριδικές τεχνικές**, οι οποίες έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη των πρόσφατων τεχνικών *ISDN* και *ATM*.

Στα μαθήματα αυτού του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε με την τεχνολογία της μεταγωγής, η οποία αποτέλεσε άλλωστε και το θεμέλιο για τη διασύνδεση των δικτύων δεδομένων και ιδιαίτερα για την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Σημειώνεται ότι ως **δίκτυα μεταγωγής** μπορεί να θεωρηθούν όλα τα δίκτυα σημείου προς σημείο που εφαρμόζουν την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής.

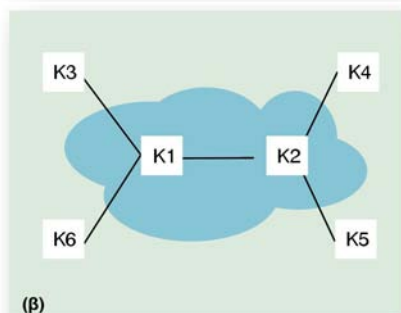
Στα μαθήματα αυτού του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε με την τεχνολογία της μεταγωγής, η οποία αποτέλεσε άλλωστε και το θεμέλιο για τη διασύνδεση των δικτύων δεδομένων και ιδιαίτερα για την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Σημειώνεται ότι ως **δίκτυα μεταγωγής** μπορεί να θεωρηθούν όλα τα δίκτυα σημείου προς σημείο που εφαρμόζουν την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής.

Η έννοια της μεταγωγής μπορεί να γίνει κατανοητή με το ακόλουθο παράδειγμα. Έστω ότι διασυνδέονται 6 απομακρυσμένοι κόμβοι. Αν έπρεπε να χρησιμοποιηθούν μόνο απευθείας συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, τότε θα σχεδιαζόταν ένα δίκτυο όπως αυτό του σχήματος 6.1α, λύση με αυξημένο διαχειριστικό φόρτο. Εναλλακτικά, αναπτύχθηκαν τεχνικές **έμμεσης διασύνδεσης**, η οποία πραγματοποιείται με τη συνεργασία ενδιάμεσων κόμβων, που ονομάζονται **μεταγωγείς (switches)**.

Οι μεταγωγείς είναι εξοπλισμένοι με δύο ή περισσότερους συνδέσμους και μία από τις κύριες λειτουργίες τους είναι η προώθηση των δεδομένων που λαμβάνουν από ένα σύνδεσμό τους σε έναν άλλο. Στο σχήμα 6.1β απεικονίζεται ένα δίκτυο μεταγωγής για τη διασύνδεση 6 κόμβων. Οι δύο ενδιάμεσοι κόμβοι παίζουν το ρόλο του μεταγωγού, ενώ ο σύνδεσμος που τους ενώνει λέγεται **διαμοιρασμένος σύνδεσμος (shared link)**, αφού χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών και σε κόμβους διαφορετικούς από αυτούς που συνδέει άμεσα.



(α)

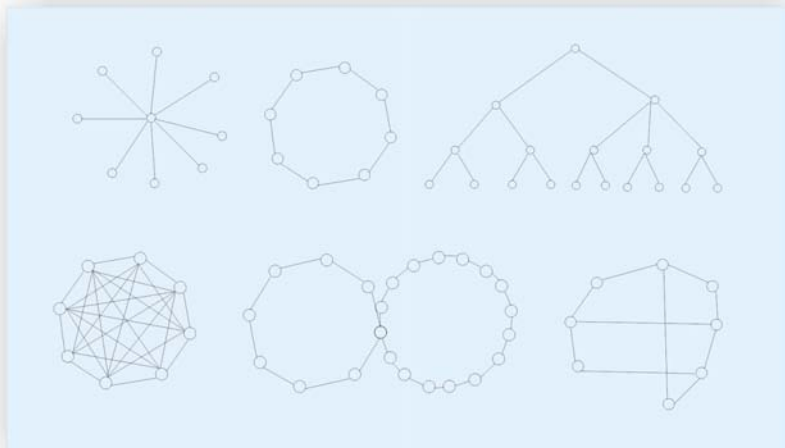


(β)

Σχήμα 6.1:

(α) Δίκτυο διασύνδεσης 6 κόμβων που χρησιμοποιεί μόνο απευθείας συνδέσεις και (β) δίκτυο μεταγωγής για την έμμεση διασύνδεση 6 κόμβων.





Σχήμα 6.2: Δίκτυα επικοινωνίας με συνδέσεις σημείου προς σημείο

Παραδείγματα δικτύων επικοινωνίας με συνδέσεις σημείου προς σημείο και με διαφορετικές τοπολογίες φαίνονται στο σχήμα 6.2.

Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας, τα δίκτυα μεταγωγής διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✓ **δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος** (*circuit switching networks*),
- ✓ **δίκτυα μεταγωγής μηνύματος** (*message switching networks*) και
- ✓ **δίκτυα μεταγωγής πακέτου** (*packet switching networks*).

Οι συνηθέστεροι τύποι είναι αυτοί του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος, που χρησιμοποιείται αποκλειστικά στο τηλεφωνικό δίκτυο, και του δικτύου μεταγωγής πακέτου, που χρησιμοποιείται στα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μεταγωγή, μεταγωγείς, δίκτυα μεταγωγής, μεταγωγή κυκλώματος, μεταγωγή μηνύματος, μεταγωγή πακέτου, αποθήκευση και προώθηση, σύνδεσμος, διαμοιρασμένος σύνδεσμος.





## Μάθημα 6.2: Τεχνική μεταγωγής κυκλώματος - μηνύματος

### 6.2.1 Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος

Στα **δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος** (*circuit switching networks*) η μετάδοση δεδομένων είναι εφικτή μόνο μετά την εγκατάσταση μιας φυσικής ζεύξης - κυκλώματος μεταξύ δύο κόμβων. Η μετάδοσή τους είναι **διαφανής** (*transparent*), με την έννοια ότι τα δεδομένα δεν υποβάλλονται σε καμία επεξεργασία κατά τη διέλευσή τους από το δίκτυο. Αυτό το κύκλωμα παραμένει ενεργό σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας των κόμβων, ακόμα και όταν αυτοί δεν ανταλλάσσουν δεδομένα.

Η τεχνική μεταγωγής κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε πρωταρχικά στο τηλεφωνικό δίκτυο για τη μετάδοση της φωνής, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μετάδοση δεδομένων. Κάθε κέντρο υποστηρίζει έναν αριθμό γραμμών και περιέχει έναν πίνακα που μπορεί να υποστηρίξει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Χαρακτηριστικό ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι κάθε κέντρο μπορεί να εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο αριθμό χρηστών.

#### Παράδειγμα I

Όταν υπάρχει κλήση για κάποιον συνδρομητή του ΟΤΕ, αυτή μεταφέρεται από κέντρο σε κέντρο σταδιακά, μέχρι να εντοπιστεί η συσκευή του συνδρομητή. Από τη στιγμή που αυτός απαντήσει, δημιουργείται ένα φυσικό κανάλι επικοινωνίας, το οποίο παραμένει ανοικτό όσο κρατά η συνδιάλεξη.

Ανάλογη είναι και η συμπεριφορά ενός δικτύου μεταγωγής κυκλώματος για τη μετάδοση δεδομένων. Όταν ένας υπολογιστής καλεί κάποιον άλλο, η κλήση προωθείται τμηματικά από κόμβο σε κόμβο, μέχρι να φτάσει στο δέκτη. Αν ο δέκτης θέλει να επικοινωνήσει, απαντά θετικά στην πρόσκληση, οπότε και δημιουργείται μια αποκλειστική φυσική ζεύξη μεταξύ των δύο μερών για όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας τους.

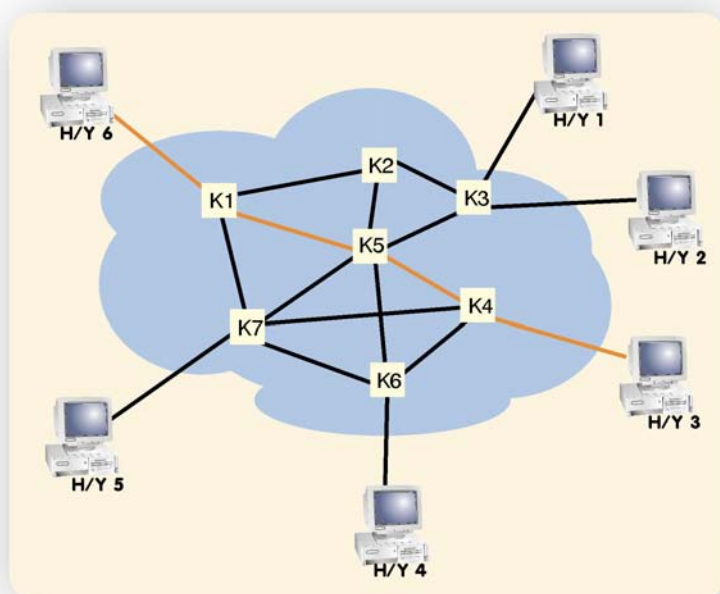
#### Παράδειγμα II

Στο σχήμα 6.3 ο Η/Υ 6 θέλει να επικοινωνήσει με τον Η/Υ 3. Ας υποθέσουμε ότι η σύνδεση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το υποδίκτυο των κόμβων Κ1 έως Κ7, μέσω κάποιου συνδυασμού συνδέσεων μεταξύ των κόμβων.

Ο Η/Υ 6 στέλνει το σχετικό αίτημα μέσω του κόμβου Κ1. Βασισμένος σε ορισμέ-



Όταν ο αριθμός των κλήσεων ξεπεράσει τον αριθμό των γραμμών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα κέντρο, τότε μερικές από αυτές τις κλήσεις μπλοκάρονται και δεν προωθούνται. Για παράδειγμα, σε όλους μας έχει συμβεί, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις έκτακτων αναγκών, να ακούσουμε το μήνυμα της εταιρείας παροχής τηλεφωνικών υπηρεσιών (ΟΤΕ, Panafon, Teletet) ότι το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και δεν μπορεί να μας εξυπηρετήσει. Για να μπορέσει το κέντρο να εξυπηρετήσει άλλες κλήσεις, θα πρέπει να ελευθερωθούν κάποιες κατειλημμένες γραμμές.



*Σχήμα 6.3: Παράδειγμα δικτύου μεταγωγής κυκλώματος. Η μετάδοση είναι εφικτή μόνο μετά την εγκατάσταση του κυκλώματος μεταγωγής H/Y 6 - K1 - K5 - K4 - H/Y 3, το οποίο παραμένει ενεργό σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας και αποδεσμεύεται με τον τερματισμό της.*

να κριτήρια, ο κόμβος K1 μεταδίδει την πληροφορία μέσω του συνδέσμου K1 - K5. Αν ο διαμοιρασμένος σύνδεσμος K1 - K5 έχει διαθέσιμο κανάλι, αυτό δεσμεύεται και το αίτημα προωθείται στον κόμβο K5. Με τον ίδιο τρόπο ο K5 επιλέγει να προωθήσει το αίτημα του H/Y 6, μέσω του κόμβου K4, καταλαμβάνοντας ένα από τα κανάλια σύνδεσής του μ' αυτόν. Ο κόμβος K4 προωθεί το αίτημα του H/Y 6 στον H/Y 3, ο οποίος, αν είναι διαθέσιμος, δέχεται το αίτημα, και οι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές μπορούν να αρχίσουν την επικοινωνία τους.

Το κύκλωμα επικοινωνίας που δημιουργείται (H/Y 6 - K1 - K5 - K4 - H/Y 3) διατίθεται αποκλειστικά στους δύο υπολογιστές που το χρησιμοποιούν, σαν να υπήρχε μία και μόνο γραμμή σύνδεσης, χωρίς τίποτα να παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Μόλις τα δύο μέρη αποφασίσουν να τερματίσουν την επικοινωνία, ειδοποιούνται ταυτόχρονα οι ενδιαμέσοι κόμβοι, για να διακόψουν και αυτοί τη μεταξύ τους σύνδεση, απελευθερώνοντας τα κανάλια τους για κάποιες άλλες συνδέσεις. Αν οι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές θελήσουν να επικοινωνήσουν και πάλι στο μέλλον, δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί η ίδια διαδρομή, για να επιτευχθεί η σύνδεσή τους.



Η επικοινωνία με τη χρήση μεταγωγής κυκλώματος περιλαμβάνει τρεις φάσεις:

- ✓ **Εγκατάσταση φυσικής ζεύξης.** Σ' αυτή τη φάση γίνεται η δέσμευση των φυσικών συνδέσεων που θα αποτελέσουν το κανάλι επικοινωνίας ανάμεσα στους δύο σταθμούς.
- ✓ **Μετάδοση δεδομένων.** Σ' αυτή τη φάση γίνεται η μετάδοση των δεδομένων ανάμεσα στους δύο σταθμούς. Η μετάδοση μπορεί να είναι ψηφιακή ή αναλογική, ανάλογα με τη φύση του δικτύου. Γενικά, η σύνδεση που επιτυγχάνεται παρέχει τη δυνατότητα να μεταδοθούν δεδομένα και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα (*full-duplex*).
- ✓ **Αποσύνδεση.** Η σύνδεση ανάμεσα στους δύο σταθμούς τερματίζεται μετά από απαίτηση ενός από τους δύο σταθμούς, οπότε και αποδεσμεύονται οι φυσικές ζεύξεις.

Σημειώνεται ότι, σε περίπτωση που έχουν δεσμευτεί πολλά κυκλώματα για κάποιο χρονικό διάστημα, είναι ενδεχόμενο να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν νέες συνδέσεις λόγω κάλυψης του συνολικού αριθμού των συνδέσεων που έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετήσουν οι κόμβοι (μεταγωγείς). Επίσης πρέπει να τονιστεί πως η χωρητικότητα των συνδέσεων που χρησιμοποιούνται στη μεταγωγή κυκλώματος είναι δεσμευμένη για όλη τη διάρκεια της σύνδεσης, ακόμη και αν δε μεταδίδονται δεδομένα. Αυτό είναι σημαντικό, αφού οι συνδέσεις για τη μετάδοση φωνής, συνήθως δε χρησιμοποιούν 100% τη διαθέσιμη χωρητικότητα, ενώ οι συνδέσεις για τη μετάδοση δεδομένων μπορεί να μένουν αδρανείς για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Επιπλέον υπάρχει και η καθυστέρηση που οφείλεται στην εγκατάσταση του κυκλώματος επικοινωνίας, πριν αρχίσει η μετάδοση δεδομένων. Βέβαια, από τη στιγμή που θα εγκατασταθεί η σύνδεση, η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με συγκεκριμένο ρυθμό και η μόνη καθυστέρηση που παρατηρείται οφείλεται στο χρόνο μετάδοσης των μέσων που αποτελούν τις συνδέσεις του κυκλώματος.

## 6.2.2 Δίκτυα μεταγωγής μηνύματος

Η **μεταγωγή μηνύματος** (*message switching*) είναι η τεχνική κατά την οποία ο πομπός οργανώνει την πληροφορία που θέλει να στείλει στο δέκτη σε ένα μήνυμα, που περιέχει τη διεύθυνση του παραλήπτη. Στη συνέχεια το μήνυμα παραδίδεται στο δίκτυο, το οποίο αναλαμβάνει την αποστολή του στον αποδέκτη. Σ' αυτή την περίπτωση το δίκτυο δεν εγκαθιστά ένα φυσικό κανάλι μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη, αλλά η αποστολή του μηνύματος γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο.

Το μήνυμα αποστέλλεται από τον πομπό στο δέκτη περνώντας από έναν ή περισσότερους ενδιάμεσους κόμβους (σχήμα 6.4). Κάθε κόμβος λαμβάνει ολόκληρο το μήνυμα, το αποθηκεύει και, μόλις βρει την κατάλληλη ευκαιρία, το αποστέλλει στον αμέσως επόμενο κόμβο που θεωρεί ότι είναι η καλύτερη επιλογή για να φτάσει αυτό σύντομα και με ασφάλεια στον προορισμό του.

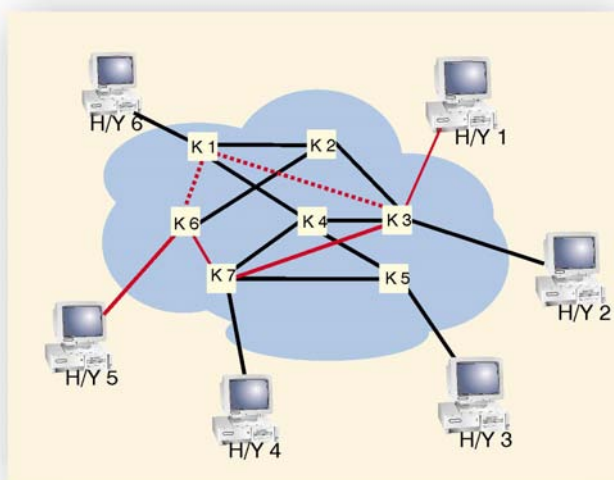
Η τεχνική αυτή, λόγω του ότι κάθε μήνυμα αρχικά αποθηκεύεται σε έναν κόμβο και στη συνέχεια προωθείται στον επόμενο, ονομάζεται τεχνική **αποθήκευσης και προώ-**



**θησης** (*store and forward*). Ο τρόπος με τον οποίο η πληροφορία προωθείται στον προορισμό της προϋποθέτει κόμβους με αυξημένες δυνατότητες αποθήκευσης, καθώς θα πρέπει να αποθηκεύουν όλα τα μηνύματα που λαμβάνουν από γειτονικούς κόμβους, μέχρι να βρουν την κατάλληλη ευκαιρία να τα προωθήσουν.

### Παράδειγμα III

Στο σχήμα 6.4 ο H/Y 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον H/Y 5. Οργανώνει την πληροφορία που θέλει να αποστείλει σε ένα μήνυμα προσαρτώντας και τη διεύθυνση του H/Y 5. Σε πρώτη φάση το μήνυμα αποστέλλεται στον κόμβο K3. Ο K3, αφού λάβει όλο το μήνυμα, το αποθηκεύει και στη συνέχεια, μόλις βρει ελεύθερο κανάλι, το προωθεί στον κόμβο K7. Ο K7 με τη σειρά του το προωθεί στον K6 και αυτός στον τελικό παραλήπτη, που είναι ο H/Y 5. Αν ο H/Y 5 για κάποιους λόγους είναι εκτός λειτουργίας, το μήνυμα παραμένει αποθηκευμένο στον κόμβο K6, μέχρι ο H/Y 5 να λειτουργήσει και πάλι. Τέλος, αν για κάποιους λόγους ο κόμβος K3 δεν μπορεί να βρει ελεύθερο τον K7, τότε είναι δυνατόν να προωθήσει το μήνυμα μέσω του κόμβου K1 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) και το μήνυμα να ακολουθήσει ένα διαφορετικό δρομολόγιο, μέχρι να φτάσει στον προορισμό του.



Σχήμα 6.4: Παράδειγμα σύνδεσης με μεταγωγή μηνύματος. Η μετάδοση γίνεται μέσω της διαδρομής H/Y 1 - K 3 - K 7 - K 6 - H/Y 5 και εναλλακτικά, αν ο κόμβος K 7 δε λειτουργεί, μέσω της διαδρομής H/Y 1 - K 3 - K 1 - K 6 - H/Y 5. Κάθε σύνδεσμος παραμένει ενεργός μόνο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης των κόμβων του.

Αναλυτική σύγκριση των τεχνικών μεταγωγής θα γίνει στα παρακάτω κεφάλαια, όμως εδώ αξίζει να επισημανθεί μια σημαντική διαφορά μεταξύ της μεταγωγής κυκλώματος και της μεταγωγής μηνύματος, που γίνεται αμέσως αντιληπτή από τα παραπάνω παραδείγματα (II και III). Η διαφορά αυτή έγκειται στο ότι, για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών με την τεχνική της μεταγωγής





κυκλώματος, πρέπει ο παραλήπτης να είναι σε θέση να δεχτεί την κλήση, αντίθετα με την τεχνική της μεταγωγής μηνύματος στην οποία αυτό δεν είναι αναγκαίο. Σ' αυτή την περίπτωση, αν ο παραλήπτης δεν είναι διαθέσιμος, το μήνυμα φυλάσσεται στον τελευταίο κόμβο με τον οποίο αυτός συνδέεται και παραλαμβάνει το μήνυμα, μόλις η σύνδεσή του με τον κόμβο γίνει εφικτή.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μεταγωγή, δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, τεχνική αποθήκευσης και προώθησης, δίκτυο μεταγωγής μηνύματος, εγκατάσταση φυσικής ζεύξης, αποσύνδεση.



## Μάθημα 6.3: Τεχνικές μεταγωγής πακέτου

### 6.3.1 Δίκτυα μεταγωγής πακέτου

Στα **δίκτυα μεταγωγής πακέτων** τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρότερα τμήματα πριν από τη μετάδοσή τους. Αυτά τα τμήματα δεδομένων ονομάζονται **πακέτα** (*packets*). Το μέγεθος κάθε πακέτου ποικίλλει, αλλά ένα τυπικό ανώτατο όριο μήκους είναι οι 1.000 χαρακτήρες (*bytes*) ή οκτάδες δυαδικών ψηφίων (*octets*). Μικρά σε μέγεθος πακέτα (128 έως 256 δυαδικών ψηφίων) είναι συνήθως προτιμότερα, προκειμένου να ελέγχεται καλύτερα η κυκλοφορία στο δίκτυο.

Κάθε πακέτο περιέχει ένα τμήμα του μηνύματος προς αποστολή και επιπλέον πληροφορίες ελέγχου. Οι πληροφορίες ελέγχου είναι απαραίτητες, γιατί επιτρέπουν τη σωστή δρομολόγηση του πακέτου μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε να φτάσει στο σωστό προορισμό. Όταν τα πακέτα φτάσουν στον κόμβο προορισμού, τα αρχικά δεδομένα που περιέχουν επανασυνθέτονται. Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων χρειάζεται να έχουν ικανότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης, για να προωθούν τα πακέτα, αλλά και για να τα αποθηκεύουν προσωρινά, αν χρειαστεί, μέχρι να βρουν την καταλληλότερη διαδρομή.

Η τεχνική που ακολουθείται για τη μετάδοση των πακέτων είναι γνωστή από το Μάθημα 6.1 και λέγεται τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής. Σύμφωνα μ' αυτήν, τα πακέτα στέλνονται συνεχόμενα στο δίκτυο, χωρίς να εγκαθίσταται εκ των προτέρων κάποια μόνιμη σύνδεση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη, όπως γίνεται στη μεταγωγή κυκλώματος. Στη μεταγωγή πακέτου αυτά κυκλοφορούν μέσα στο δίκτυο από κόμβο σε κόμβο, αποθηκεύονται προσωρινά σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο και στη συνέχεια προωθούνται στον επόμενο.



Η ύπαρξη άμεσου ή έμμεσου τρόπου διασύνδεσης μεταξύ των υπολογιστών ενός δικτύου δεν επαρκεί για την επίτευξη της επικοινωνίας τους. Μία επιπλέον απαίτηση είναι η εκχώρηση μίας μοναδικής **διεύθυνσης** σε κάθε κόμβο του δικτύου, ικανής να τον διαφοροποιεί από τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.

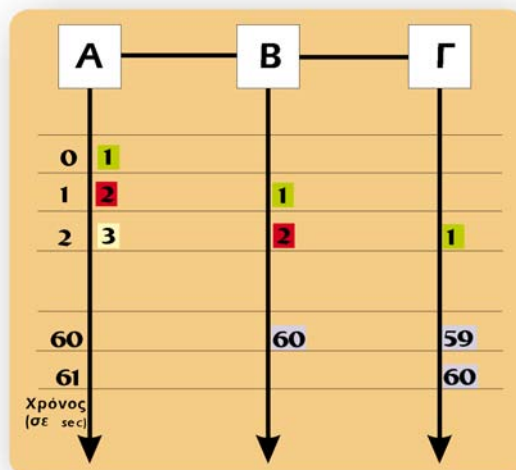
### Παράδειγμα IV

Έστω ότι θέλουμε να μεταδώσουμε, μέσω του δικτύου μεταγωγής πακέτων του σχήματος 6.5, ένα αρχείο δεδομένων από τον κόμβο Α στον κόμβο Γ. Αν οι χρόνοι μετάδοσης του αρχείου από τον Α στο Β κόμβο και από το Β στο Γ κόμβο είναι ίδιοι και ίσοι με 60 sec, τότε ο συνολικός χρόνος μετάδοσης θα είναι ίσος με 120 sec.

Αν χωριστεί το αρχείο σε 60 ισομεγέθη πακέτα, τότε ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου από τον Α στο Β ή από το Β στο Γ κόμβο θα είναι ίσος με 1 sec. Στο 1ο sec το πρώτο πακέτο του αρχείου θα σταλεί από τον Α στο Β κόμβο. Στο 2ο sec το δεύτερο πακέτο θα σταλεί από τον Α στο Β κόμβο, ενώ ταυτόχρονα το πρώτο πακέτο θα σταλεί από το Β στο Γ κόμβο. Έτσι ο συνολικός χρόνος μετάδοσης του αρχείου θα είναι ίσος με 61 sec. Η εξοικονόμηση στο χρόνο μετάδοσης των πακέτων θα είναι μεγαλύτερη όσο περισσότεροι είναι οι ενδιάμεσοι κόμβοι.



Όταν ένας χρήστης του δικτύου θέλει να μεταβιβάσει κάποια πληροφορία σε ένα συγκεκριμένο προορισμό στο δίκτυο, τότε πρέπει να προσδιορίσει τη διεύθυνση του αντίστοιχου κόμβου. Η διεύθυνση προορισμού καταγράφεται σε καθένα από τα μεταδιδόμενα πακέτα. Εάν ο αποστολέας και ο παραλήπτης δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι μεταξύ τους, τότε οι ενδιάμεσοι μεταγωγείς του δικτύου χρησιμοποιούν τη διεύθυνση του κόμβου προορισμού, για να αποφασίσουν από ποιον σύνδεσμό τους θα προωθήσουν τα μεταδιδόμενα πακέτα. Αυτή η διαδικασία επιλογής του συνδέσμου προώθησης των πακέτων στους μεταγωγείς ονομάζεται **δρομολόγηση (routing)**.



Σχήμα 6.5: Μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση. Τα πακέτα αποστέλλονται συνεχόμενα στο δίκτυο και έτσι μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος μετάδοσης της πληροφορίας.

Η τεχνική αυτή έχει αποδειχτεί εξαιρετικά αποδοτική. Τα πλεονεκτήματά της είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η αποδοτικότητα της γραμμής είναι πολύ καλύτερη, αφού κάθε σύνδεση από κόμβο σε κόμβο μπορεί να μοιραστεί συγχρόνως και δυναμικά σε πολλές ροές πακέτων.
- ✓ Μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους σταθμοί με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, αφού ο κάθε σταθμός συνδέεται με το δίκτυο στο ρυθμό που επιθυμεί και μπορεί να επιτύχει.
- ✓ Δεν απορρίπτονται πακέτα, όταν υπάρχει μεγάλος φόρτος στο δίκτυο, μειώνεται όμως η απόδοση του δικτύου.

Μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στη μετάδοση ορισμένων πακέτων. Αυτό σημαίνει πως, αν υπάρχουν αποθηκευμένα σε κάποιον κόμβο του δικτύου πακέτα που περιμένουν να μεταδοθούν, ο κόμβος μπορεί να μεταδώσει πρώτα αυτά τα πακέτα που έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα. Έτσι αυτά θα μεταδοθούν πιο σύντομα από τα πακέτα με χαμηλότερη προτεραιότητα.

Γενικά, υπάρχουν δύο τεχνικές μεταγωγής πακέτου. Η πρώτη είναι η τεχνική των **αυτοδύναμων πακέτων (datagrams)** και η δεύτερη των **νοητών κυκλωμάτων (virtual circuits)**. Στην πρώτη περίπτωση το δίκτυο χειρίζεται κάθε πακέτο ανεξάρτητα, ενώ στη δεύτερη εγκαθίσταται μια νοητή σύνδεση μεταξύ των δύο κόμβων που πρόκειται να επικοινωνήσουν.



### 6.3.2 Δίκτυα μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα

Πιο αναλυτικά, η αρχή λειτουργίας των δικτύων μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα έχει ως ακολούθως. Κάθε πακέτο που φτάνει σε έναν ενδιάμεσο κόμβο αντιμετωπίζεται ανεξάρτητα από τα άλλα. Ο κόμβος αποφασίζει εκείνη τη στιγμή ποιος είναι ο συντομότερος και καταλληλότερος δρόμος για να προωθηθεί το πακέτο στον προορισμό του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην ακολουθούν όλα τα πακέτα την ίδια διαδρομή, καθώς, όταν φτάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε κάποιον κόμβο, είναι πιθανόν οι συνθήκες στο δίκτυο να είναι διαφορετικές. Μπορεί δηλαδή, ενώ κάποια πακέτα έχουν ήδη προωθηθεί σε έναν κόμβο, η κίνηση σ' αυτή την περιοχή του δικτύου να μεταβλήθηκε ξαφνικά, οπότε τα πακέτα που ακολουθούν να προωθηθούν στον προορισμό τους μέσω ενός άλλου κόμβου που εκείνη τη στιγμή θεωρείται καταλληλότερος. Επομένως, επειδή οι μεταγωγείς του δικτύου επιλέγουν το σύνδεσμο προώθησης κάθε πακέτου της ροής δεδομένων ξεχωριστά, τα πακέτα μπορεί να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές κατά τη διέλευσή τους από το δίκτυο.

Ένα ανάλογο παράδειγμα του μοντέλου που εξετάζουμε μπορούμε να βρούμε στο ταχυδρομικό δίκτυο, όπου τα γράμματα που στέλνουμε στον ίδιο παραλήπτη αντιμετωπίζονται ξεχωριστά από την ταχυδρομική υπηρεσία και μπορεί να φτάσουν στον προορισμό τους ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές.

Τυπικό παράδειγμα δικτύου μεταγωγής πακέτων είναι το Διαδίκτυο.

#### Παράδειγμα V

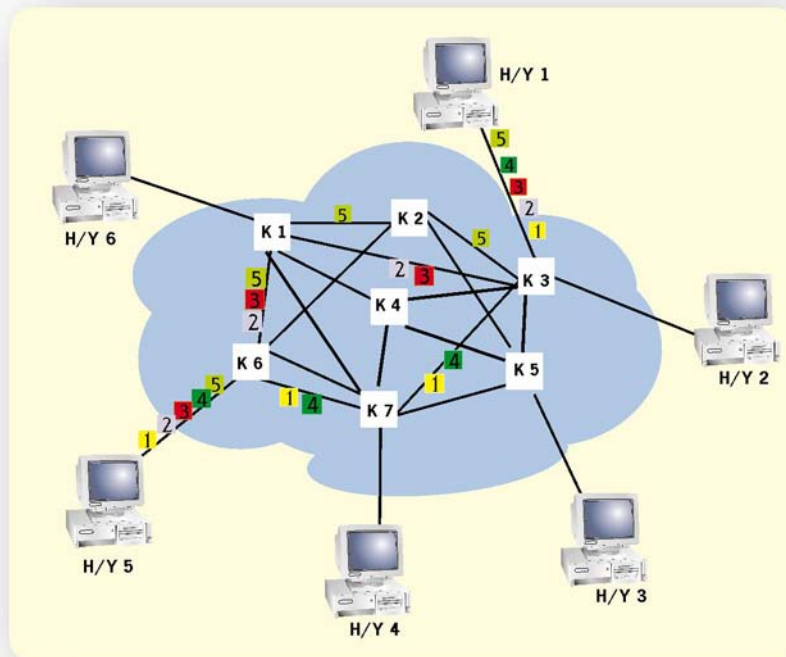
Στο σχήμα 6.6 ο H/Y 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον H/Y 5. Χωρίζει την πληροφορία που θέλει να αποστείλει σε πακέτα προσαρτώντας σε καθένα από αυτά τη διεύθυνση του H/Y 5. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχουμε 5 πακέτα, τα 1, 2, 3, 4 και 5. Αρχικά όλα τα πακέτα αποστέλλονται στον κόμβο K3. Ο K3 προωθεί κάθε πακέτο στον προορισμό του στέλνοντάς το στον καταλληλότερο γειτονικό του κόμβο.

Ο κόμβος K3 προωθεί το πακέτο 1 (κίτρινο χρώμα) μέσω της διαδρομής K3 - K7 - K6 - H/Y 5. Για το πακέτο 2 (μωβ χρώμα) αλλάζει γνώμη για κάποιους λόγους, για παράδειγμα λόγω υπερφόρτωσης της γραμμής που οδηγεί στον K7, και γι' αυτό το στέλνει μέσω της διαδρομής K3 - K1 - K6 - H/Y 5. Το πακέτο 3 (κόκκινο χρώμα) το στέλνει μέσω της ίδιας διαδρομής K3 - K1 - K6 - H/Y 5, γιατί οι συνθήκες παραμένουν οι ίδιες. Το πακέτο 4 (πράσινο χρώμα) αποφασίζει να το στείλει και πάλι μέσω της διαδρομής K3 - K7 - K6 - H/Y 5, γιατί στην παρούσα φάση φαίνεται να είναι ο συμφερότερος δρόμος, για να φτάσει το πακέτο στον προορισμό του. Τέλος, το πακέτο 5 (πράσινο ανοικτό χρώμα) το στέλνει μέσω μιας νέας διαδρομής, της K3 - K2 - K1 - K6 - H/Y 5, γιατί οι συνθήκες άλλαξαν πάλι. Τελικά όλα τα πακέτα παραλαμβάνονται από τον παραλήπτη. Στην περίπτωση που δε φτάσουν με τη σωστή σειρά, ο παραλήπτης έχει τη δυνατότητα να επανασυναρμολογήσει την πληροφορία συνθέτοντας τα πακέτα με τη σωστή σειρά.

Φυσικά κάθε άλλος ενδιάμεσος κόμβος μπορεί να αλλάξει τη διαδρομή ενός πα-



κέτου, πράγμα που σημαίνει ότι ο κόμβος Κ3 δεν αποφασίζει οριστικά για όλη τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το πακέτο. Κάθε κόμβος αποφασίζει οριστικά μόνο για τον αμέσως επόμενο σταθμό στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο, με βάση τις πληροφορίες που διαθέτει εκείνη τη στιγμή για την καταλληλότερη διαδρομή.



Σχήμα 6.6: Παράδειγμα σύνδεσης με μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου

### 6.3.3 Δίκτυα μεταγωγής πακέτων με νοητά κυκλώματα

Εάν οι μεταγωγείς του δικτύου δρομολογούν τα πακέτα μιας ροής δεδομένων από τον ίδιο πάντα σύνδεσμο, τότε το δίκτυο ονομάζεται **δίκτυο μεταγωγής πακέτων με νοητά κυκλώματα** (*packet switched virtual circuits network*). Ως **ροή δεδομένων** (*data flow*) ορίζεται η ακολουθία πακέτων που έχουν τον ίδιο αποστολέα και τον ίδιο παραλήπτη. Σ' αυτή την περίπτωση σκιαγραφείται στο δίκτυο ένα **νοητό κύκλωμα** (*virtual circuit*). Η διαδικασία εγκατάστασης του νοητού κυκλώματος προηγείται της μεταφοράς των δεδομένων και είναι ανάλογη μ' αυτήν των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος.

Η **μεταγωγή νοητού κυκλώματος** (*virtual circuit switching*) είναι η τεχνική κατά την οποία ο πομπός οργανώνει την πληροφορία που θέλει να στείλει στο δέκτη σε πακέτα, τα οποία περιέχουν τη διεύθυνση του παραλήπτη. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα νοη-





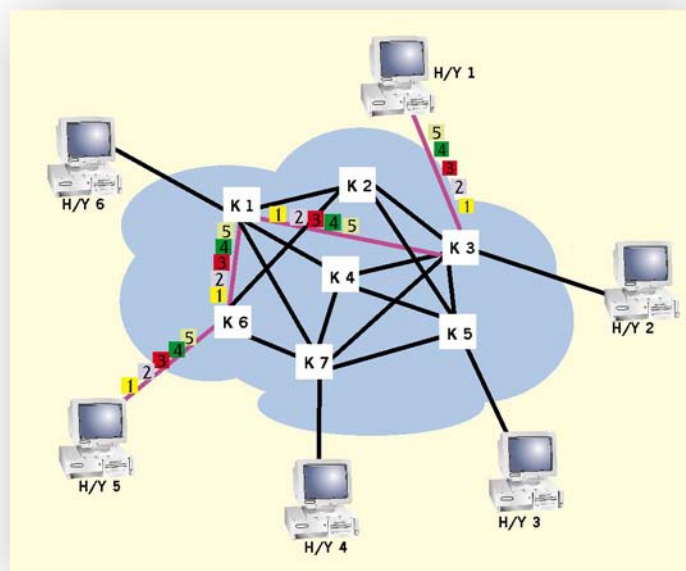
τό κύκλωμα μεταξύ των δύο κόμβων που επιθυμούν να επικοινωνήσουν και τα πακέτα στέλνονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, ακολουθούν όμως την ίδια διαδρομή.

Πρόκειται για μια τεχνική που συνδυάζει τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου και τη μεταγωγή κυκλώματος. Η διαφορά είναι ότι δεν εγκαθίσταται ένα πραγματικό φυσικό κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών που θέλουν να επικοινωνήσουν, αλλά ένα νοητό κανάλι, με την έννοια ότι όλα τα πακέτα θα περάσουν από την ίδια διαδρομή, όπως συμβαίνει δηλαδή με τα δεδομένα στην περίπτωση της μεταγωγής κυκλώματος. Η διαφορά της με τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου είναι ότι κάθε κόμβος, από τη στιγμή που επιλεγεί η διαδρομή, στέλνει όλα τα πακέτα εκεί και δεν αποφασίζει για κάθε πακέτο ποια είναι η καταλληλότερη διαδρομή.

Η μέθοδος μεταγωγής νοητού κυκλώματος χρησιμοποιεί τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου για την παρουσίαση της πληροφορίας (πακέτα) στο δίκτυο, όπως επίσης και τη μεταγωγή κυκλώματος για τον τρόπο που μεταφέρονται τα πακέτα αυτά μέσα από το δίκτυο.

## Παράδειγμα VI

Στο σχήμα 6.7 ο Η/Υ 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον Η/Υ 5. Αρχικά ο Η/Υ 1 στέλνει μια αίτηση επικοινωνίας στον Η/Υ 5 μέσω του κόμβου Κ3. Ο Κ3 προωθεί το αίτημα, διαλέγοντας εκείνη τη στιγμή ως καταλληλότερη διαδρομή τον κόμβο Κ1, ο οποίος με τη σειρά του στέλνει το αίτημα στον κόμβο Κ6 και αυτός τελικά στον Η/Υ 5. Αν ο Η/Υ 5 είναι σε θέση να επικοινωνήσει, στέλνει μια θετική απάντηση στον Η/Υ 1 μέσω της ίδιας διαδρομής, δηλαδή μέσω των κόμβων Κ6, Κ1, Κ3. Έκτοτε οι πληροφορίες που ανταλλάσσουν οι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές περνούν από το νοητό αυτό κύκλωμα (Η/Υ 1 - Κ3 - Κ1 - Κ6 - Η/Υ 5, χρώμα μωβ) υπό μορφή πακέτων, μέχρι το τέλος της επικοινωνίας. Η επικοινωνία μπορεί να διακοπεί, όταν κάποιος από τους δύο ηλεκτρονικούς υπολογιστές θελήσει να την τερματίσει, στέλνοντας ένα σχετικό αίτημα.



Σχήμα 6.7: Παράδειγμα σύνδεσης με μεταγωγή νοητού κυκλώματος

Συνήθως η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται από τα δημόσια δίκτυα, για τα οποία θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στην Ενότητα Ε.

## Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Μεταγωγή, δίκτυο μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου, δίκτυο μεταγωγής πακέτου με νοητά κυκλώματα.





## Μάθημα 6.4: Σύγκριση τεχνικών μεταγωγής

Τα δίκτυα μεταγωγής που περιγράψαμε στα προηγούμενα μαθήματα προσφέρονται συνήθως από τις δημόσιες εταιρείες τηλεπικοινωνιών, όπως είναι για παράδειγμα ο ΟΤΕ στην Ελλάδα, η BT στη Βρετανία, η France Telecom στη Γαλλία, η AT&T στις Η.Π.Α. και άλλοι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί σε όλες τις χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Μερικά από αυτά τα δίκτυα είναι το *HellasPack* στην Ελλάδα, το *EPSS* στη Βρετανία, το *TransPack* στη Γαλλία, το *Sprint* στις Η.Π.Α., το *AustPack* στην Αυστραλία κ.ά.

Τα δίκτυα μεταγωγής αποτελούνται από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να δίνουν πάντα την ευκαιρία εναλλακτικών διαδρομών στις πληροφορίες που μεταφέρονται στο δίκτυο. Η σύνδεση των κόμβων γίνεται είτε με κάποιον ηλεκτρονικό υπολογιστή ή τοπικό δίκτυο είτε μόνο με άλλους κόμβους, οι οποίοι παίζουν το ρόλο ενός ενδιάμεσου σταθμού που θα αποθηκεύσει και θα προωθήσει την πληροφορία στον προορισμό της.

Κοινό χαρακτηριστικό των δικτύων μεταγωγής είναι η δυνατότητα που έχει κάθε χρήστης να καλέσει το συνομιλητή του, όπως ακριβώς γίνεται και με τις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, κάτι που δε συναντάμε στα δίκτυα εκπομπής, όπως θα δούμε σε επόμενα μαθήματα. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι η κατάληψη της γραμμής για όση ώρα διαρκεί η επικοινωνία των δύο μερών. Όπως γνωρίζουμε και από τις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, κατά τη διάρκεια της συνομιλίας δε γίνεται συνεχώς μεταφορά κάποιου μηνύματος από τον ένα συνομιλητή στον άλλο, η γραμμή όμως παραμένει ανοικτή. Με απλά λόγια αυτό σημαίνει ότι στις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις μεταδίδονται και οι παύσεις της συνομιλίας. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση μεταφοράς δεδομένων μέσα από ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Παρ' ότι υπάρχει η φυσική σύνδεση μεταξύ των δύο μερών που επικοινωνούν, δε μεταφέρονται δεδομένα συνεχώς. Μάλιστα ο χρόνος που το κανάλι παραμένει κενό από δεδομένα θεωρείται αρκετά μεγάλος, γεγονός που καταγράφεται ως μειονέκτημα των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος.

Όταν η κίνηση στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος είναι αυξημένη, παρατηρείται το φαινόμενο να μη γίνονται δεκτές κλήσεις για επικοινωνία, καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι, για να επιτευχθεί η σύνδεση. Αντίθετα, σε όλα τα άλλα δίκτυα μεταγωγής η πληροφορία, είτε σε μορφή μηνύματος είτε σε μορφή πακέτου, θα γίνει δεκτή από το δίκτυο και, σε περίπτωση αυξημένης κίνησης, θα παραμείνει αποθηκευμένη σε κάποιον κόμβο, μέχρι ο κόμβος να βρει ευκαιρία να την προωθήσει στον προορισμό της. Παρ' όλα αυτά στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν όλη τη διαθέσιμη χωρητικότητα της γραμμής, καθώς δεν τη μοιράζονται με άλλους, αφού το φυσικό κανάλι είναι αποκλειστικά δεσμευμένο γι' αυτούς και δεν υπάρχουν τεχνικές πολυπλεξίας.

Συνοψίζοντας, για να επικοινωνήσουν μέσω δικτύου μεταγωγής κυκλώματος δύο υπολογιστές, πρέπει και οι δύο να είναι άμεσα διαθέσιμοι, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα



δίκτυα μεταγωγής στα οποία τα δεδομένα φυλάσσονται σε κάποιον κόμβο και στέλνονται στον παραλήπτη το συντομότερο δυνατόν, μόλις αυτός μπορέσει να επικοινωνήσει με το δίκτυο.

Επίσης στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος η μεταφορά δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη πρέπει να γίνεται με ρυθμούς αποδεκτούς από τον παραλήπτη, διαφορετικά υπάρχει η περίπτωση ένας γρήγορος αποστολέας να κατακλύσει με δεδομένα έναν αργό παραλήπτη και να μην επιτευχθεί η επικοινωνία. Αντίθετα, στα υπόλοιπα δίκτυα μεταγωγής δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα, καθώς ο παραλήπτης συνδέεται με τον αντίστοιχο κόμβο στον κατάλληλο ρυθμό μετάδοσης.

Επιπλέον πλεονεκτήματα των δικτύων αποθήκευσης και προώθησης έναντι των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι ότι:

- ✓ Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου μπορούν να τεθούν προτεραιότητες στη μετάδοση, έτσι ώστε τα επείγοντα πακέτα να προηγούνται έναντι των άλλων.
- ✓ Η διόρθωση των σφαλμάτων της πληροφορίας που μεταφέρεται από τον έναν υπολογιστή στον άλλο και η ασφάλειά της εξασφαλίζονται από το δίκτυο και όχι από τα συστήματα που επικοινωνούν.
- ✓ Οι ενδιαμέσοι κόμβοι παίζουν το ρόλο του μεταφραστή και έτσι είναι δυνατή η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υπολογιστών που χρησιμοποιούν διαφορετικό κώδικα.

Από την άλλη πλευρά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος έναντι της μεταγωγής πακέτου ή μηνύματος είναι η υπεροχή της όσον αφορά τις **εφαρμογές πραγματικού χρόνου** (*real time applications*), όπως είναι για παράδειγμα οπτική τηλεδιάσκεψη (*videoconference*), αφού η μετάδοση πακέτων και μηνυμάτων αντιμετωπίζει σημαντικές για τις εφαρμογές αυτές καθυστερήσεις κατά τη διαδρομή της στο δίκτυο.

Εκτός από τη σύγκριση της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος με τις υπόλοιπες τεχνικές, συγκρίσεις μπορούν να γίνουν και όσον αφορά τις δύο τεχνικές μεταγωγής πακέτων, τη μεταγωγή νοητού κυκλώματος και τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου. Να σημειωθεί ότι η τεχνική μεταγωγής νοητού κυκλώματος προσπαθεί να εκμεταλλευθεί τα πλεονεκτήματα τόσο της μεταγωγής κυκλώματος όσο και της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζει και μερικά μειονεκτήματα, όπως είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Στη μεταγωγή νοητού κυκλώματος παρατηρείται κάποια καθυστέρηση, μέχρι να συμφωνήσουν οι δύο κόμβοι να επικοινωνήσουν, καθώς ο κόμβος - αποστολέας πρέπει να στείλει σχετική αίτηση στον κόμβο - δέκτη και αυτός με τη σειρά του να απαντήσει καταφατικά. Κατά τη διάρκεια μάλιστα αυτής της διαδικασίας πρέπει να καθοριστεί και το νοητό κανάλι από το οποίο θα περάσουν οι πληροφορίες που θα ανταλλάξουν οι δύο υπολογιστές.
- ✓ Αν κατά τη διάρκεια της σύνδεσης δύο υπολογιστών κάποιος κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας, σημειώνονται σημαντικές καθυστερήσεις στην αναδρομολόγηση των πακέτων και στην εγκατάσταση ενός νέου νοητού κυκλώματος. Αντίθετα, στη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου τα πακέτα θα σταλούν στον προορισμό



τους μέσω κάποιου άλλου διαθέσιμου κόμβου, χωρίς σημαντική καθυστέρηση.

- ✓ Αν παρά την εγκατάσταση ενός νοητού κυκλώματος υπάρξει καθυστέρηση σε κάποιον από τους ενδιάμεσους κόμβους λόγω αύξησης της κίνησης σ' εκείνο το σημείο, δεν υπάρχει η δυνατότητα αναδρομολόγησης των πακέτων μέσω άλλης οδού. Επομένως αυτά υπόκεινται σε υποχρεωτικές καθυστερήσεις, τις οποίες θα απέφευγαν με την τεχνική της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου, καθώς θα προωθούνταν στον προορισμό τους από άλλες, πιο σύντομες διαδρομές.

Τέλος, αξίζει να επισημανθούν μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεταγωγής νοητού κυκλώματος έναντι της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου, εκτός από αυτά που «κληρονομεί» από τη μεταγωγή κυκλώματος και τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω:

- ✓ Δεν απαιτείται η αναταξινόμηση των πακέτων από τον παραλήπτη, καθώς αυτά λαμβάνονται όπως τα έστειλε ο αποστολέας.
- ✓ Ο παραλήπτης έχει τη δυνατότητα να ειδοποιεί τον αποστολέα για κάποιο προσωρινό πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τη λήψη των πακέτων και ο αποστολέας διακόπτει τη μετάδοση μέχρι τη λήψη νέου μηνύματος. Έτσι δεν κυκλοφορούν στο δίκτυο πακέτα που δεν έχουν τη δυνατότητα να παραληφθούν και επομένως δεν επιβαρύνεται η κυκλοφορία και η αποθηκευτική ικανότητα του δικτύου.
- ✓ Δεν απαιτείται η αναγραφή της πλήρους διεύθυνσης του παραλήπτη σε όλα τα πακέτα, λόγω της σταθερής διαδρομής που αυτά ακολουθούν μέχρι τον προορισμό τους. Έτσι μειώνεται ο φόρτος του δικτύου.

Κλείνοντας, από τη σύγκριση των τεχνικών της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου και της μεταγωγής νοητού κυκλώματος προκύπτει ότι η πρώτη ευνοεί την ανταλλαγή μικρού όγκου πληροφοριών μεταξύ των υπολογιστών, ενώ η δεύτερη την ανταλλαγή μεγάλου όγκου πληροφοριών.

## Μάθημα 6.5: Τεχνολογίες εκπομπής – Ραδιοφωνικά δίκτυα

### 6.5.1 Εισαγωγή

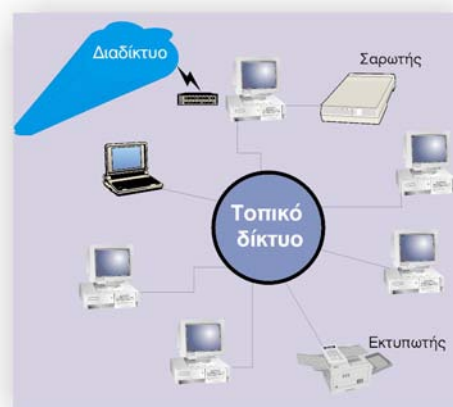
Στα προηγούμενα μαθήματα εξετάστηκε η τεχνολογία των δικτύων με συνδέσεις σημείου προς σημείο, όπως αυτή εφαρμόζεται με τις τεχνικές της μεταγωγής. Όμως, εκτός από τα δίκτυα της κατηγορίας αυτής, υπάρχει και η άλλη μεγάλη κατηγορία των **δικτύων εκπομπής** (*broadcasting networks*), στα οποία η τεχνική προώθησης της πληροφορίας από τον αποστολέα στον αποδέκτη διαφέρει σημαντικά. Οι κύριοι εκπρόσωποι της κατηγορίας των δικτύων εκπομπής είναι τα τοπικά δίκτυα (σχήμα 6.8), τα τηλεοπτικά δίκτυα, τα ραδιοφωνικά δίκτυα (σχήμα 6.9), τα δορυφορικά δίκτυα (σχήμα 6.10) κ.ά.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταγωγής, το χαρακτηριστικό των δικτύων εκπομπής είναι ότι δε διαθέτουν ενδιάμεσους κόμβους που να προωθούν την πληροφορία στον προορισμό της, αλλά έχουν ένα κοινό μέσο μετάδοσης, το οποίο μοιράζονται όλοι οι σταθμοί που συνδέονται στο δίκτυο. Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των υπολογιστών λαμβάνονται συνήθως από όλους τους σταθμούς του δικτύου. Σε κάθε πακέτο που στέλνεται στο δίκτυο προστίθεται ένα πεδίο διεύθυνσης που καθορίζει το σταθμό για τον οποίο προορίζεται το πακέτο. Οι υπόλοιποι σταθμοί απλώς αγνοούν το πακέτο.

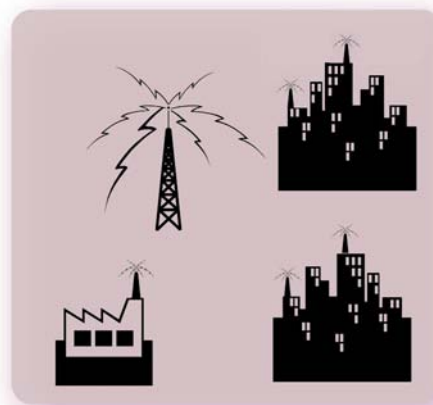
Επειδή στα δίκτυα εκπομπής υπάρχει ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας και επομένως δε διατίθενται εναλλακτικοί δρόμοι για να φτάσει ένα πακέτο

στον προορισμό του, προκύπτουν προβλήματα που δημιουργούνται από την ταυτόχρονη αποστολή πληροφοριών από τον έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή στον άλλο. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί, οι **τεχνικές ελέγχου πρόσβασης στο μέσο** (*access control techniques*), που καθορίζουν τον τρόπο και το χρόνο χρήσης του κοινού καναλιού από τους συνδεδεμένους υπολογιστές.

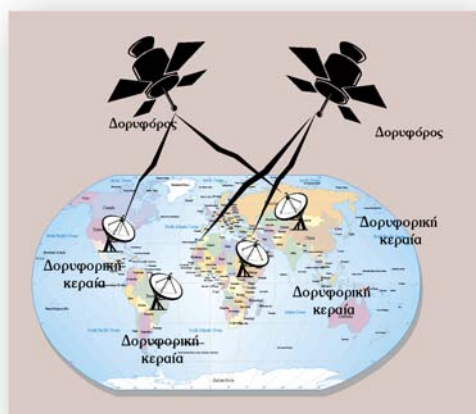
Οι τεχνικές ελέγχου πρόσβασης διακρίνονται σε συγχρονισμένες και σε ασυγχρονιστες. Οι συγχρονισμένες τεχνικές



Σχήμα 6.8: Τοπικό δίκτυο



Σχήμα 6.9: Ραδιοφωνικό δίκτυο



Σχήμα 6.10: Δορυφορικό δίκτυο





χρησιμοποιούνται, όταν μέρος της χωρητικότητας του μέσου μετάδοσης διατίθεται αποκλειστικά σε μία μόνο σύνδεση. Παραδείγματα συγχρονισμένων τεχνικών είναι οι τεχνικές πολυπλεξίας συχνότητας (*FDM*) και χρόνου (*TDM*). Στα δίκτυα εκπομπής προτιμώνται γενικά ασυγχρόνιστες τεχνικές, γιατί οι μεταδόσεις των συνδεόμενων σταθμών γίνονται τυχαία. Οι τεχνικές αυτές διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✓ **Δακτυλίου (*round robin*)**. Είναι η τεχνική κατά την οποία οι σταθμοί έχουν δικαίωμα να εκπέμψουν με τη σειρά, ο ένας μετά τον άλλο, μία φορά σε κάθε γύρο. Αν ένας σταθμός έχει δεδομένα να στείλει σε κάποιον άλλο, χρησιμοποιεί το δικαίωμά του για εκπομπή, όταν έρθει η σειρά του. Αν δεν έχει κάτι να στείλει, παραχωρεί το δικαίωμα στον επόμενο σταθμό. Σ' αυτή την τεχνική στηρίζεται η λειτουργία των δικτυακών προτύπων *Token Ring*, *Token Bus*, *FDDI* και άλλων, τα οποία εξετάζονται αναλυτικά σε άλλα μαθήματα.
- ✓ **Ανταγωνισμού (*contention*)**. Είναι η τεχνική κατά την οποία η μετάδοση δεδομένων από τους σταθμούς που συνδέονται στο δίκτυο είναι τυχαία. Κάθε σταθμός προσπαθεί να μεταδώσει τα δεδομένα που διαθέτει στο κανάλι ελπίζοντας να είναι κενό, ώστε να φτάσουν αυτά στον προορισμό τους. Βέβαια πάντα υπάρχει ένας μηχανισμός ο οποίος ειδοποιεί το σταθμό σε περίπτωση αποτυχίας της μετάδοσης, ώστε να υπάρξει επαναμετάδοση. Σ' αυτή την τεχνική στηρίζεται η λειτουργία των δικτυακών προτύπων ανοικτής ακρόασης, όπως είναι το *Ethernet*, το *ALOHA*, το *CSMA*, και άλλα, που θα εξεταστούν σε ιδιαίτερα μαθήματα.
- ✓ **Δέσμευσης ή κράτησης θέσης (*reservation*)**. Κατ' αυτή χρησιμοποιούνται τεχνικές πολυπλεξίας, που διαιρούν τη χωρητικότητα του καναλιού σε κανάλια μικρότερης χωρητικότητας τα οποία διατίθενται σε κάθε σταθμό. Χρησιμοποιείται, όταν υπάρχει συνεχής και μεγάλης διάρκειας μετάδοση δεδομένων.



Στην Ελλάδα η κινητή τηλεφωνία καταλαμβάνει τις ακόλουθες περιοχές: οι εταιρείες Panafon και Teletet χρησιμοποιούν συχνότητες από 890 έως 960 MHz, ενώ ο Cosmote χρησιμοποιεί συχνότητες από 1.760 έως 1.785 MHz και από 1.855 έως 1.880 MHz.

## 6.5.2 Ασύρματη επικοινωνία - Ραδιοκύματα

Η ασύρματη επικοινωνία είναι ένας από τους τρόπους μετάδοσης που βρήκαν πολύ μεγάλη εφαρμογή ειδικά κατά το τελευταίο ήμισυ του 20ού αιώνα. Τελευταία εφαρμόζεται ευρύτατα και στην επικοινωνία των υπολογιστών, καθώς ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματά της είναι η αποδέσμευση των επικοινωνιών από τα ενσύρματα μέσα (καλώδια, οπτικές ίνες κτλ.). Η ασύρματη επικοινωνία βρίσκει πρόσφορο έδαφος εφαρμογής σε όλες σχεδόν τις μορφές επικοινωνιών εκπομπής, όπως είναι τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, τα ραδιοφωνικά δίκτυα, τα δορυφορικά δίκτυα, κτλ.

Ειδικότερα, οι συχνότητες των ραδιοκυμάτων κυμαίνονται από 30 Hz έως 300 GHz. Για καλύτερο έλεγχο έχουν ταξινομηθεί σε 10 περιοχές συχνοτήτων (*frequency bands*). Οι ραδιοφωνικές εκπομπές των *FM*, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν τις συχνότητες από 87,5 έως 108 MHz.

Τα μειονεκτήματα των ζεύξεων μέσω ραδιοκυμάτων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Στις περισσότερες των περιπτώσεων παρέχουν μικρή ασφάλεια, καθώς οποιοσ-



δήποτε μπορεί να λάβει το σήμα χρησιμοποιώντας την ανάλογη κεραία.

- ✓ Η επικοινωνία απαιτεί οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, που όμως παρεμποδίζεται σε πολλές περιπτώσεις από φυσικά εμπόδια, όπως είναι τα υψηλά κτίρια, τα βουνά κτλ. Για το λόγο αυτό οι κεραίες τοποθετούνται σε υψηλά σημεία και επάνω σε ειδικούς πύργους. Η απόσταση η οποία εξασφαλίζει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, με δεδομένη την καμπυλότητα της Γης και τη μη παρεμβολή άλλων εμποδίων, δίνεται από τον τύπο:

$$D = 7,14(K \cdot H)^{1/2}$$

όπου  $D$  η μέγιστη απόσταση,  $H$  το ύψος των κεραίων και  $K$  (συνήθως 1,33) ο συντελεστής διόρθωσης.

- ✓ Σε μερικές περιπτώσεις η επικοινωνία μπορεί να επηρεαστεί από φυσικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες και ηλεκτρικές εκκενώσεις, ειδικά στις υψηλότερες συχνότητες των μικροκυμάτων.
- ✓ Η επικοινωνία είναι ευαίσθητη σε παρεμβολές θορύβου.
- ✓ Απαιτείται μεγάλη ισχύς στους σταθμούς μετάδοσης.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Δίκτυα εκπομπής, τεχνικές ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, τεχνική δακτυλίου, τεχνική ανταγωνισμού, τεχνική δέσμευσης ή κράτησης θέσης, ασύρματη επικοινωνία, ραδιοκύματα, μικροκύματα.





## Μάθημα 6.6: Τεχνολογίες εκπομπής – Δορυφορικά δίκτυα



Στη δορυφορική επικοινωνία χρησιμοποιούνται μικροκύματα των οποίων οι συχνότητες είναι πάνω από 1 GHz.

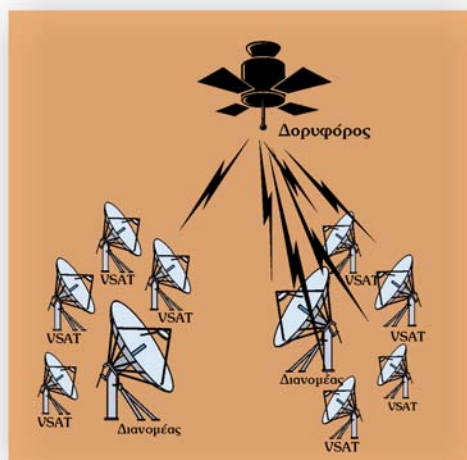
Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα μαθήματα, τα δεδομένα είναι δυνατόν να μεταδοθούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα) μέσω της ατμόσφαιρας ή του διαστήματος. Τα δορυφορικά συστήματα είναι αυτά τα οποία μπορούν να φέρουν σε πέρας τέτοιου είδους επικοινωνία. Χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό μια δέσμη μικροκυμάτων, που περιέχει κωδικοποιημένα δεδομένα και μεταδίδεται από το έδαφος στο δορυφόρο. Τα δεδομένα επιστρέφουν στο έδαφος σε προκαθορισμένους παραλήπτες μέσω **δορυφορικών αναμεταδοτών** (*transponders*). Ένας δορυφόρος έχει πολλούς τέτοιους αναμεταδότες, καθένας από τους οποίους καλύπτει μια συγκεκριμένη περιοχή συχνότητας. Ένα τυπικό δορυφορικό κανάλι έχει εύρος 500 MHz και μπορεί να παρέχει εκατοντάδες συνδέσεις πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυπλεξίας συχνότητας και χρόνου.

Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται για επικοινωνιακούς σκοπούς είναι συνήθως γεωστατικοί, κινούνται δηλαδή σε γεωστατική τροχιά γύρω από τη Γη, στα 35.900 χιλιόμετρα περίπου επάνω από τον Ισημερινό. Αυτό σημαίνει ότι μία πλήρης περιφορά ενός δορυφόρου γύρω από τη Γη έχει διάρκεια 24 ώρες. Συγχρονισμένοι όμως οι δορυφόροι με την περιφορά της Γης γύρω από τον εαυτό της, γυρνούν μαζί με τη Γη και με την ίδια φορά, δίνοντας την εντύπωση ότι βρίσκονται πάντα επάνω από τον ίδιο τόπο. Το σήμα που εκπέμπουν μπορεί είτε να εκτείνεται σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή είτε να εστιάζεται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή. Στη δεύτερη περίπτωση το σήμα είναι δυνατότερο και μπορεί να ληφθεί και από μικρές δορυφορικές κεραίες (σχήμα 6.11), γνωστές και ως **VSATs** (*Very Small Aperture Terminals*). Οι μικροκυματικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται ανήκουν στην περιοχή C-band (4-6 GHz) ή στην περιοχή Ku-band (12-14 GHz).

Οι δορυφόροι λειτουργούν ως σταθμοί αναμετάδοσης των δεδομένων, ενώ ένα τυπικό δορυφορικό δίκτυο (σχήμα 6.11) αποτελείται συνήθως από:

✓ Το δορυφόρο.

- ✓ Το διανομέα (*hub*), δηλαδή ένα σταθμό με δορυφορική κεραία διαμέτρου από 4 έως 15 μέτρα συνήθως.
- ✓ Τους τερματικούς σταθμούς που είναι εφοδιασμένοι με VSATs, η διάμετρος των οποίων κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 2 μέτρα. Φυσικά ο διανομέας και οι τερματικοί σταθμοί συνδέονται με τα επίγεια δίκτυα δεδομένων.
- ✓ Τους υπολογιστές, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το διανομέα και τους τερματικούς σταθμούς.



Σχήμα 6.11: Δορυφορικό σύστημα VSATs (*Very Small Aperture Terminals*)



Ένας τερματικός σταθμός αποτελείται από:

- ✓ Την κεραία στο εξωτερικό κάποιου κτιρίου, η οποία διαθέτει και το μετατροπέα συχνότητας, που μετατρέπει τη συχνότητα λήψης σε μικρότερη συχνότητα (1,5 GHz περίπου).
- ✓ Το δορυφορικό διαποδιαμορφωτή (*modem*), που παίρνει το χαμηλότερης συχνότητας σήμα, το αποκωδικοποιεί και, μέσω καλωδίου πλέον, στέλνει τα δεδομένα σε ένα συνδεδεμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων είναι:

- ✓ Παρέχουν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης.
- ✓ Η απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και των σταθμών εδάφους δεν επηρεάζει την επικοινωνία τους.
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγχρόνως για μεταφορά πολλών μορφών δεδομένων, όπως δεδομένων ηλεκτρονικών υπολογιστών, φωνής (τηλεφωνία), εικόνας (τηλεόραση).
- ✓ Το κόστος τους είναι ανεξάρτητο από την απόσταση που τους χωρίζει από το σταθμό εδάφους.

Τα μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων είναι:

- ✓ Έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.
- ✓ Επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες.
- ✓ Δεν παρέχουν ασφάλεια, καθώς οποιοσδήποτε με μια κεραία μπορεί να λάβει την πληροφορία που εκπέμπουν. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται, αν παραστεί ανάγκη, διάφορες τεχνικές κρυπτογράφησης του μηνύματος.
- ✓ Παρατηρείται μεγάλη καθυστέρηση του σήματος, λόγω της μεγάλης απόστασης του δορυφόρου από τους σταθμούς εδάφους (περίπου 500 msec).

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ασύρματη επικοινωνία, μικροκύματα, δορυφορική επικοινωνία, δορυφορικά δίκτυα, δορυφορικός αναμεταδότης, VSAT.





## Ενότητα Γ: Τοπικά δίκτυα

### Περιεχόμενα

### Κεφάλαιο 7: Εισαγωγή στα τοπικά δίκτυα

<b>Μάθημα 7.1:</b>	<b>Βασικά στοιχεία τοπικών δικτύων .....</b>	<b>9</b>
7.1.1	Ορισμός, βασικές έννοιες, ταξινόμηση και χαρακτηριστικά .....	9
7.1.2	Χρήση τοπικών δικτύων .....	11
<b>Μάθημα 7.2:</b>	<b>Φυσικά μέσα .....</b>	<b>14</b>
7.2.1	Εισαγωγή .....	14
7.2.2	Φυσικά μέσα τοπικών δικτύων .....	15
7.2.2.1	Δομημένη καλωδίωση στα τοπικά δίκτυα .....	15
7.2.2.2	Ασύρματα μέσα μετάδοσης .....	18
<b>Μάθημα 7.3:</b>	<b>Τοπολογίες .....</b>	<b>19</b>
7.3.1	Εισαγωγή .....	19
7.3.2	Τοπολογίες ενσύρματων τοπικών δικτύων .....	19
7.3.2.1	Τοπολογία διαύλου .....	19
7.3.2.2	Τοπολογία δέντρου .....	20
7.3.2.3	Τοπολογία δακτυλίου .....	21
7.3.2.4	Τοπολογία άστρου .....	22
7.3.3	Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων .....	23
<b>Μάθημα 7.4:</b>	<b>Μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης στο μέσο .....</b>	<b>27</b>
7.4.1	Εισαγωγή .....	27
7.4.2	Δέσμευση χωρητικότητας στα τοπικά δίκτυα .....	28
<b>Μάθημα 7.5:</b>	<b>Τυποποιήσεις IEEE 802.x .....</b>	<b>31</b>
7.5.1	Εισαγωγή .....	31
7.5.2	Πρότυπο IEEE 802.3 .....	32
7.5.3	Άλλα πρότυπα τοπικών δικτύων του IEEE .....	33
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>34</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>35</b>





## Κεφάλαιο 8: Πρότυπα τοπικών δικτύων

<b>Μάθημα 8.1:</b>	<b>Τεχνολογική εξέλιξη .....</b>	<b>39</b>
8.1.1	Εισαγωγή .....	39
8.1.2	Τεχνολογία τοπικών δικτύων πρώτης γενιάς (1970-1984) .....	39
8.1.3	Τεχνολογία τοπικών δικτύων δεύτερης γενιάς (1985-1990) .....	40
8.1.4	Τεχνολογία τοπικών δικτύων τρίτης γενιάς (1990-2000) .....	41
<b>Μάθημα 8.2:</b>	<b>Πρότυπο ALOHA .....</b>	<b>43</b>
<b>Μάθημα 8.3:</b>	<b>Πρότυπο CSMA .....</b>	<b>46</b>
<b>Μάθημα 8.4:</b>	<b>Πρότυπα CSMA/CD, IEEE 802.3 και Ethernet ....</b>	<b>49</b>
8.4.1	Το πρότυπο CSMA/CD .....	49
8.4.2	Το πρότυπο IEEE 802.3 και το Ethernet .....	52
<b>Μάθημα 8.5:</b>	<b>Πρότυπο IEEE 802.4 - Δίκτυα διαύλου με κουπόνι διέλευσης .....</b>	<b>54</b>
8.5.1	Εισαγωγή .....	54
8.5.2	Το πρότυπο IEEE 802.4 .....	54
<b>Μάθημα 8.6:</b>	<b>Πρότυπο IEEE 802.5 - Δίκτυα δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης .....</b>	<b>56</b>
8.6.1	Εισαγωγή .....	56
8.6.2	Το δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης .....	56
8.6.3	Το πρότυπο IEEE 802.5 .....	57
<b>Μάθημα 8.7:</b>	<b>Πρότυπο N-ISDN .....</b>	<b>59</b>
8.7.1	Εισαγωγή .....	59
8.7.2	Λειτουργία διατάξεων N-ISDN .....	59
8.7.3	Σχηματισμοί και σημεία αναφοράς .....	63
8.7.4	Κατηγορίες ρυθμού πρόσβασης .....	64
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>67</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>68</b>



## Κεφάλαιο 9: Λογισμικό - Υλικό τοπικών δικτύων

<b>Μάθημα 9.1:</b>	<b>Δικτυακό λειτουργικό σύστημα .....</b>	<b>71</b>
9.1.1	Εισαγωγή .....	71
9.1.2	Δικτυακό σύστημα τερματικών .....	71
9.1.3	Δικτυακό σύστημα ομότιμων σταθμών εξυπηρέτησης .....	72
9.1.4	Δικτυακό σύστημα σταθμών εξυπηρέτησης με εξειδικευμένες λειτουργίες .....	73
9.1.5	Δυνατότητες δικτυακών λειτουργικών συστημάτων .....	75
9.1.6	Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....	76
9.1.7	Ασφάλεια .....	77
<b>Μάθημα 9.2:</b>	<b>Ειδικός δικτυακός εξοπλισμός .....</b>	<b>78</b>
9.2.1	Επικοινωνιακός εξοπλισμός .....	78
9.2.2	Βασικές μονάδες επικοινωνιακού εξοπλισμού .....	78
9.2.2.1	Μετωπικοί επεξεργαστές .....	79
9.2.2.2	Κάρτες δικτύου .....	79
9.2.2.3	Διανομείς .....	80
<b>Μάθημα 9.3:</b>	<b>Επαναλήπτες .....</b>	<b>82</b>
9.3.1	Εισαγωγή .....	82
9.3.2	Επαναλήπτες .....	82
9.3.3	Τύποι επαναληπτών .....	83
<b>Μάθημα 9.4:</b>	<b>Γέφυρες .....</b>	<b>85</b>
9.4.1	Εισαγωγή .....	85
9.4.2	Λειτουργίες γεφυρών .....	86
9.4.3	Τύποι γεφυρών .....	88
<b>Μάθημα 9.5:</b>	<b>Δρομολογητές .....</b>	<b>91</b>
9.5.1	Εισαγωγή .....	91
9.5.2	Λειτουργίες δρομολογητών .....	91
<b>Μάθημα 9.6:</b>	<b>Αρχές σχεδίασης - διαχείρισης τοπικών δικτύων .....</b>	<b>93</b>



9.6.1	Σχεδίαση τοπικών δικτύων .....	93
9.6.2	Βασική διαχείριση τοπικών δικτύων .....	94
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	.....	<b>96</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	.....	<b>97</b>

## Κεφάλαιο 10: Διασύνδεση τοπικών δικτύων

<b>Μάθημα 10.1:</b>	<b>Αρχές διασύνδεσης τοπικών δικτύων .....</b>	<b>101</b>
10.1.1	Εισαγωγή .....	101
10.1.2	Διασύνδεση δικτύων .....	102
10.1.3	Τύποι δικτύων που μπορούν να διασυνδεθούν .....	104
<b>Μάθημα 10.2:</b>	<b>Επιλογή τοπικού δικτύου και μέσου μετάδοσης .....</b>	<b>106</b>
10.2.1	Εισαγωγή .....	106
10.2.2	Τεχνικές μετάδοσης τοπικών δικτύων .....	106
10.2.2.1	Μετάδοση βασικής ζώνης .....	106
10.2.2.2	Μετάδοση ευρείας ζώνης .....	107
10.2.2.3	Μετάδοση ευρείας ζώνης απλού καναλιού .....	107
10.2.3	Μέσα μετάδοσης τοπικών δικτύων .....	108
10.2.4	Συσχέτιση φυσικού μέσου και τοπολογίας .....	108
<b>Μάθημα 10.3:</b>	<b>Επιλογή τοπικού δικτύου και μονάδων διασύνδεσης .....</b>	<b>110</b>
10.3.1	Εισαγωγή .....	110
10.3.2	Διασύνδεση με χρήση επαναληπτών .....	111
10.3.3	Διασύνδεση με χρήση γεφυρών .....	113
10.3.4	Διασύνδεση με χρήση δρομολογητών .....	117
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	.....	<b>120</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	.....	<b>121</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	.....	<b>122</b>
<b>Διευθύνσεις Διαδικτύου (URLs)</b>	.....	<b>122</b>



## Μάθημα 7.1: Βασικά στοιχεία τοπικών δικτύων

### 7.1.1 Ορισμός, βασικές έννοιες, ταξινόμηση και χαρακτηριστικά

Ένα **τοπικό δίκτυο υπολογιστών** (*LAN: Local Area Network*) είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας του οποίου η γεωγραφική εμβέλεια δεν υπερβαίνει μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να πετύχει είναι, θεωρητικά, απεριόριστος. Αποτελείται από ένα σύνολο τερματικών, υπολογιστών και άλλων διατάξεων και χρησιμοποιεί γραμμές επικοινωνίας προκειμένου να διαμοιράσει δεδομένα, πληροφορίες, υλικό και λογισμικό. Το δίκτυο αυτό μπορεί:

- ✓ Να είναι ενσύρματο ή ασύρματο.
- ✓ Να παρέχει μετάδοση σημείου προς σημείο ή μετάδοση εκπομπής.
- ✓ Να παρέχει μικρό ρυθμό σφαλμάτων με εύρος που κυμαίνεται ανάλογα με τις δυνατότητες του μέσου μετάδοσης.
- ✓ Να είναι πλήρως ιδιόκτητο<sup>1</sup>.

Αν και τεχνολογικά είναι δύσκολο –και ίσως ανώφελο– να καθοριστεί ένα συγκεκριμένο όριο όσον αφορά το μήκος της εγκατεστημένης καλωδίωσης των σημερινών ενσύρματων τοπικών δικτύων, εντούτοις αυτή δεν υπερβαίνει τα 100 km, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης αυτών των δικτύων μπορούν στην πράξη να καλύψουν το 1 Gbps. Είναι φανερό ότι τα ενσύρματα δίκτυα των οποίων η εγκατεστημένη καλωδίωση δεν υπερβαίνει το όριο των 100 km έχουν μικρή γεωγραφική εμβέλεια και ως εκ τούτου ανήκουν στην κατηγορία των τοπικών δικτύων. Συνήθως τα δίκτυα αυτά καλύπτουν τις ανάγκες ενός ή περισσότερων γραφείων, ακόμη και ενός οργανισμού του οποίου τα κτίρια εκτείνονται σε μια μικρή περιοχή.

#### Παράδειγμα I

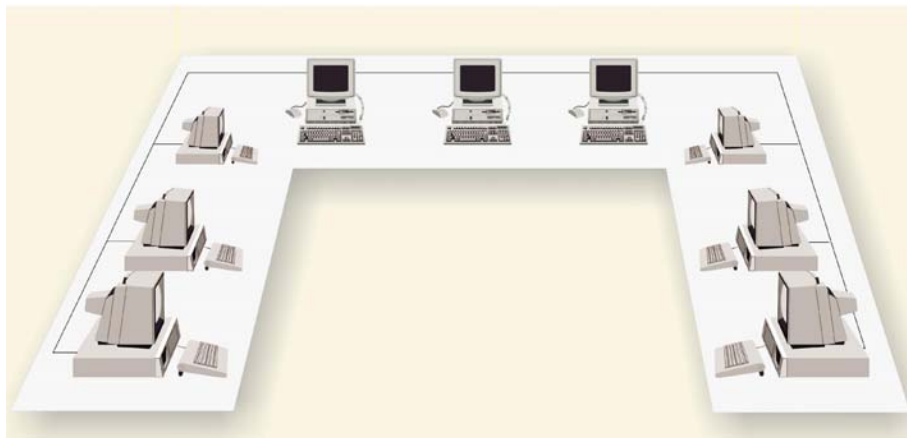
Ένα απλό παράδειγμα τοπικού δικτύου αποτελεί το δίκτυο του σχολικού εργαστηρίου, που μπορεί να επεκταθεί και να καλύψει όλες τις αίθουσες διδασκαλίας του σχολείου (σχήμα 7.1).

Όπως σημειώθηκε και στο Μάθημα 4.2, τα δίκτυα που εκτείνονται σε μεγαλύτερες

<sup>1</sup> Πλήρως ιδιόκτητο είναι εκείνο το δίκτυο του οποίου τόσο η συνολική υποδομή (φυσικά μέσα μετάδοσης και εξοπλισμός πρόσβασης) όσο και τα δικαιώματα πρόσβασης και εκμετάλλευσης είναι ιδιόκτητα.



**Ο ρυθμός σφάλματος δυαδικού ψηφίου (BER: Bit Error Rate)** εκφράζει την πιθανότητα μετάδοσης εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων, αφού υπολογίζει το ποσοστό των δυαδικών ψηφίων που στάλθηκαν αλλά παραλήφθηκαν εσφαλμένα. Για παράδειγμα, με ρυθμό σφάλματος δυαδικού ψηφίου  $1,5 \times 10^{-9}$  έχει συμφωνηθεί να εννοούμε την παρουσία  $1,5$  λανθασμένων δυαδικών ψηφίων (κατά μέσο όρο) σε ένα σύνολο  $10^9$  αποστελλόμενων δυαδικών ψηφίων. Φυσικά ο ρυθμός αυτός ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της πληροφορίας που αποστέλλεται.



Σχήμα 7.1: Το σχολικό τοπικό δίκτυο



Η ανάγκη της διάκρισης των δικτύων σε τοπικά και ευρείας περιοχής προκύπτει λόγω των διαφορετικών δυνατοτήτων του μέσου επικοινωνίας που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση, καθώς και λόγω των τεχνικών πρόσβασης που εφαρμόζονται. Η διάκριση αυτή είναι τεχνολογική και δεν έχει σχέση με άλλες ταξινομήσεις των δικτύων, οι οποίες γίνονται προκειμένου να εξυπηρετήσουν νομικούς, εθνικούς ή επιχειρηματικούς σκοπούς.

περιοχές με μήκος εγκατεστημένης καλωδίωσης 100 - 200 km λέγονται **μητροπολιτικά δίκτυα**. Οι αρχές με τις οποίες λειτουργούν είναι στην ουσία ίδιες με αυτές των τοπικών δικτύων με μόνη διαφορά τη βελτιστοποίηση των μεθόδων ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, ώστε αυτές να εφαρμόζονται και σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Όμως η αφομοίωση των δικτύων αυτής της κατηγορίας από τα τοπικά δίκτυα και τα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι μια διαρκής

διαδικασία. Ορισμένα μητροπολιτικά δίκτυα προσεγγίζουν καλύτερα τα χαρακτηριστικά και την απόδοση των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων και συγκρίνονται μ' αυτά (Ενότητα Δ), σε αντιδιαστολή με άλλα που συγκρίνονται με τα δίκτυα ευρείας περιοχής.

Στα ενσύρματα **δίκτυα ευρείας περιοχής** η εγκατεστημένη καλωδίωση υπερβαίνει το όριο των 200 km, ενώ η γεωγραφική εμβέλειά τους καλύπτει μεγάλες περιοχές. Τα δίκτυα αυτά έχουν σήμερα υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, που ξεπερνούν πλέον τα 622 Mbps, και εξετάζονται στην Ενότητα Ε.

Οι τεχνολογίες των ενσύρματων τοπικών δικτύων που επιτρέπουν ρυθμούς μετάδοσης μικρότερους από 20 Mbps χαρακτηρίζουν τα δίκτυα της πρώτης γενιάς και εξετάζονται στο παρόν κεφάλαιο, σε αντιδιαστολή με τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες των δικτύων δεύτερης και τρίτης γενιάς (δίκτυα υψηλών επιδόσεων) που επιτρέπουν ρυθμούς μετάδοσης από 50 Mbps έως 1 Gbps και εξετάζονται στην Ενότητα Δ. Τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα χαρακτηρίζονται από πολύ μικρό *BER*, το οποίο στην περίπτωση του ομοαξονικού καλωδίου, για παράδειγμα, κυμαίνεται μεταξύ των  $10^{-8}$  και  $10^{-11}$  bps.

Διαφορετικές θεωρήσεις ισχύουν για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, των οποίων η εξέλιξη είναι σημαντική και ραγδαία. Το ενδιαφέρον για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα προκύπτει από:

- ✓ Την επιτακτική ανάγκη για εναλλακτικές μορφές ασύρματης μετάδοσης σταθερών τοπικών δικτύων, οι οποίες θα παρέχουν τη δυνατότητα εγκατάστασης δικτύων με μικρότερο κόστος και με ευκολότερη διαχείριση από τα αντίστοιχα ενσύρματα δίκτυα. Η μείωση του κόστους αφορά κυρίως την αρχική εγκατάσταση της καλωδίωσης αλλά και οποιαδήποτε μελλοντική αλλαγή στο σχεδιασμό του δικτύου.
- ✓ Το γεγονός ότι συνιστούν τη βάση της επικοινωνίας ισχυρών φορητών σταθμών εργασίας, οι οποίοι επιβάλλεται να διασυνδεθούν μέσω δικτύων με άλλους υπολογιστές που βρίσκονται επάνω σε σταθερά ή κινητά δίκτυα.

Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα τα μέσα μετάδοσης μπορεί να είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, καθώς και τα υπέρυθρα σήματα. Για το λόγο αυτό τα ασύρματα τοπικά δίκτυα καλύπτουν μικρότερες αποστάσεις, έχουν χαμηλότερους ρυθμούς με-





τάδοσης και σαφώς υψηλότερο ρυθμό σφαλμάτων σε σύγκριση με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Για παράδειγμα, στα ραδιοδίκτυα και στα δίκτυα υπέρυθρων ακτινοβολιών ο ρυθμός σφαλμάτων των δυαδικών ψηφίων κυμαίνεται μεταξύ των  $10^{-3}$  και  $10^{-5}$  bps.

## 7.1.2 Χρήση τοπικών δικτύων

Οι λόγοι που επιβάλλουν την εγκατάσταση των τοπικών δικτύων υπολογιστών είναι πολλοί. Αρκεί να αναφέρουμε ότι σε όλους τους τομείς της κοινωνίας μας (οικονομία, υγεία, παιδεία, άμυνα, ψυχαγωγία κτλ.) οι εργαζόμενοι χρησιμοποιούν τον προσωπικό υπολογιστή ως κύριο εργαλείο (σχήμα 7.2). Όσον αφορά μάλιστα το χώρο της οικονομίας, θεωρείται ότι το μέλλον μιας εταιρείας εξαρτάται όχι μόνο από το εάν αυτή διαθέτει εγκατεστημένο δίκτυο, αλλά κυρίως από τον τύπο του δικτύου που έχει εγκαταστήσει. Η οικονομία όλων των βιομηχανοποιημένων χωρών βασίζεται ολοένα και περισσότερο στην ηλεκτρονική επεξεργασία και διακίνηση της πληροφορίας μέσω των δικτύων υπολογιστών.

Ειδικότερα, τα τοπικά δίκτυα υπολογιστών είναι εκ των πραγμάτων οι βασικοί μηχανισμοί μέσω των οποίων ομάδες εργαζομένων μπορούν να διασυνδεθούν στο πλαίσιο μιας οποιασδήποτε επιχείρησης, οργανισμού ή ερευνητικού κέντρου, προκειμένου να μοιράζονται, να μεταβιβάζουν και να αποθηκεύουν πληροφορίες.

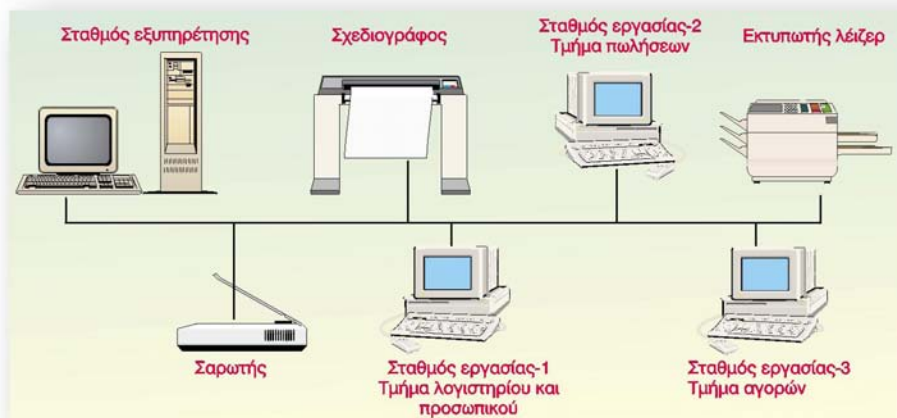
### Παράδειγμα II

Στην απλούστερη των περιπτώσεων το τοπικό δίκτυο αποτελείται από μια γραμμή επικοινωνίας που συνδέει μια σειρά τερματικών διατάξεων με έναν ή περισσότερους μικροϋπολογιστές.

Στο σχήμα 7.3 παρουσιάζεται ένα απλό τοπικό δίκτυο τεσσάρων προσωπικών υπολογιστών που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός καλωδίου. Τρεις από τους προσωπικούς υπολογιστές, οι οποίοι συνδέονται με τα τμήματα πωλήσεων και αγορών, λογιστηρίου και προσωπικού αντίστοιχα, είναι διαθέσιμοι για χρήση οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Ο τέταρτος υπολογιστής χρησιμοποιείται ως σταθμός εξυπηρέτησης των αναγκών επικοινωνίας όλων των υπολογιστών του δικτύου. Οι χρήστες αυτού του δικτύου έχουν διασυνδεθεί μέσω του σταθμού εξυπηρέτησης με έναν εκτυπωτή, ένα σαρωτή



Σχήμα 7.2: Ομάδα γιατρών επισκέπτεται ασθενή σε νοσοκομειακό θάλαμο και διαμέσου φορητού υπολογιστή ασύρματης δικτύωσης επικοινωνεί με τη βάση δεδομένων για την αναζήτηση του ιατρικού ιστορικού του ασθενή, την απεικόνιση και την ενημέρωση της εγγραφής του (σε αντιδιαστολή με το παλαιό σύστημα των καρτελών).



Σχήμα 7.3: Ένα τοπικό δίκτυο σε περιβάλλον γραφείου

και ένα σχεδιογράφο, ώστε όλοι οι υπολογιστές να μπορούν να χρησιμοποιούν αυτές τις συσκευές. Σημειώνουμε ότι σήμερα τα τοπικά δίκτυα συνδέουν πλέον εξελεγμένες διατάξεις αυτοματισμού γραφείου, ήχου, εικόνας, βίντεο κτλ., οι οποίες όμως απαιτούν από το σταθμό εξυπηρέτησης μεγάλη διαθέσιμη χωρητικότητα. Σε μικρά τοπικά δίκτυα οι σταθμοί εξυπηρέτησης μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να λειτουργήσουν οι εφαρμογές μαζί με άλλους υπολογιστές του δικτύου. Σε μεγαλύτερα τοπικά δίκτυα οι σταθμοί εξυπηρέτησης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παροχή υπηρεσιών δικτύου, όπως είναι ο διαμοιρασμός του υλικού, του λογισμικού, των πληροφοριών κτλ.

#### ✓ Διαμοιρασμός υλικού

Όπως αναφέρθηκε, ένα τοπικό δίκτυο παρέχει στους χρήστες του τη δυνατότητα διαμοιρασμού των συσκευών που είναι φυσικά συνδεδεμένες με το δίκτυο ή με το σταθμό εργασίας κάποιου χρήστη. Τέτοιες συσκευές είναι οι εκτυπωτές, οι σχεδιογράφοι, οι συσκευές αποθήκευσης δεδομένων κτλ. Γενικότερα, στους πόρους ενός τοπικού δικτύου συμπεριλαμβάνονται όλες οι διατάξεις οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο και στις οποίες έχουν πρόσβαση οι χρήστες. Επομένως το δίκτυο επιτρέπει σε κάθε χρήστη να έχει πρόσβαση και σε διατάξεις που θεωρούνται πολύ ακριβές, ώστε να δικαιολογούν την περιοδική χρησιμοποίησή τους από έναν και μόνο χρήστη. Απλό παράδειγμα αποτελεί το δίκτυο του σχήματος 7.3, κατά το οποίο ένας ακριβός σχεδιογράφος που συνδέεται σε τοπικό δίκτυο είναι δυνατόν να εξυπηρετεί περιοδικά όλους τους χρήστες του δικτύου.

#### ✓ Διαμοιρασμός λογισμικού

Ο διαμοιρασμός λογισμικού αφορά την αποθήκευση στο σκληρό δίσκο του σταθμού εξυπηρέτησης του χρησιμοποιούμενου λογισμικού, όπως είναι τα προγράμματα, οι εφαρμογές και τα δεδομένα, ώστε να μπορούν να έχουν πρόσβαση σ' αυτό όλοι οι χρήστες του δικτύου. Ειδικότερα, σε ένα τοπικό δίκτυο είναι δυνατή η τοποθέτηση ενός κεντρικού σταθμού εξυπηρέτησης αρχείων και δεδομένων μαζί με όλους τους άλλους πόρους λογισμικού (προγράμματα, πακέτα, εφαρμογές κτλ.) κατά το πρότυπο πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης. Η δυνατότητα αυτή επιφέρει σημαντική μείωση του κόστους προμήθειας και εγκατάστασης λογισμικού και αφο-



ρά όλες σχεδόν τις εκδόσεις δικτυακού λογισμικού που προσφέρονται από τους κατασκευαστές. Όταν εγκαθίσταται σε κάποιο δίκτυο ένα λογισμικό, προβλέπονται συμφωνίες για την παραχώρηση ειδικών αδειών χρήσης με μειωμένο κόστος στον επιθυμητό αριθμό χρηστών. Σημειώνουμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις εγκατάστασης δικτυακού λογισμικού οι διαδικασίες ασφάλειας, αναβάθμισης και δημιουργίας αντιγράφων προστασίας δεδομένων καθίστανται ευκολότερες.

#### ✓ **Διαμοιρασμός πληροφοριών**

Μια βάση δεδομένων που είναι εγκατεστημένη σε ένα τοπικό δίκτυο επιτρέπει σε όλους τους χρήστες του δικτύου να τη χρησιμοποιούν με τον ωφελιμότερο τρόπο. Το δίκτυο μπορεί να «κλειδώνει» τις εγγραφές της βάσης, ώστε να επιτρέπεται σε πολλούς χρήστες την ταυτόχρονη πρόσβασή τους σε ένα αρχείο, χωρίς να καταστρέφονται τα δεδομένα. Το «κλειδωμά» εγγραφών εγγυάται ότι δεν μπορούν δύο χρήστες να τροποποιούν ταυτόχρονα την ίδια εγγραφή.

#### ✓ **Υπηρεσίες Διαδικτύου**

Ένα τοπικό δίκτυο παρέχει σήμερα όλες τις βασικές υπηρεσίες του Διαδικτύου, όπως είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η μεταφορά αρχείων, οι υπηρεσίες Web (φυλλομετρητές, ιστοσελίδες) κτλ. Ως αποτέλεσμα αυτού τα τοπικά δίκτυα μετεξελίχθηκαν από μικρά συστήματα επικοινωνίας και διακίνησης πληροφοριών, που συνέδεαν μερικούς χρήστες σε κάποια επιχείρηση, σε ένα κατακεντρωμένο και δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον παγκόσμιου ιστού, που υποστηρίζει εταιρικές - επιχειρηματικές υπολογιστικές εφαρμογές του σχήματος πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης.

#### ✓ **Ομάδες συνεργασίας χρηστών**

Στο πλαίσιο των επιχειρήσεων ή των οργανισμών τα τοπικά δίκτυα δίνουν ευκαιρίες σχηματισμού ομάδων συνεργασίας χρηστών, οι οποίοι –ανεξάρτητα από το χώρο εργασίας τους στον οργανισμό– διεκπεραιώνουν από κοινού μέσω του υπολογιστή κάποιες εργασίες.

#### ✓ **Επέκταση της εγκατεστημένης βάσης σταθμών εργασίας**

Τα τοπικά δίκτυα προσφέρουν, εντός κάποιων ορίων, τη δυνατότητα επέκτασης του αριθμού των συνδεδεμένων σταθμών εργασίας με οικονομικό τρόπο. Αυτό γίνεται, γιατί υπάρχει η δυνατότητα εναλλακτικών επιλογών διασύνδεσης με συγκρίσιμο κόστος προμήθειας διεπαφών και λοιπού υλικού επικοινωνίας.

### **Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι**

Τοπικό δίκτυο υπολογιστών, ρυθμός σφάλματος δυαδικού ψηφίου, διαμοιρασμός πόρων.

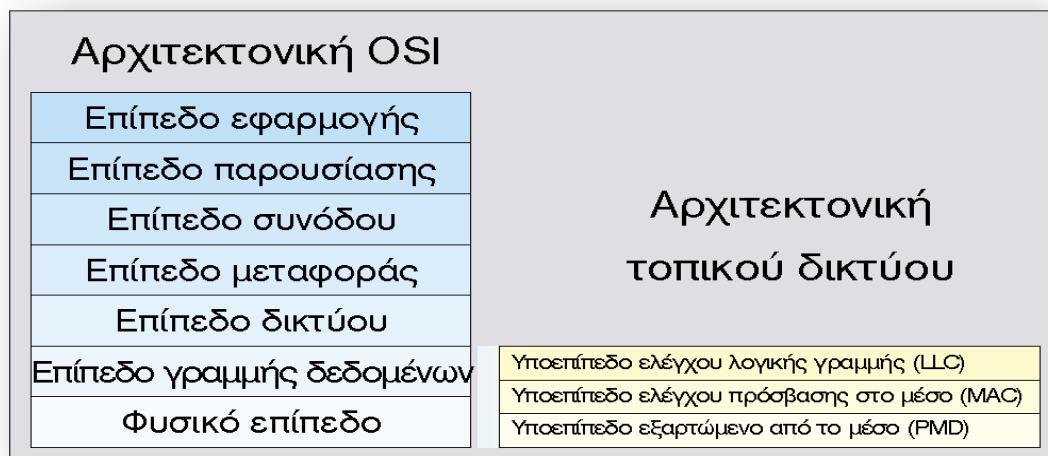




## Μάθημα 7.2: Φυσικά μέσα

### 7.2.1 Εισαγωγή

Η αρχιτεκτονική κάθε δικτύου προσδιορίζεται από το φυσικό μέσο των γραμμών επικοινωνίας του, την τοπολογία του και τη μέθοδο πρόσβασης στο φυσικό μέσο. Το σχήμα 7.4 δείχνει την αντιστοιχία της αρχιτεκτονικής των τοπικών δικτύων με αυτήν του μοντέλου αναφοράς *OSI*.



Σχήμα 7.4: Αρχιτεκτονική τοπικού δικτύου σε σχέση με το *OSI*

Όπως φαίνεται και από το σχήμα, τα δύο χαμηλότερα επίπεδα του *OSI* αντιστοιχούν σε τρία επίπεδα της αρχιτεκτονικής των τοπικών δικτύων, δηλαδή στο υποεπίπεδο που εξαρτάται από το φυσικό μέσο, στο υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο και στο υποεπίπεδο ελέγχου λογικής γραμμής (Μάθημα 5.4). Η αιτία για την κατάταξη αυτή εντοπίζεται στο ίδιο το φυσικό μέσο που διαμοιράζεται.

Στη συνέχεια θα σχολιαστούν αναλυτικότερα οι παράγοντες που επηρεάζουν την αρχιτεκτονική των τοπικών δικτύων. Ειδικότερα, θα εξεταστούν τα φυσικά μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται συνήθως στα τοπικά δίκτυα υπολογιστών, οι τοπολογίες, καθώς και οι μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης στα μέσα μετάδοσης. Ο ειδικός δικτυακός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται θα εξεταστεί λεπτομερώς στα Μαθήματα 9.1 και 9.2.



## 7.2.2 Φυσικά μέσα τοπικών δικτύων

Κάθε φυσικό μέσο μετάδοσης έχει διαφορετικές δυνατότητες, οι οποίες επηρεάζουν τη μετάδοση του σήματος. Σε ένα τοπικό δίκτυο η μετάδοση μπορεί να είναι βασικής ή ευρείας ζώνης. Στην πρώτη περίπτωση η μετάδοση του σήματος γίνεται χωρίς διαμόρφωση, ενώ στη δεύτερη γίνεται με διαμόρφωση κάποιου από τα χαρακτηριστικά του, όπως είναι το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση. Υπενθυμίζουμε ότι το αρχικό σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί ενισχύεται μέσω ενός άλλου σήματος το οποίο διαμορφώνει κάποιο από τα χαρακτηριστικά του, ενώ το νέο σήμα, που λέγεται **φέρον**, μεταδίδεται μέσω της γραμμής επικοινωνίας στο δέκτη ο οποίος και το αποδιαμορφώνει προκειμένου να πάρει το αρχικό σήμα.

### 7.2.2.1 Δομημένη καλωδίωση στα τοπικά δίκτυα

Στα ενσύρματα μέσα μετάδοσης ανήκουν τα ζεύγη συνεστραμμένων καλωδίων, τα ομοαξονικά καλώδια, καθώς και τα καλώδια οπτικών ινών. Τα χαρακτηριστικά των φυσικών αυτών μέσων μετάδοσης, λόγω του ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν στην εγκατάσταση όλων των τύπων δικτύων, εξετάστηκαν λεπτομερώς στα εισαγωγικά Μαθήματα 1.2 και 1.3. Εδώ θα αναλυθούν η δομή της καλωδιακής εγκατάστασης ενός τοπικού δικτύου και οι προδιαγραφές που αυτή πρέπει να διαθέτει.

Η δομημένη καλωδίωση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τις μελλοντικές φυσικές επεκτάσεις του δικτύου, για τις αναδιατάξεις των δομικών στοιχείων του, καθώς και για την αναβάθμιση των προσφερόμενων υπηρεσιών του. Παρ' όλο το σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης, η υλοποίησή της πρέπει να υποστηρίζεται και λόγω των μεγάλων δυνατοτήτων που παρέχει για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, καθώς και για μετάδοση φωνής, δεδομένων και βίντεο από το ίδιο φυσικό μέσο.

Ανεξάρτητα από το τοπικό δίκτυο που θα επιλεγεί, η καλωδιακή εγκατάσταση θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να διευκολύνει τη διαχείριση του δικτύου και να μπορεί να επεκταθεί χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, όταν αυτό απαιτηθεί. Η προτυποποίηση της καλωδίωσης των κτιρίων εμπορικής χρήσης υπήρξε αποτέλεσμα της συνεργασίας των οργανισμών *Electronic Industries Association* και *Telecommunications Industries Association (EIA/TIA)*, δίνοντας το γνωστό πρότυπο καλωδιακού συστήματος *EIA/TIA-568A*, το οποίο παρέχει τις κατευθυντήριες γραμμές για όλες τις καλωδιώσεις επικοινωνιών. Η τυποποίηση κατά το πρότυπο *EIA/TIA* σχεδιάστηκε για την εξυπηρέτηση πολλών τοπικών δικτύων, όπως είναι το *Ethernet 10Base-T*, το *Token Ring* κ.ά., τα οποία θα εξεταστούν στο Κεφάλαιο 8. Η τυποποίηση κατά το πρότυπο *EIA/TIA* περιλαμβάνει:

- ✓ Ένα γενικό καλωδιακό σύστημα τηλεπικοινωνιών εφαρμόσιμο στα κτίρια που προορίζονται για επιχειρηματική χρήση.
- ✓ Ορισμούς μέσων, τοπολογιών, τερματισμών καλωδιακών μέσων, σημείων σύνδεσης, καθώς και κανόνες διαχείρισης.
- ✓ Υποστήριξη πολλών προϊόντων από διαφορετικούς κατασκευαστές.



Η δομημένη καλωδίωση αποτελεί παράγοντα εξαιρετικής σημασίας για την εγκατάσταση, τη λειτουργία, τη διαχείριση και τη δυνατότητα επέκτασης των τοπικών δικτύων των εταιρειών ή των οργανισμών και θα έπρεπε να υλοποιείται σε όλες τις νέες οικοδομικές κατασκευές.





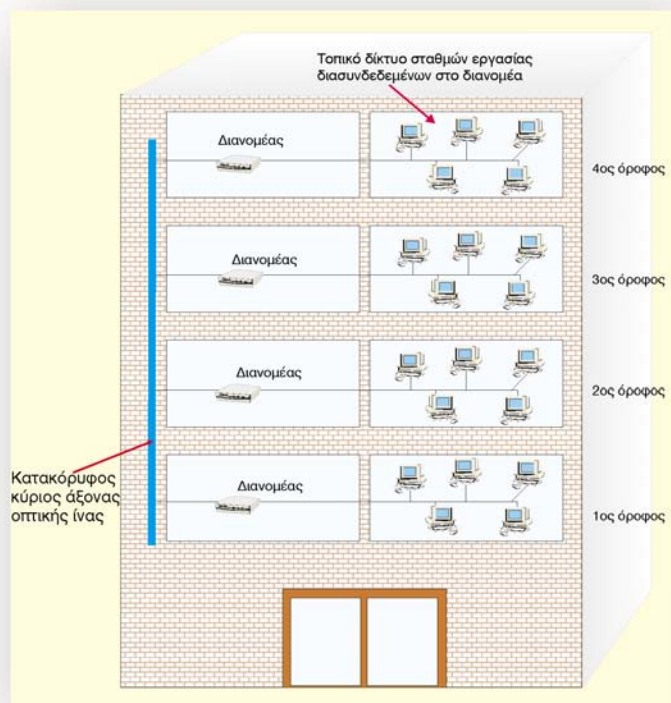
- ✓ Κατευθύνσεις προς τις εμπορικές επιχειρήσεις για το μελλοντικό σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών προϊόντων.
- ✓ Δυνατότητα σχεδιασμού και υλοποίησης της απαιτούμενης καλωδίωσης ενός εμπορικού κτιρίου χωρίς την εκ των προτέρων γνώση των προϊόντων που θα χρησιμοποιηθούν στην καλωδίωση αυτή.

Το πρώτο βήμα προς την επίτευξη αυτών των στόχων γίνεται με τη βοήθεια ενός συνόλου τυποποιημένων καλωδίων. Στο Μάθημα 1.2 έχει ήδη καθοριστεί ένα σύνολο από πέντε κατηγορίες καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών σύμφωνα με το πρότυπο *EIA/TIA*.

Η καλωδίωση κατά το πρότυπο *EIA/TIA* πραγματοποιείται διαμέσου πέντε υποσυστημάτων, τα οποία, όπως θα δούμε στη συνέχεια, συνδέονται σε διάταξη άστρου. Θεωρούμε ότι κάθε κτίριο αποτελείται από ορόφους των οποίων οι χώροι εργασίας πρέπει να διασυνδεθούν με το κεντρικό σημείο διασύνδεσης του κτιρίου, το οποίο με τη σειρά του διασυνδέει το κτίριο με τα άλλα κτίρια του οργανισμού ή, ενδεχομένως, με το δίκτυο ευρείας περιοχής. Επομένως σε κάθε κτίριο υπάρχουν δύο υποσυστήματα καλωδίωσης, η κατακόρυφη, που συνδέει τους ορόφους με το κεντρικό σημείο διασύνδεσης του κτιρίου, και η οριζόντια, που συνδέει τους χώρους εργασίας κάθε ορόφου του κτιρίου με την κατακόρυφη καλωδίωση. Επίσης υπάρχουν και τρία είδη σημείων σύνδεσης, η σύνδεση της κατακόρυφης καλωδίωσης με την καλωδίωση κορμού του τοπικού δικτύου, η σύνδεση της κατακόρυφης καλωδίωσης με την οριζόντια καλωδίωση των ορόφων και τέλος η σύνδεση των απολήξεων της οριζόντιας καλωδίωσης με τις τερματικές διατάξεις και τον εξοπλισμό του χρήστη. Επομένως, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.5, το σύστημα της δομημένης καλωδίωσης ενός κτιρίου υλοποιείται από τα ακόλουθα πέντε υποσυστήματα:



Παρόμοια προσπάθεια προτυποποίησης καλωδίων με αυτήν του προτύπου *EIA/TIA-568A* έχει γίνει και από το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (*ISO*), η οποία κατέληξε στο πρότυπο *ISO/IEC 180-1* για εσωτερική καλωδίωση ενός κτιρίου.



Σχήμα 7.5: Υποσυστήματα δομημένης καλωδίωσης



#### ✓ Υποσύστημα κεντρικής διασύνδεσης κτιρίου

Το υποσύστημα αυτό αποτελεί το κομβικό σημείο διασύνδεσης του κτιρίου με το τοπικό δίκτυο του οργανισμού ή με άλλα δίκτυα. Στις περισσότερες περιπτώσεις λειτουργεί σε ανεξάρτητο χώρο, μέσα στον οποίο βρίσκεται όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός διασύνδεσης της κατακόρυφης καλωδίωσης του κτιρίου, καθώς και οι καλωδιώσεις κορμού των άλλων δικτύων.

#### ✓ Υποσύστημα διασύνδεσης κατακόρυφης - οριζόντιας καλωδίωσης

Το υποσύστημα αυτό αποτελεί το σημείο διασύνδεσης της κατακόρυφης καλωδίωσης του κτιρίου με τις οριζόντιες καλωδιώσεις των ορόφων του κτιρίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις κάθε όροφος διαθέτει μία τουλάχιστον ντουλάπα τηλεπικοινωνιακού υλικού, η οποία περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό οριζόντιας διασύνδεσης, όπως είναι οι διανομείς (*hubs*), οι επαναλήπτες (αναλύονται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 9), οι συλλέκτες κτλ. Το υποσύστημα είναι εγκατεστημένο σε κάποια κεντρική θέση του ορόφου, από την οποία η κατακόρυφη καλωδίωση μπορεί να επικοινωνήσει με την ντουλάπα τηλεπικοινωνιακού υλικού.

#### ✓ Υποσύστημα απολήξεων οριζόντιας καλωδίωσης

Το υποσύστημα αυτό, που συνήθως αποτελεί και το χώρο εργασίας του χρήστη, περιλαμβάνει τις απολήξεις (πρίζες), την καλωδίωση και τους συνδετήρες διαμέσου των οποίων γίνεται η σύνδεση των τερματικών διατάξεων του χρήστη με το δίκτυο. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων το υποσύστημα αυτό είναι εγκατεστημένο στο σημείο όπου τερματίζεται η οριζόντια καλωδίωση, δηλαδή στο σημείο στο οποίο ο χρήστης έρχεται σε επαφή με το δίκτυο. Ο κύριος σκοπός αυτού του υποσυστήματος είναι η παροχή ενός σημείου πρόσβασης ανόμοιων τερματικών διατάξεων επικοινωνίας στο δίκτυο. Για παράδειγμα, διαμέσου μιας απλής πρίζας μπορεί να συνδεθεί ένα τηλέφωνο, ένας σταθμός εργασίας, ένα τερματικό κτλ.

#### ✓ Υποσύστημα οριζόντιας καλωδίωσης

Το υποσύστημα αυτό περιλαμβάνει όλες τις προδιαγραφές της καλωδίωσης, από την πρίζα στην οποία συνδέεται η τερματική διάταξη του χρήστη μέχρι τη σύνδεση στην ντουλάπα τηλεπικοινωνιακού υλικού. Το πρότυπο *EIA/TIA* ορίζει ότι η απόσταση ανάμεσα στις δύο συνδέσεις δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 90 μέτρα. Στην καλωδίωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθούν:

- καλώδια *UTP 100 Ohm* τεσσάρων ζευγών,
- καλώδια *STP 150 Ohm* δύο ζευγών,
- ομοαξονικό καλώδιο *50 Ohm*,
- καλώδιο οπτικής ίνας με διάμετρο πυρήνα *62,5 microns*.

#### ✓ Υποσύστημα κατακόρυφης καλωδίωσης

Το καλώδιο που χρησιμοποιείται στην κατακόρυφη καλωδίωση πρέπει να έχει τέτοιες προδιαγραφές, ώστε να παρέχεται ένα σημείο πρόσβασης σε κάθε όροφο του κτιρίου. Η καλωδίωση αυτή διαπερνά κατακόρυφα τους ορόφους του κτιρίου και τερματίζει στο κεντρικό σημείο διασύνδεσης του κτιρίου. Συνήθως η κατακόρυφη καλωδίωση είναι ισχυρότερη από την οριζόντια, αφού μεταφέρει αθροιστικά τις πληροφορίες των ορόφων.



Η κατακόρυφη καλωδίωση μπορεί να υλοποιηθεί και με οπτική ίνα, η οποία έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει τοπολογίες *Ethernet* ή *Token Ring* μεγαλύτερων αποστάσεων σε σχέση με το χάλκινο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών.



### 7.2.2.2 Ασύρματα μέσα μετάδοσης

Διαφορετική είναι η θεώρηση των ασύρματων τοπικών δικτύων. Όπως αναφέρθηκε, τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούν ως μέσο μετάδοσης τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, τα ομοαξονικά καλώδια και τις οπτικές ίνες. Φυσικά ένα μεγάλο μέρος του κόστους ενός ενσύρματου τοπικού δικτύου αφορά την προμήθεια και την εγκατάσταση της καλωδίωσης, το οποίο πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε περίπτωση οποιουδήποτε ανασχεδιασμού ή επέκτασης του δικτύου. Επομένως τα ασύρματα δίκτυα, πέρα από τη διευκόλυνση που προσφέρουν, ιδιαίτερα στην κινητή επικοινωνία, έχουν και μειωμένο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα η μετάδοση γίνεται διαμέσου των ραδιοφωνικών συχνοτήτων (στο εύρος των  $10^4$  έως  $10^9$  Hz), των μικροκυματικών συχνοτήτων (στο εύρος των  $10^9$  έως  $10^{12}$  Hz) και των υπέρυθρων ακτινοβολιών (στο εύρος των  $10^{12}$  έως  $10^{14}$  Hz του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος συχνοτήτων). Αναλυτικότερα, η χρήση των μέσων αυτών στα τοπικά δίκτυα έχει ως ακολούθως:

- ✓ Οι ραδιοσυχνότητες χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε πάρα πολλές εφαρμογές τοπικών δικτύων, όπως είναι για παράδειγμα οι ραδιοφωνικές και οι τηλεοπτικές εκπομπές, καθώς και τα κυτταρικά τηλεφωνικά δίκτυα. Επειδή τα ραδιοκύματα, ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες, διαπερνούν αδιαφανή αντικείμενα, όπως είναι οι τοίχοι των κτιρίων, χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών. Το γεγονός όμως αυτό προκαλεί επικαλύψεις των ραδιοφωνικών συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να απαιτείται ο επίσημος καθορισμός συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων για κάθε εφαρμογή. Οι περιορισμοί στη χρήση κάθε ζώνης του φάσματος καθορίζονται με διακρατικές συμφωνίες και ισχύουν για κάθε κράτος.
- ✓ Η μικροκυματική επικοινωνία χρησιμοποιείται κυρίως στις τηλεφωνικές συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, στα κυτταρικά τηλεφωνικά δίκτυα, στην τηλεόραση, καθώς και σε αρκετές άλλες εφαρμογές στις οποίες η φυσική επικοινωνία είναι δύσκολη (δύσβατες περιοχές). Σημειώνεται ότι υπάρχουν ενδιαφέρουσες υλοποιήσεις τέτοιας μορφής τοπικών δικτύων, αφού, για παράδειγμα, η τοποθέτηση δύο κεραιών επάνω σε δύο πύργους εγκατεστημένους σε απόσταση 50 km περίπου μπορεί να είναι φθηνότερη λύση από την εγκατάσταση οπτικής ίνας, ιδιαίτερα όταν η εγκατάσταση αφορά πυκνοκατοικημένη ή δύσβατη περιοχή.

Από τη Φυσική είναι γνωστό ότι πάνω από την περιοχή των 100 MHz τα κύματα οδεύουν σε ευθεία γραμμή, με αποτέλεσμα να μην μπορούν εύκολα να συγκεντρωθούν σε δέσμη. Επίσης είναι γνωστό ότι τα μικροκύματα στις χαμηλές συχνότητες δε διαπερνούν τους τοίχους ή άλλα αδιαφανή εμπόδια τόσο καλά όσο τα ραδιοκύματα. Επομένως οι κεραιές τους πρέπει να βλέπει η μία την άλλη με μεγάλη ακρίβεια. Τέλος, σημειώνεται το γεγονός ότι με τη δυνατότητα των παραβολικών κεραιών να συγκεντρώνουν την ενέργεια σε μια μικρή δέσμη, όπως είναι για παράδειγμα τα γνωστά «πιάτα» της τηλεόρασης, το σήμα έχει μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR).



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Αρχιτεκτονική τοπικών δικτύων, φυσικά μέσα μετάδοσης τοπικών δικτύων, δομημένη καλωδίωση, ασύρματα μέσα μετάδοσης τοπικών δικτύων.



## Μάθημα 7.3: Τοπολογίες

### 7.3.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, η τοπολογία ενός δικτύου επικοινωνιών καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η φυσική σύνδεση των κόμβων του. Επομένως η τοπολογία προσδιορίζει τους αγωγούς διέλευσης των πληροφοριών και κατά συνέπεια τους δυνατούς τρόπους διασύνδεσης δύο οποιωνδήποτε κόμβων του δικτύου. Ασφαλώς ο τρόπος σύνδεσης των κόμβων (ένας προς έναν ή ένας προς πολλούς), καθώς και η κατηγορία του μέσου (ενσύρματο ή ασύρματο) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την ταξινόμηση των τοπολογιών ενός τοπικού δικτύου.

### 7.3.2 Τοπολογίες ενσύρματων τοπικών δικτύων

Οι βασικές τοπολογίες των ενσύρματων τοπικών δικτύων είναι ο δίαυλος, ο δακτύλιος και το άστρο. Υπάρχουν όμως και τοπολογίες που προκύπτουν από τροποποίηση, επέκταση ή συνδυασμό των βασικών τοπολογιών, όπως είναι για παράδειγμα η τοπολογία του διπλού δακτυλίου (επέκταση του δακτυλίου), του δέντρου (τροποποίηση του διαύλου), του άστρου - δακτυλίου (συνδυασμός των δύο βασικών τοπολογιών), καθώς και πιο πολύπλοκες τοπολογίες (δικτυωτά), οι οποίες δεν εντάσσονται σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες και αφορούν κυρίως περιπτώσεις δικτύων ευρείας περιοχής.

Στη συνέχεια θα εξεταστούν αναλυτικότερα οι κυριότερες τοπολογίες που αφορούν τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, καταγράφοντας τα κύρια πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματά τους.

#### 7.3.2.1 Τοπολογία διαύλου

Με την τοπολογία αυτή όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται άμεσα –χωρίς τη μεσολάβηση άλλων διατάξεων– διαμέσου του κατάλληλου προσαρμοστικού υλικού (συνδετήρες, βύσματα, τερματισμοί κτλ.) σε μια κοινή γραμμή επικοινωνίας που λέγεται **δίαυλος**<sup>2</sup>. Τα πακέτα μεταδίδονται σε όλο το μήκος του φυσικού μέσου και μπορεί να παραληφθούν από όλους τους άλλους κόμβους (σχήμα 7.6). Κάθε κόμβος βλέπει το μήνυμα, ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και, αν τον αφορά, το αντιγράφει. Επειδή οι κόμβοι που βρίσκονται κοντά σ' αυτόν που εκπέμπει λαμβάνουν



Η εύρεση του συντομότερου δρόμου διασύνδεσης δύο οποιωνδήποτε κόμβων του δικτύου συνιστά το πρόβλημα της δρομολόγησης, που είναι ένα από τα σπουδαιότερα ανοικτά προβλήματα των δικτύων.

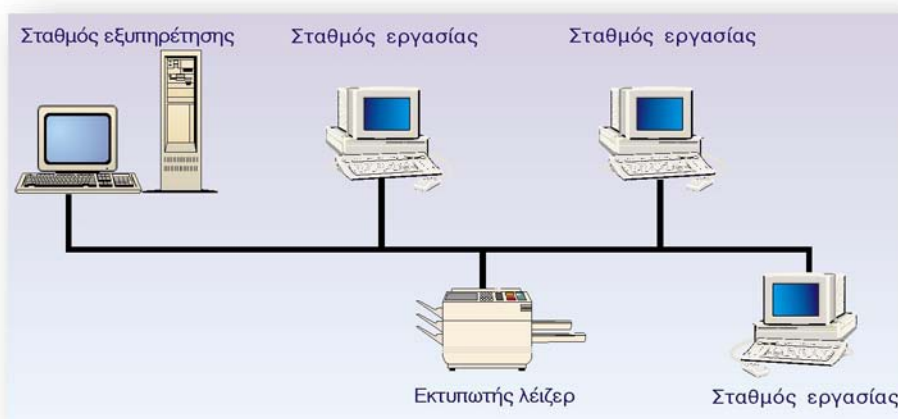


Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της τοπολογίας είναι το είδος των εφαρμογών, η πολυπλοκότητα που προκύπτει από τις τυχόν πρόσθετες διαδικασίες ελέγχου και η επίδρασή της στην απόδοση του δικτύου, καθώς και η ευκολία επέκτασης του δικτύου.

<sup>2</sup> **Δίαυλος (bus):** Ο όρος *bus* στην ελληνική μετάφρασή του έχει πολλές παραλλαγές, όπως αρτηρία, κανάλι, λεωφόρος κτλ., αφού στις περισσότερες περιπτώσεις συνδέεται με τη γραμμή επικοινωνίας.



ισχυρότερο σήμα από αυτούς που βρίσκονται μακρύτερα, τίθενται περιορισμοί που αφορούν το υλικό του καλωδιακού μέσου, το μήκος του, τον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων και τα προσαρμοστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις, ώστε να μην αποδυναμώνεται η ισχύς των σημάτων. Τα δίκτυα διαύλου δεν παρουσιάζουν κατασκευαστική πολυπλοκότητα και μπορούν εύκολα να αναδιαταχθούν ή να επεκταθούν προσθέτοντας ή αφαιρώντας διατάξεις. Επίσης βλάβη σε κάποιον κόμβο δεν επηρεάζει το δίκτυο, αφού αυτός μπορεί εύκολα να απομονωθεί.



Σχήμα 7.6: Τοπολογία διαύλου

Τα δίκτυα διαύλου αποτελούν καλή επιλογή, όταν:

- ✓ Ο αριθμός των κόμβων που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο είναι μικρός.
- ✓ Η κυκλοφορία είναι μικρή.

Τέλος, τα δίκτυα διαύλου παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση σε κάθε ενέργεια που προκαλεί αύξηση της κυκλοφορίας.

### 7.3.2.2 Τοπολογία δέντρου

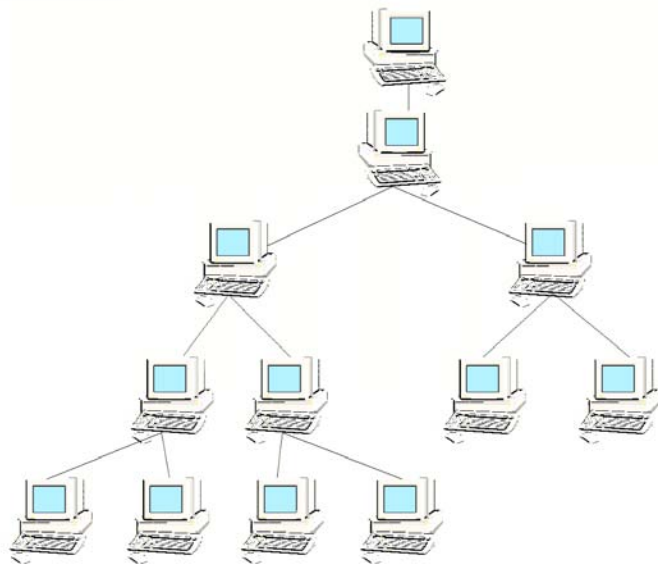
Η τοπολογία δέντρου αποτελεί τροποποίηση της τοπολογίας διαύλου. Το διάγραμμα της μοιάζει μ' αυτό του ανεστραμμένου δέντρου, στο οποίο τόσο ο κορμός όσο και τα κλαδιά αποτελούνται από δίκτυα διαύλου (σχήμα 7.7). Στην τοπολογία δέντρου το μέσο μετάδοσης είναι ένα διακλαδιζόμενο καλώδιο χωρίς κλειστούς βρόχους, το οποίο ξεκινά από έναν κόμβο που λέγεται **κεφαλή** ή **ρίζα**. Η ρίζα μεταδίδει σε όλο το δίκτυο το σήμα το οποίο λαμβάνει από κάθε κόμβο που εκπέμπει, με αποτέλεσμα ο δίαυλος που περνά από τη ρίζα να έχει συνήθως και μεγάλο φόρτο κίνησης. Κάθε δίαυλος που περνά από τη ρίζα μπορεί να έχει διακλαδώσεις, οι οποίες μπορούν με τη





σειρά τους να έχουν άλλες διακλαδώσεις, δημιουργώντας μ' αυτό τον τρόπο πολύπλοκα σχεδιαγράμματα.

Η τοπολογία δέντρου παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα με την τοπολογία διαύλου, αφού ουσιαστικά αποτελεί παράγωγό της. Πρόσθετο όμως μειονέκτημα αποτελεί ο καθοριστικός ρόλος της ρίζας στη μετάδοση, αφού σε περίπτωση βλάβης της προκαλείται κατάρρευση ολόκληρου του τμήματος του δικτύου που ελέγχει.



Σχήμα 7.7: Τοπολογία δέντρου

### 7.3.2.3 Τοπολογία δακτυλίου

Στην τοπολογία δακτυλίου το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο διαδοχικών κόμβων με συνδέσεις σημείου προς σημείο, ώστε να σχηματίζεται ένας κλειστός βρόχος (σχήμα 7.8α). Κάθε κόμβος συνδέεται στο δίκτυο διαμέσου μιας διάταξης που λέγεται **αναμεταδότης**. Η διάταξη αυτή έχει στόχο την ενίσχυση του σήματος και την αποστολή του στον κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένη.

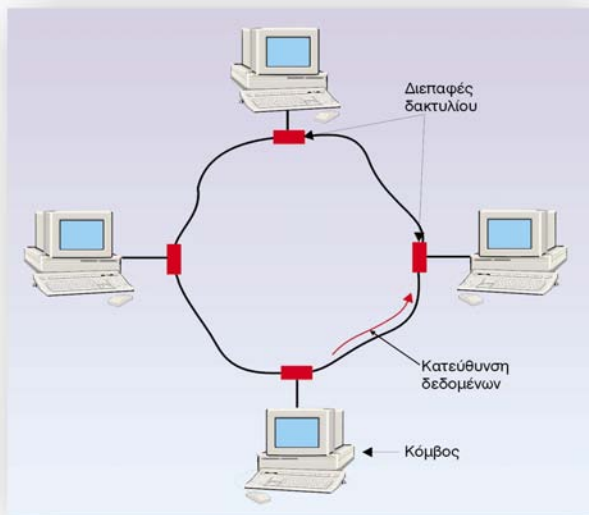
Οι συνδέσεις είναι μιας κατεύθυνσης, δηλαδή η ροή των πληροφοριών έχει την ίδια πάντα φορά επάνω στο δακτύλιο (είτε αυτήν των δεικτών του ρολογιού είτε την αντίστροφη). Τα πακέτα μεταδίδονται από κόμβο σε κόμβο χωρίς ιδιαίτερη καθυστέρηση και χωρίς επιβάρυνση του δικτύου με πληροφορίες δρομολόγησης (όπως η διεύθυνση του παραλήπτη). Κάθε κόμβος που βλέπει το μήνυμα ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και, αν τον αφορά, το αντιγράφει. Από τη στιγμή που πολλοί κόμβοι μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, απαιτείται έλεγχος προκειμένου να καθοριστεί πότε κάθε σταθμός μπορεί να μεταδώσει πακέτα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να είναι κεντρικός ή κατανεμημένος. Καταστροφή ενός κόμβου δε σημαίνει απαραίτητα και διακοπή της κυκλοφορίας, αφού υπάρχουν μέθοδοι απομόνωσής του.

Η τοπολογία δακτυλίου αποτελεί καλή επιλογή, όταν:

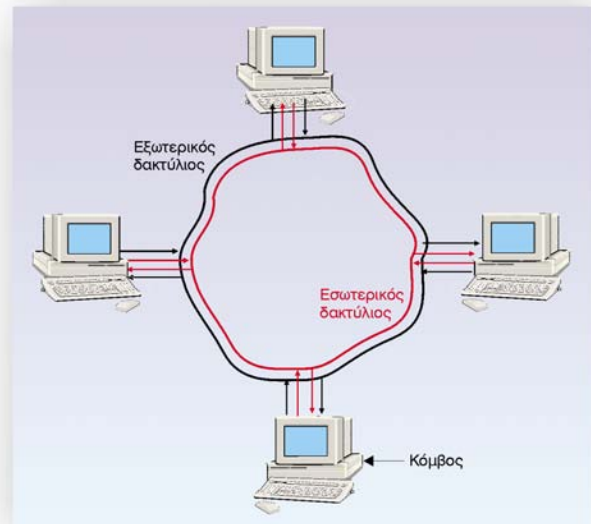
- ✓ Απαιτείται ισοκατανομή της χωρητικότητας στους κόμβους του δικτύου.
- ✓ Υπάρχει σε μικρές αποστάσεις μικρός αριθμός κόμβων οι οποίοι απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.



Οι **αναμεταδότες** είναι μονάδες που ενισχύουν το σήμα προκειμένου να μην υποστεί εξασθένηση κατά τη μετάδοσή του. Πρόκειται για μια απλή συσκευή με δύο συνδέσεις, ικανή να λαμβάνει και να αποστέλλει δυαδικά ψηφία με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης και χωρίς να απαιτείται προσωρινή αποθήκευση.



(α)



(β)

Σχήμα 7.8: Τοπολογία απλού (α) και διπλού (β) δακτυλίου

- ✓ Κάθε κόμβος πρέπει να μεταδώσει οπωσδήποτε πριν από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Τα δίκτυα δακτυλίου παρουσιάζουν:

- ✓ Σημαντική μέση καθυστέρηση μετάδοσης, ακόμη και στην περίπτωση μικρών φορτίων κίνησης.
- ✓ Μη αναλογική με το φορτίο αύξηση της μέσης καθυστέρησης μετάδοσης.
- ✓ Σταθερή χρησιμοποίηση του καναλιού κάτω από μεγάλα φορτία κίνησης.

Επέκταση της τοπολογίας του δακτυλίου αποτελεί ο **διπλός δακτύλιος** (σχήμα 7.8 β), με αντίθετες κατευθύνσεις μετάδοσης σε κάθε δακτύλιο που χρησιμοποιείται στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων, όπως είναι αυτά που θα εξεταστούν λεπτομερέστερα στο Μάθημα 12.4.

### 7.3.2.4 Τοπολογία άστρου

Στην τοπολογία άστρου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με έναν κεντρικό σταθμό εξυπηρέτησης διαμέσου δύο συνδέσεων σημείου προς σημείο, μίας ανά κατεύθυνση μετάδοσης (σχήμα 7.9). Η τοπολογία αυτή έχει όλα τα χαρακτηριστικά της τοπολογίας διαύλου, επειδή η μετάδοση κάποιου κόμβου γνωστοποιείται σε όλους τους άλλους κόμβους και επειδή μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει επιτυχημένα κάθε χρονική στιγμή. Τα μηνύματα των κόμβων μεταδίδονται στον κεντρικό κόμβο, ο οποίος ενεργεί ανάλογα με τη μορφή ελέγχου που ασκείται.

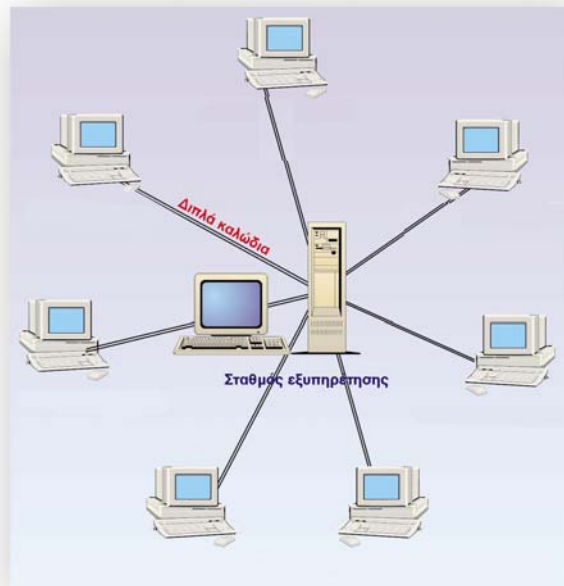


Υπάρχουν τρεις μορφές ελέγχου που μπορούν να υλοποιηθούν σε μια τοπολογία άστρου. Στην πρώτη μορφή ο κεντρικός κόμβος είναι υπεύθυνος για όλες τις διαδικασίες δρομολόγησης των μηνυμάτων. Τα μηνύματα που φθάνουν στον κεντρικό κόμβο υφίστανται επεξεργασία και αποστέλλονται σε κάποιον από τους κόμβους προκειμένου να σταλούν στον παραλήπτη. Στη δεύτερη περίπτωση ο έλεγχος ασκείται από κάποιον περιφερειακό κόμβο, ενώ ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί σαν διακόπτης μεταγωγής (επαναλήπτης), που εγκαθιστά συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, αποστέλλοντας τα μηνύματα σε όλους τους κόμβους. Στην τρίτη περίπτωση ο έλεγχος είναι ισοκαταναμημένος στους κόμβους, ενώ ο κεντρικός κόμβος είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση και την αποφυγή των συγκρούσεων.

Η τοπολογία άστρου αποτελεί καλή επιλογή, όταν:

- ✓ Απαιτούνται ολοκληρωμένες υπηρεσίες φωνής - δεδομένων.
- ✓ Απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.

Η υλοποίηση των δικτύων άστρου είναι πολύπλοκη, αφού ορισμένοι κόμβοι μπορεί να είναι απλές περιφερειακές μονάδες και άλλοι να ασκούν έλεγχο. Σε περίπτωση κεντρικού ελέγχου ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί παρόμοια με ένα ιδιωτικό κέντρο μεταγωγής, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία. Πολλά χαρακτηριστικά του δικτύου εξαρτώνται από τις δυνατότητες του κεντρικού κόμβου. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η χωρητικότητα του δικτύου, η δυνατότητα επέκτασής του όσον αφορά τον αριθμό των κόμβων που μπορεί να υποστηρίξει, ο ρυθμός μεταφοράς των γραμμών επικοινωνίας, η αξιοπιστία του κτλ.




Σχήμα 7.9: Τοπολογία άστρου

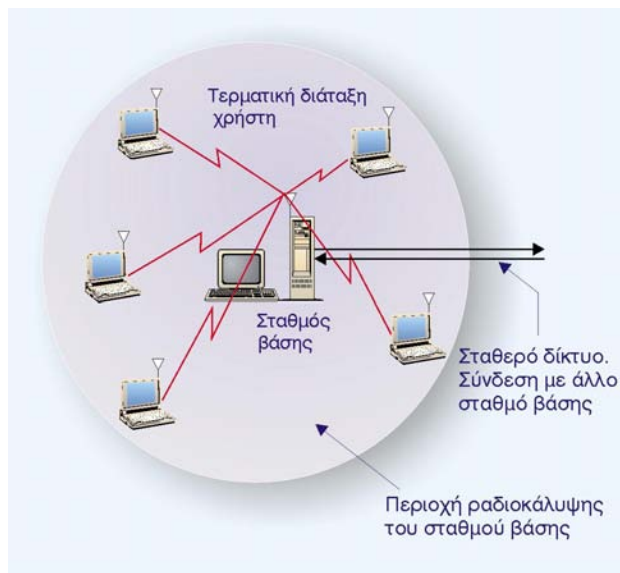
### 7.3.3 Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων

Οι τοπολογίες των ασύρματων τοπικών δικτύων διακρίνονται ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν συνδέσεις εκπομπής ή συνδέσεις σημείου προς σημείο. Στην περίπτωση των συνδέσεων εκπομπής τρία είναι τα βασικά σχήματα τοπολογιών. Το πρώτο, που είναι και το παλαιότερο, χρησιμοποιεί χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα — στη θέση των σταθερών και ενσύρματων γραμμών επικοινωνίας— προκειμένου να συνδέσει έναν κόμβο επικοινωνίας, ο οποίος είναι γνωστός και ως **σταθμός βάσης**, με ένα μεγάλο αριθμό από τερματικούς σταθμούς καταναμημένους συνήθως σε μια μικρή περιοχή γύρω από τη βάση (σχήμα 7.10). Επικοινωνία αυτής της μορφής είναι η κινητή ραδιοτηλεφωνία, της οποίας οι εφαρμογές ανάγονται αρκετά χρόνια πριν (ραδιοταξί, υπηρεσίες πρώτων βοηθειών, παράκτια επικοινωνία κτλ.), ενώ επέκτασή της αποτελεί η ψηφιακή κινητή τηλεφωνία.

Προκειμένου οι χρήστες να μοιραστούν τη διαθέσιμη χωρητικότητα ομαδοποιού-



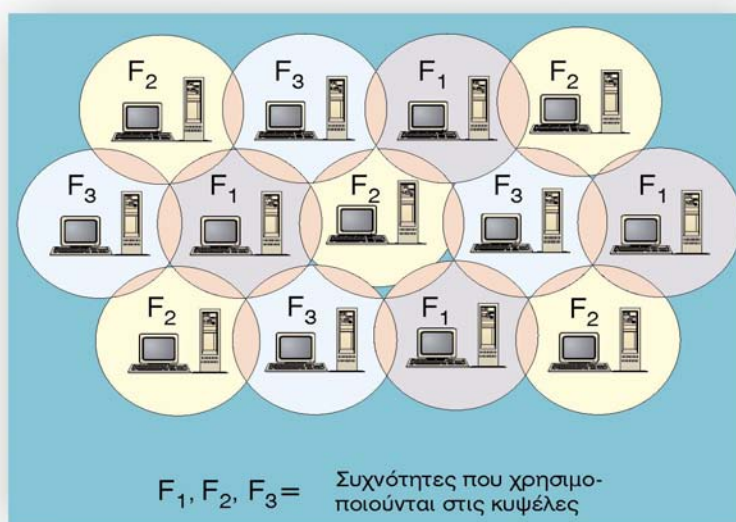
Στον παθητικό κεντρικό κόμβο το εισερχόμενο σήμα διαπερνά όλες τις συνδέσεις εξόδου. Στα κοινά καλωδιακά μέσα η σύνδεση στον κόμβο επιτυγχάνεται με ηλεκτρομαγνητική σύζευξη, ενώ στην καλωδίωση με οπτικές ίνες η σύζευξη επιτυγχάνεται με συνένωση των ινών. Στην περίπτωση ενεργού κεντρικού κόμβου το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα επαναμεταδίδεται σε όλες τις γραμμές εξόδου του κόμβου, ο οποίος δρα σαν επαναλήπτης. Αν φτάσουν ταυτόχρονα πολλά σήματα εισόδου, μεταδίδεται ένα σήμα σύγκρουσης σε όλες τις γραμμές εξόδου.



Σχήμα 7.10: Επίγεια ραδιοεπικοινωνία - Δομή κυψέλης

νται σε μικρές **κυψέλες**. Οι χρήστες κάθε κυψέλης επικοινωνούν με το μοναδικό κεντρικό κόμβο της κυψέλης, που λέγεται **βάση**. Η βάση κάθε κυψέλης συντονίζει τις μεταδόσεις των χρηστών της διαμέσου ενός σταθερού, ενσύρματου δικτύου που συνδέει όλες τις βάσεις. Οι μεταδόσεις κρατιούνται σε χαμηλά επίπεδα ισχύος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η διακίνηση σε γειτονικές κυψέλες και να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση της ίδιας ζώνης συχνοτήτων σε διαφορετικές αλλά μη γειτονικές κυψέλες (σχήμα 7.11). Σε φυσιολογικές συνθήκες ο ρυθμός μετάδοσης κάθε τερματικής διάταξης μέσα στην κυψέλη είναι της τάξης λίγων δεκάδων Kbps. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να επεκταθεί η γεωγραφική κάλυψη του δικτύου σε μεγαλύτερες περιοχές.

Το σχήμα 7.12 αφορά την περίπτωση επίγειας μικροκυματικής ή υπέρυθρης επικοινωνίας, κατά την οποία μια μονάδα πρόσβασης φορητών ή σταθερών τερματικών διατάξεων (λέγεται και *PAU: Portable Access Unit*) συνδέεται ασύρματα με έναν αριθμό κατανεμημένων τερματικών διατάξεων (λέγονται και *PD: Portable Devices*), ενώ το σύνολο συνδέεται μέσω της βάσης και με ενσύρματη γραμμή σε ένα τοπικό δίκτυο 3. Οι αποστάσεις των διατάξεων από το



Σχήμα 7.11: Επίγεια ραδιοεπικοινωνία - Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

<sup>3</sup> Ο σταθερός σταθμός βάσης ονομάζεται *PAU* επειδή εξυπηρετεί με ασύρματη ζεύξη φορητούς ή σταθερούς σταθμούς εργασίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.12.

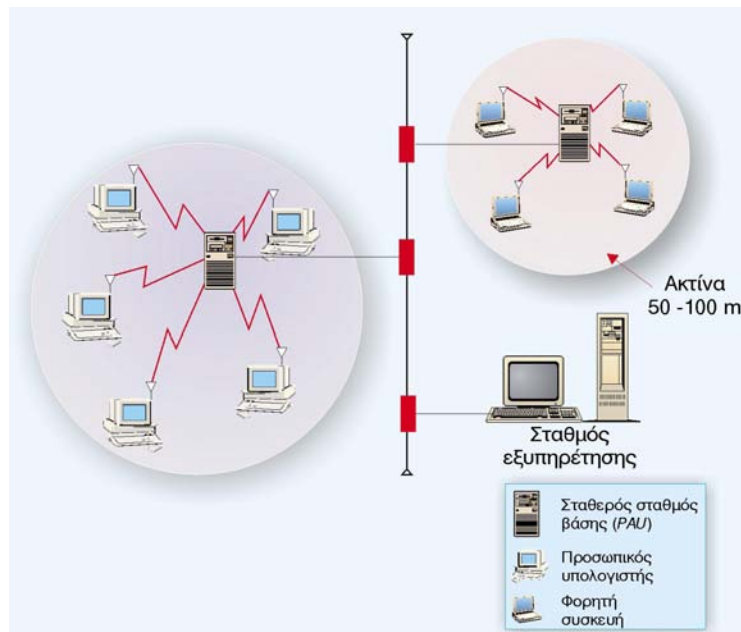




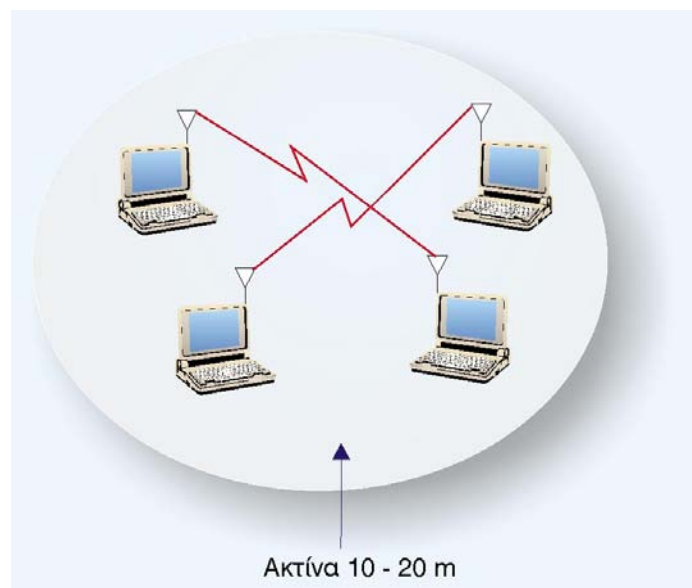
σταθμό βάσης εξαρτώνται από την ισχύ του σταθμού, το τυπικό εύρος του οποίου κυμαίνεται από 50 έως 100 μέτρα. Μεγάλες εγκαταστάσεις καλύπτονται από πολλές τέτοιες μονάδες, που συνδέονται σε σταθερά τοπικά δίκτυα.

Τέλος, η τρίτη περίπτωση αφορά την άμεση σύνδεση κάποιων τερματικών διατάξεων που βρίσκονται εγκατεστημένες σε ένα μικρό χώρο, όπως είναι ένας χώρος συνεδρίων και συσκέψεων, ένα αεροδρόμιο κτλ. (σχήμα 7.13). Υπενθυμίζουμε ότι όλες οι παραπάνω τοπολογίες αφορούν συνδέσεις εκπομπής.

Αν οι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται στο τοπικό δίκτυο είναι σημείου προς σημείο, τότε η ασύρματη επικοινωνία πραγματοποιείται είτε μεταξύ δύο σταθερών σημείων είτε μεταξύ δύο σημείων από τα οποία το ένα ή και τα δύο βρίσκο-



Σχήμα 7.12: Ασύρματα τοπικά δίκτυα συνδεδεμένα σε σταθερό δίκτυο



Σχήμα 7.13: Ασύρματα τοπικά δίκτυα άμεσης σύνδεσης

νται σε κίνηση. Επικοινωνίες αυτής της μορφής αφορούν κυρίως τα ραδιοκύματα ή τα μικροκύματα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων (ποντοπόρα επικοινωνία κτλ.). Νεότερες εφαρμογές στηρίζονται τόσο στα επίγεια συστήματα οπτικών κυμάτων (*laser*) με οπτική επαφή (σχήμα 7.14) όσο και στα επίγεια συστήματα μικροκυμάτων.

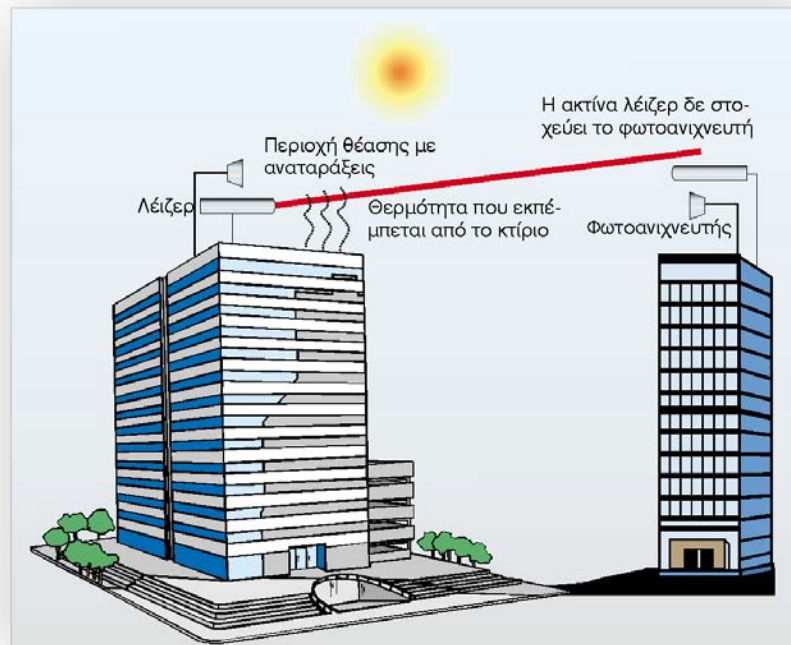
Μικροκύματα χρησιμοποιούνται και σε ορισμένες εφαρμογές της ασύρματης

δικτύωσης μικρής εμβέλειας, όπως είναι το άνοιγμα θυρίδων ή θυρών ασφαλείας, τα συστήματα ασφαλείας, τα συστήματα ενεργοποίησης ηλεκτρονικών συσκευών, οι βομβητές κτλ.





Η απεριόριστη χρησιμοποίηση των μικροκυματικών ζωνών για εφαρμογές δικτύωσης μικρής εμβέλειας αφορά τις λεγόμενες βιομηχανικές - επικοινωνιακές - ιατρικές ζώνες (ISM: Industrial - Scientific - Medical bands). Η ζώνη 2,4 - 2,484 GHz είναι δεσμευμένη διεθνώς, ενώ η Αμερική και ο Καναδάς έχουν ορίσει πρόσθετες δεσμευμένες ζώνες στις συχνότητες των 902 - 928 MHz και 5,725 - 5,850 GHz αντίστοιχα.



Σχήμα 7.14: Ασύρματα τοπικά δίκτυα οπτικής επαφής



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Αρχιτεκτονική τοπικών δικτύων, τοπολογίες τοπικών δικτύων, τοπολογία διαύλου, τοπολογία δέντρου, τοπολογία δακτυλίου, τοπολογία άστρου, τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων, σταθμός βάσης, βάση κυψέλης, μονάδα πρόσβασης φορητών ή σταθερών διατάξεων (PAUs).



## Μάθημα 7.4: Μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης στο μέσο

### 7.4.1 Εισαγωγή

Ένα από τα κυριότερα ζητήματα που αφορούν τα τοπικά δίκτυα υπολογιστών είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνονται οι συνδέσεις. Όπως είναι γνωστό, σε ένα τοπικό δίκτυο είναι δυνατόν το φυσικό μέσο επικοινωνίας να διατίθεται σε ένα μόνο κόμβο (σύνδεση σημείου προς σημείο) ή σε όλους τους κόμβους του δικτύου (σύνδεση εκπομπής). Οι συνδέσεις καθορίζονται από κοινά αποδεκτούς κανόνες επικοινωνίας, οι οποίοι αναφέρονται είτε στις διάφορες τερματικές διατάξεις ενός τοπικού δικτύου είτε στα ίδια τα τοπικά δίκτυα, όταν αυτά διασυνδέονται με άλλα δίκτυα των ίδιων ή διαφορετικών προδιαγραφών. Κάθε **πρωτόκολλο επικοινωνίας** συνίσταται από ένα σύνολο κανόνων οι οποίοι καθορίζουν τον τρόπο διασύνδεσης των συστημάτων που επικοινωνούν, καθώς και τον τρόπο πρόσβασης στο μέσο. Ίδια ή διαφορετικά συστήματα μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο όταν συμφωνούν με τους κανόνες υλοποίησης ενός πρωτοκόλλου. Στην πορεία του χρόνου τόσο ο σχεδιασμός όσο και η υλοποίηση των πρωτοκόλλων των τοπικών δικτύων υπολογιστών επηρεάστηκαν από τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογικών μεθόδων.

Όπως αναλύθηκε εκτενώς στο Μάθημα 5.4, οι διεθνείς οργανισμοί και ενώσεις που ανέπτυξαν τις κατευθυντήριες γραμμές για τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τα επίπεδα διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (*OSI*) ήταν η *ITU-T (International Telecommunications Union)* και ο *ISO (International Standards Organization)*. Το 1980 το *IEEE (Institute of Electronic and Electrical Engineers)* όρισε το πρότυπο 802, του οποίου το φυσικό επίπεδο συμπίπτει με αυτό του *OSI*, και στη συνέχεια διαίρεσε και το επίπεδο γραμμής δεδομένων σε δύο ξεχωριστά υποεπίπεδα, το υποεπίπεδο ελέγχου λογικής γραμμής (*LLC: Logical Link Control*) και το υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (*MAC: Media Access Control*). Το υποεπίπεδο *LLC* είναι υπεύθυνο για την αξιόπιστη μετάδοση των πακέτων δεδομένων επάνω από το φυσικό επίπεδο, καθώς και για την εγκατάσταση, τη διατήρηση και τον τερματισμό της λογικής (νοητής) σύνδεσης μεταξύ δύο διατάξεων στο δίκτυο. Το υποεπίπεδο *MAC* καθορίζει τη διαδικασία πρόσβασης στο κοινό μέσο επικοινωνίας, διαχειρίζεται τη διευθυνσιοδότηση των πακέτων δεδομένων που πρόκειται να σταλούν διαμέσου του φυσικού επιπέδου και παρέχει τη διεύθυνση αποστολέα και παραλήπτη του πακέτου.

Σε οποιοδήποτε σχήμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο το βασικό ερώτημα είναι αν ο έλεγχος ασκείται κεντρικά ή κατανεμημένα. Στον **κεντρικό έλεγχο** ο ελεγκτής είναι ο βασικός κόμβος που επιτρέπει ή όχι τη μετάδοση κάποιου πακέτου. Επομένως κάθε κόμβος που έχει να μεταδώσει ένα πακέτο πρέπει να περιμένει την έγκριση του ελεγκτή. Αντίθετα, στον **κατανεμημένο έλεγχο** δεν υπάρχει ελεγκτής. Όλοι οι σταθμοί εκτελούν επιλεκτικά τις λειτουργίες του πρωτοκόλλου ελέγχου πρόσβασης στο μέσο,



Όπως είναι γνωστό, σκοπός του μοντέλου *OSI* είναι να δώσει έναν τυποποιημένο σχεδιασμό, καθώς και ορισμένες μεθόδους σύνδεσης των συστημάτων που επικοινωνούν.



προκειμένου να καθορίσουν δυναμικά τη σειρά με την οποία οι κόμβοι θα μεταδώσουν το πακέτο τους. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μετάδοση περιορίζεται τόσο από την τοπολογία του δικτύου (Μάθημα 7.3) όσο και από άλλους παράγοντες, όπως είναι το κόστος, η συμπεριφορά, καθώς και η πολυπλοκότητα του δικτύου.

Γενικά, οι τεχνικές ελέγχου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης διακρίνονται σε **συγχρονισμένες** και **ασυγχρόνιστες**. Με τις συγχρονισμένες τεχνικές μέρος της χωρητικότητας της κοινής γραμμής επικοινωνίας διατίθεται αποκλειστικά σε μία σύνδεση. Στο περιβάλλον των τοπικών δικτύων μια τέτοια τακτική είναι συνήθως αναποτελεσματική, αφού οι απαιτήσεις των κόμβων σε χωρητικότητα είναι απροσδιόριστες και ως εκ τούτου δεν είναι δυνατόν να προδιαγραφούν. Αντίθετα, με τις ασυγχρόνιστες τεχνικές υπάρχει δυναμική εκχώρηση της χωρητικότητας, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των κόμβων, και συνεπώς μπορεί να προδιαγραφεί μια πιο ευέλικτη τακτική όσον αφορά την ποσοτική και τη χρονική κατανομή της. Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα που ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία και αφορούν τα **κανάλια ανοικτής ακρόασης**, δηλαδή τα δίκτυα των οποίων όλοι οι χρήστες λαμβάνουν το μήνυμα και ανάλογα, αν τους αφορά, το αποδέχονται, διαφορετικά το απορρίπτουν. Στη διεθνή βιβλιογραφία τα κανάλια ανοικτής ακρόασης ονομάζονται και **κανάλια πολλαπλής πρόσβασης** ή **κανάλια τυχαίας προσπέλασης**. Σημειώνεται ότι οι λειτουργίες οι οποίες επιτελούνται από το υποεπίπεδο *MAC* καθορίζουν ποιος σταθμός μεταδίδει κάθε φορά στο κανάλι πολλαπλής πρόσβασης. Επομένως το υποεπίπεδο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα τοπικά δίκτυα, αφού σχεδόν όλα χρησιμοποιούν κάποιο κανάλι πολλαπλής πρόσβασης ως βάση επικοινωνίας. Σε αντίθεση, τα δίκτυα ευρείας περιοχής, με εξαίρεση τα δορυφορικά δίκτυα, χρησιμοποιούν κανάλια σημείου προς σημείο.

### 7.4.2 Δέσμευση χωρητικότητας στα τοπικά δίκτυα

Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές δέσμευσης της χωρητικότητας ενός καναλιού μεταξύ πολλών ανταγωνιζόμενων χρηστών είναι οι τεχνικές επιμερισμού συχνότητας και χρόνου (*FDM* και *TDM*), που αναπτύχθηκαν εκτενώς στο Μάθημα 3.1. Όμως οι τεχνικές αυτές δεν καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις. Για παράδειγμα, η *FDM* είναι αποτελεσματική, μόνο όταν ο αριθμός των χρηστών είναι μικρός και σταθερός, ενώ ο φόρτος κυκλοφορίας μεγάλος. Όταν ο αριθμός των χρηστών είναι μεγάλος και συνεχώς μεταβαλλόμενος ή η κυκλοφορία έχει τη μορφή καταιγισμού, η *FDM* παρουσιάζει προβλήματα. Ανάλογα προβλήματα παρουσιάζονται και στην τεχνική *TDM*. Γι' αυτό το λόγο εφευρέθηκαν νέες τεχνικές, που βασίζονται περισσότερο στη **δυναμική δέσμευση της χωρητικότητας** του καναλιού, δίνοντας νέα ώθηση στους τρόπους μετάδοσης των δεδομένων.

Οι παραδοχές στις οποίες βασίστηκαν οι νέες τεχνικές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Το σύστημα αποτελείται από  $n$  ανεξάρτητους κόμβους επικοινωνίας, καθένας από τους οποίους δημιουργεί πακέτα για μετάδοση. Οι κόμβοι επικοινωνώ-



νίας μπορεί να είναι οποιοσδήποτε ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως σταθμοί εργασίας, προσωπικοί υπολογιστές, τηλέφωνα κτλ. Κάθε κόμβος που δημιουργεί ένα πακέτο θεωρείται δεσμευμένος, με την έννοια ότι δεν μπορεί να δημιουργήσει άλλο, αν δεν αποδεσμευτεί από αυτό που έχει. Η αποδέσμευση αυτή γίνεται μόνο μετά από επιτυχημένη μετάδοση του υπάρχοντος πακέτου.

- ✓ Κάθε κόμβος δημιουργεί πακέτα με σταθερό ρυθμό  $\lambda$  σε χρόνο  $t$ . Για παράδειγμα, ο ρυθμός με τον οποίο μπορούν να δημιουργούνται πακέτα σε κάποιον κόμβο του δικτύου είναι 10 ανά λεπτό. Πακέτα που δημιουργούνται από δεσμευμένους χρήστες, δηλαδή από χρήστες οι οποίοι έχουν ήδη στον αποταμιευτή τους ένα πακέτο και δεν το έχουν μεταδώσει ακόμη, απορρίπτονται και δεν επιστρέφουν στο σύστημα με οποιονδήποτε τρόπο.
- ✓ Ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας είναι διαθέσιμο σε όλους τους κόμβους για τη μεταξύ τους επικοινωνία. Δεν υπάρχουν άλλοι τρόποι επικοινωνίας των κόμβων παρά μόνο το κοινό κανάλι. Όλοι οι κόμβοι θεωρούνται ισότιμοι όσον αφορά το δικαίωμα πρόσβασής τους στο κοινό κανάλι επικοινωνίας.
- ✓ Αν δύο ή περισσότερα πακέτα μεταδοθούν ταυτόχρονα, επικαλύπτονται, με αποτέλεσμα την καταστροφή όλων των εμπλεκόμενων στη μετάδοση σημάτων. Το γεγονός αυτό λέγεται **σύγκρουση**. Τα συγκρουόμενα πακέτα μπορούν να επαναμεταδοθούν κάποια άλλη χρονική στιγμή. Όλοι οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν συγκρούσεις, οι οποίες συνιστούν και τα μόνα σφάλματα στη μετάδοση.

Είναι αξιοσημείωτο ότι στην ψηφιακή ραδιοεπικοινωνία η σύγκρουση δύο ή περισσότερων πακέτων ενδέχεται να μην καταλήγει σε καταστροφή όλων των εμπλεκόμενων στη σύγκρουση πακέτων αλλά στην υπερίσχυση του πακέτου που φέρει το ισχυρότερο σήμα. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **σύλληψη** (*capture*) και οδηγεί κατά κανόνα στη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος μετάδοσης. Βελτίωση της απόδοσης του συστήματος μπορεί επίσης να επιτευχθεί σε ορισμένα τοπικά δίκτυα –όπως για παράδειγμα στο δακτύλιο με κουπόνι– με τη χρήση μηχανισμών μείωσης του ανταγωνισμού και κατά συνέπεια των συγκρούσεων.

- ✓ Όσον αφορά το χρόνο έναρξης της μετάδοσης ενός πακέτου υπάρχουν οι παρακάτω δύο περιπτώσεις:
  - Ο άξονας του χρόνου χωρίζεται σε καθορισμένα διαστήματα που λέγονται **χρονοθυρίδες** (*slots*). Η έναρξη της μετάδοσης ενός πακέτου συμβαίνει μόνο στην αρχή κάθε χρονοθυρίδας. Κάθε χρονοθυρίδα διαρκεί όσο διάστημα απαιτείται για να μεταδοθεί ένα πακέτο. Ανάλογα με τον αριθμό των πακέτων που περιλαμβάνει μια χρονοθυρίδα, το κανάλι θεωρείται ότι βρίσκεται σε αργία (κανένα πακέτο), ότι έχει επιτυχημένη μετάδοση (ένα πακέτο) ή ότι έχει σύγκρουση (περισσότερα του ενός πακέτα).
  - Τα πακέτα μπορούν να μεταδίδονται οποιαδήποτε χρονική στιγμή, οπότε δεν υπάρχει ρολόι που να χωρίζει το χρόνο σε καθορισμένα διαστήματα (χρονοθυρίδες).



- ✓ Τέλος, όσον αφορά την ανίχνευση του φέροντος σήματος υπάρχουν οι παρακάτω δύο περιπτώσεις:
  - Οι κόμβοι είναι σε θέση να αναγνωρίσουν αν το κανάλι είναι απασχολημένο με κάποια μετάδοση ή σύγκρουση, με αποτέλεσμα να απέχουν από μια επιπλέον μετάδοση που θα κατέληγε σε βέβαιη σύγκρουση.
  - Οι κόμβοι δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσουν αν το κανάλι είναι απασχολημένο και ως εκ τούτου προχωρούν στη μετάδοση. Η επιτυχία ή η αποτυχία της μετάδοσης γίνεται αντιληπτή αργότερα. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα τοπικά δίκτυα έχουν αυτή τη δυνατότητα ανίχνευσης, ενώ τα δορυφορικά, λόγω της μεγάλης καθυστέρησης στη διάδοση του σήματος, δεν την έχουν. Επιπλέον στα τοπικά δίκτυα είναι δυνατόν να τερματιστεί μια μετάδοση πριν ολοκληρωθεί, αν διαπιστωθεί κάποια σύγκρουση με άλλο πακέτο.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης, κεντρικός έλεγχος, κατακεντρωμένος έλεγχος, συγχρονισμένες τεχνικές ελέγχου πρόσβασης, ασυγχρόνιστες τεχνικές ελέγχου πρόσβασης, κανάλια πολλαπλής πρόσβασης, δυναμική δέσμευση χωρητικότητας καναλιού, σύγκρουση πακέτων μετάδοσης, χρονοθυρίδα, σύλληψη.





## Μάθημα 7.5: Τυποποιήσεις IEEE 802.x

### 7.5.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 7.4, το υποεπίπεδο *MAC* καθορίζει τη μέθοδο πρόσβασης στο φυσικό μέσο μετάδοσης και αποτελείται από επιπλέον τυποποιήσεις, καθεμία από τις οποίες προσδιορίζει μια συγκεκριμένη μορφή προτύπου. Στο παρόν μάθημα θα δοθεί μια σύντομη περιγραφή των προτύπων αυτών. Λόγω του ιδιαίτερου ενδιαφέροντος που παρουσιάζουν, ορισμένα από τα πρότυπα αυτά σχολιάζονται λεπτομερέστερα στο Κεφάλαιο 8, ενώ άλλα απλώς αναφέρονται.

Τα πιο διαδεδομένα πρότυπα που αφορούν τα τοπικά δίκτυα ορίζονται από τις τυποποιήσεις του **IEEE 802.x** και έχουν ως ακολούθως:

- ✓ Πρότυπο **IEEE 802.3: Πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων** (*CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Το πρότυπο αυτό, που θα περιγράψει εκτενέστερα στο Μάθημα 8.4, σχολιάζεται στην επόμενη παράγραφο.
- ✓ Πρότυπο **IEEE 802.4: Δίαυλος με κουπόνι διέλευσης** (*Token Passing Bus*). Το πρότυπο αυτό υλοποιείται σε δίκτυα διαύλου που εφαρμόζουν τη μέθοδο του **κουπονιού διέλευσης** (βλ. Μάθημα 8.5).
- ✓ Πρότυπο **IEEE 802.5: Δακτύλιος με κουπόνι διέλευσης** (*Token Passing Ring*). Το πρότυπο αυτό υλοποιείται σε δίκτυα δακτυλίου που εφαρμόζουν τη μέθοδο του **κουπονιού διέλευσης** (βλ. Μάθημα 8.6).

Προκειμένου να χρησιμοποιείται ένα ενιαίο σχήμα γραφής, τα παραπάνω πρότυπα συμβολίζονται ως **xxBase-yy**, αν πρόκειται για μετάδοση βασικής ζώνης (*baseband*), ή ως **xxBroad-yy**, αν πρόκειται για μετάδοση ευρείας ζώνης (*broadband*). Ο πρώτος αριθμός μπροστά από το χαρακτηρισμό της ζώνης αναφέρεται στην ταχύτητα του προτύπου σε Mbps, ενώ ο τελευταίος αριθμός στο μέγιστο μήκος (σε μέτρα) της επιτρεπόμενης καλωδίωσης πολλαπλασιασμένο επί 100.

Υπενθυμίζεται ότι ένα δίκτυο βασικής ζώνης διαθέτει ένα μόνο φυσικό κανάλι επικοινωνίας, το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε καλωδίωση. Επομένως ένα μόνο σήμα ανά χρονική στιγμή μπορεί να διαπερνά το μέσο μετάδοσης, με αποτέλεσμα ένας μόνο σταθμός να μπορεί να μεταδίδει δεδομένα ανά χρονική στιγμή. Οι σταθμοί σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορούν να χρησιμοποιούν όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης για τη μετάδοση των δεδομένων. Αντίθετα, στην περίπτωση των δικτύων ευρείας ζώνης υποστηρίζεται η μετάδοση πολλών σημάτων ανά καλώδιο. Το φυσικό μέσο μετάδοσης διαχωρίζεται νοητά σε πολλά διαφορετικά κανάλια, καθένα από τα οποία έχει τη δική του (μοναδική) φέρουσα συχνότητα.



## 7.5.2 Πρότυπο IEEE 802.3

Το πρότυπο **IEEE 802.3** (ISO 8802-3) είναι ένα από τα πλέον διαδεδομένα πρωτόκολλα με την πιο μεγάλη εγκατεστημένη βάση. Αποτελεί βελτίωση του **πρωτοκόλλου πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων** (CSMA/CD: *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) και υλοποιήθηκε για πρώτη φορά από την εταιρεία XEROX μέσω του γνωστού πρωτοκόλλου *Ethernet*. Το πρότυπο *IEEE 802.3* λειτουργεί με διάφορα ενσύρματα μέσα. Η τυποποίηση ορίζει δικτύωση με ομοαξονικό καλώδιο, καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών, καθώς και καλώδιο οπτικής ίνας. Ο ρυθμός μετάδοσης προσδιορίστηκε αρχικά στα 10 Mbits/sec, νεότερες όμως υλοποιήσεις παρέχουν δυνατότητα μετάδοσης έως και 100 Mbits/sec με τη χρησιμοποίηση καλωδίου συνεστραμμένων ζευγών.

Στη συνέχεια δίνονται όλες οι δυνατές παραλλαγές της τυποποίησης του *IEEE 802.3* που χρησιμοποιούνται σήμερα:

- ✓ **10Base-5:** Ομοαξονικό καλώδιο με μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 500 μέτρα και με ρυθμό μετάδοσης έως 10 Mbits/sec. Χρησιμοποιεί τη βασική ζώνη για τη μετάδοση των πακέτων.
- ✓ **10Base-2:** Ομοαξονικό καλώδιο με μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 185 μέτρα και με ρυθμό μετάδοσης έως 10 Mbits/sec. Χρησιμοποιεί τη βασική ζώνη για τη μετάδοση των πακέτων.
- ✓ **10Base-T:** Καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών με μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 100 μέτρα.
- ✓ **1Base-5:** Καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών με μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 500 μέτρα και με ρυθμό μετάδοσης έως 1 Mbit/sec.
- ✓ **10Broad-36:** Ομοαξονικό καλώδιο με μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 3.600 μέτρα και με ρυθμό μετάδοσης έως 10 Mbits/sec. Χρησιμοποιεί την ευρεία ζώνη για τη μετάδοση των πακέτων.
- ✓ **10Base-F:** Υποστηρίζει δίκτυα κορμού οπτικής ίνας έως και 4 χιλιόμετρα και ρυθμό μετάδοσης έως 10 Mbits/sec. Το πρότυπο *EIA/TIA* έχει εγκρίνει αυτού του τύπου την καλωδίωση για κτίρια που προορίζονται για εμπορική χρήση.
- ✓ **100Base-X:** Πρόκειται για μια νέα τυποποίηση του *Ethernet*, που μπορεί να υποστηρίξει ρυθμό μετάδοσης έως 100 Mbits/sec χρησιμοποιώντας το πρότυπο CSMA/CD με ιεραρχικά δομημένη καλωδίωση. Η τυποποίηση αυτή θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα.
- ✓ **100Base-VGAnyLAN:** Είναι μια σχετικά πρόσφατη τυποποίηση του *Ethernet*, που υποστηρίζει ρυθμό μετάδοσης έως 100 Mbits/sec και χρησιμοποιεί τη μέθοδο του **αιτήματος προτεραιότητας** (*demand priority*) με ιεραρχικά δομημένη καλωδίωση. Εκτενέστερη αναφορά στο πρότυπο αυτό θα γίνει στην επόμενη ενότητα.



## Μάθημα 8.1: Τεχνολογική εξέλιξη

### 8.1.1 Εισαγωγή

Όπως έχει ήδη διαφανεί από τα προηγούμενα μαθήματα, η τεχνολογική εξέλιξη των τοπικών δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών διακρίνεται σε διάφορα στάδια. Τρία είναι ωστόσο τα κυριότερα από αυτά, για τα οποία γίνεται λόγος στη συνέχεια.

### 8.1.2 Τεχνολογία τοπικών δικτύων πρώτης γενιάς (1970-1984)

Παλαιότερα τα βασικά γνωρίσματα ενός τοπικού δικτύου υπολογιστών ήταν:

- ✓ η περιορισμένη έκτασή του, που δεν υπερέβαινε τις λίγες δεκάδες χιλιόμετρα,
- ✓ ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσής του, που ήταν της τάξης των 10-20 Mbps, και
- ✓ το ιδιοκτησιακό καθεστώς νομής και εκμετάλλευσής του.

Δίκτυα αυτής της μορφής, που αναπτύχθηκαν πειραματικά στην αρχή της δεκαετίας του 1970, χαρακτηρίζονται σήμερα ως **τοπικά δίκτυα υπολογιστών πρώτης γενιάς**. Υπήρξαν αποτέλεσμα της άποψης ότι μαζί με τα δίκτυα σημείου προς σημείο, για τα οποία η τεχνική της αποθήκευσης και της προώθησης των πακέτων μεταγωγής άρχιζε να φανερώνει –μέσω των αποτελεσμάτων του *ARPANET*– την εμβέλεια και την αποτελεσματικότητά της, έπρεπε να αντιμετωπιστούν και τα επίγεια δίκτυα ευρείας εκπομπής. Τοπικά δίκτυα αυτής της μορφής διαθέτουν μία γραμμή επικοινωνίας την οποία μοιράζονται όλοι οι κόμβοι του δικτύου. Κάθε χρήστης εκπέμπει τα πακέτα του στη μοναδική γραμμή επικοινωνίας και αυτά λαμβάνονται από όλους τους κόμβους που βρίσκονται στο δίκτυο. Κάθε κόμβος διαβάζει τη διεύθυνση προορισμού του πακέτου, η οποία αναγράφεται στο πεδίο της επικεφαλίδας του, και αν συμπίπτει με τη δική του διεύθυνση, αποδέχεται το πακέτο, διαφορετικά το απορρίπτει. Σύμφωνα με τη νέα **μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης** (*multiple access method*) στο μέσο μετάδοσης, οι κόμβοι διεκδικούν σε ανταγωνιστική βάση τη μοναδική γραμμή επικοινωνίας προκειμένου να μεταδώσουν τα πακέτα τους. Για το λόγο αυτό εξάλλου αναφέρεται και ως **ανταγωνιστική μέθοδος** (*contention method*) πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης. Οι γενικές προϋποθέσεις που ισχύουν για τη δέσμευση της χωρητικότητας της γραμμής επικοινωνίας των δικτύων της κατηγορίας αυτής αναπτύχθηκαν στο Μάθημα 7.4.

Τα τοπικά δίκτυα υπολογιστών πρώτης γενιάς είναι κατάλληλα για μετάδοση ενός

<sup>1</sup> Δεν έχει υπάρξει μέχρι σήμερα αντίστοιχη ελληνική ονομασία.

<sup>2</sup> Το πρωτόκολλο αυτό διαφέρει από το CSMA/CD στο ότι δεν έχει τη δυνατότητα αναγνώρισης μιας σύγκρουσης. Η ελληνική ονομασία που επικρατεί για το CSMA είναι **πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος**.



Στα ενσύρματα δίκτυα η ανταγωνιστική μέθοδος πρόσβασης στηρίζεται στην προσαρμογή των πρωτοκόλλων ALOHA<sup>1</sup> και CSMA<sup>2</sup> (*Carrier Sense Multiple Access*) που εφαρμόζονται έως σήμερα στα ασύρματα δίκτυα ανοικτής ακρόασης, όπως είναι οι ραδιοεπικοινωνίες, τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών, οι δορυφορικές επικοινωνίες κτλ.



μόνο τύπου πληροφορίας (δεδομένων), με ρυθμούς που δεν υπερβαίνουν τα 20 Mbps και σε αποστάσεις μικρότερες των 50 km. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα δικτύων αυτής της κατηγορίας, τα οποία φέρουν το όνομα του προτύπου που υλοποιούν, είναι τα ακόλουθα:

- ✓ **Δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων:** Πρότυπα *IEEE 802.3 (CSMA/CD, Ethernet)*.
- ✓ **Δίκτυα διαύλου με κουπόνι διέλευσης:** Πρότυπο *IEEE 802.4*.
- ✓ **Δίκτυα δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης:** Πρότυπο *IEEE 802.5*.

Όλα τα παραπάνω πρότυπα αναφέρθηκαν στο Μάθημα 7.5 και θα περιγραφούν λεπτομερέστερα στα αμέσως επόμενα μαθήματα.

Το βασικό πρόβλημα των τοπικών δικτύων που χρησιμοποιούν ανταγωνιστικές μεθόδους πρόσβασης είναι ο καθορισμός της **ισομοιρίας** (*fair share*), δηλαδή της δυνατότητας κάθε κόμβου να έχει τις ίδιες ευκαιρίες μετάδοσης των πακέτων του από την κοινή γραμμή επικοινωνίας. Η δυνατότητα αυτή, από την οποία άλλωστε καθορίζεται και η απόδοση του δικτύου, εξαρτάται από το ρυθμό διέλευσης και την καθυστέρηση της μετάδοσης. Η καθυστέρηση μετρά το μέσο χρόνο που περιμένει ένας κόμβος του δικτύου προκειμένου να μεταδώσει το πακέτο του. Αρκετοί παράγοντες επιδρούν στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται η ισομοιρία. Για παράδειγμα, ίδια καθυστέρηση σε όλους τους κόμβους του δικτύου μπορεί να ευνοεί ορισμένους μόνο από αυτούς οι οποίοι διαθέτουν πολλά πακέτα που δεν είναι επείγοντα.

Από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας το πρωτόκολλο Διαδικτύου (*IP: Internet Protocol*) έχει καταστεί *de facto* πρότυπο διασύνδεσης συστημάτων που αναπτύχθηκαν από διάφορους κατασκευαστές και θεωρείται το πιο εύχρηστο πρωτόκολλο διασύνδεσης. Τυπικά είναι μέρος της ομάδας των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο ελέγχου μεταφοράς (*TCP*) του επιπέδου μεταφοράς. Λόγω της μεγάλης υποστήριξης του *TCP/IP* σε υλικό και λογισμικό, ο μηχανισμός αυτός χρησιμοποιείται σε πάρα πολλά τοπικά δίκτυα και ειδικότερα σ' αυτά που λειτουργούν σε περιβάλλον *Unix*. Το λειτουργικό σύστημα *Unix* υποστηρίζει το *TCP/IP* για πολλά χρόνια, αντισταθμίζοντας το κόστος του στην αγορά. Τόσο η Apple Computer όσο και η Microsoft προώθησαν σημαντικά το *TCP/IP*, διευκολύνοντας μ' αυτό τον τρόπο την πρόσβαση των χρηστών σε δίκτυα *TCP/IP* και σε υπηρεσίες όπως το Διαδίκτυο και τα ενδοδίκτυα (*intranets*).

### 8.1.3 Τεχνολογία τοπικών δικτύων δεύτερης γενιάς (1985-1990)

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των επικοινωνιών και την ανάγκη για παροχή ολοκληρωμένων υπηρεσιών ψηφιακής επικοινωνίας με πληροφορίες<sup>3</sup> όλων των τύπων η

<sup>3</sup> Οι ολοκληρωμένες υπηρεσίες ψηφιακής επικοινωνίας συμπεριλαμβάνουν όλους τους τύπους των πληροφοριών που μπορεί να αντιληφθεί ο άνθρωπος, όπως είναι τα πάσης φύσεως στατικά δεδομένα (π.χ. κείμενα, γραφικά, στατικές εικόνες), η φωνή, η προσομοίωση κίνησης, οι κινούμενες εικόνες, το βίντεο κτλ.



τάση ανάπτυξης νέων τύπων δικτύων που να υπερβαίνουν τους φραγμούς της χωρητικότητας και των ρυθμών μετάδοσης γινόταν ολοένα και πιο πιεστική.

Η **δεύτερη γενιά τοπικών δικτύων** χαρακτηρίζεται από την περαιτέρω εξέλιξη της υφιστάμενης τεχνικής μεταγωγής πακέτων του προτύπου *IEEE 802.5*, καθώς και από την ανάπτυξη νέων τεχνικών προκειμένου να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα στις εφαρμογές. Τα δίκτυα αυτής της γενιάς είναι κατάλληλα για μετάδοση ενός μόνο τύπου πληροφορίας (δεδομένων) με ρυθμούς που φτάνουν τα 155 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορούν να καλύψουν είναι μεγάλες και συναγωνίζονται στο ανώτερό τους όριο τις μικρότερες των δικτύων ευρείας περιοχής. Τα δίκτυα υπολογιστών δεύτερης γενιάς συμπεριλήφθηκαν στα μητροπολιτικά δίκτυα (MAN)<sup>4</sup> και χρησιμοποιούνται κυρίως ως κορμός στη διασύνδεση των τοπικών δικτύων με άλλα τοπικά δίκτυα αλλά και με δίκτυα ευρείας περιοχής. Παρά το γεγονός ότι έγινε προσπάθεια να μεταδοθούν μέσω αυτών των δικτύων και άλλοι τύποι πληροφορίας, χρήσιμοι για την ανάπτυξη εφαρμογών πολυμέσων, ο **ισοχρονισμός** αποδείχτηκε ο σημαντικότερος ανασταλτικός παράγοντας.

Τα πρότυπα της δεύτερης γενιάς τοπικών δικτύων που έχουν γίνει αποδεκτά είναι κυρίως τα ακόλουθα:

- ✓ **Δίκτυο διεπαφής κατανεμημένων δεδομένων με οπτική ίνα-I (FDDI-I: Fiber Distributed Data Interface-I):** Πρότυπο *ANSI X3T9.5*, το οποίο είναι συμβατό με το πρότυπο *IEEE 802.5*.
- ✓ **Δίκτυο διεπαφής κατανεμημένων δεδομένων με οπτική ίνα-II (FDDI-II: Fiber Distributed Data Interface-II):** Πρότυπο επέκτασης του *ANSI X3T9.5* προκειμένου το δίκτυο να παρέχει ισοχρονισμό.
- ✓ **Δίκτυο διπλού διαύλου με κατανεμημένη ουρά αναμονής (DQDB: Distributed Queue Dual Bus):** Πρότυπο *IEEE 802.6-MAN*.
- ✓ **Δίκτυο μεταγωγικής υπηρεσίας δεδομένων πολλών εκατομμυρίων δυαδικών ψηφίων (SMDS: Switched Multi-Megabit Data Service):** Πρότυπο *SMDS*.

Από τα δίκτυα αυτά μόνο για το *FDDI-I* εκδηλώθηκε μεγάλο ενδιαφέρον στον κόσμο της αγοράς, παρά το σχετικά υψηλό κόστος του (βλ. Ενότητα Δ), ενώ τόσο το *DQDB* όσο και το *SMDS* είχαν περιορισμένη απήχηση (βλ. Ενότητα Ε).

### 8.1.4 Τεχνολογία τοπικών δικτύων τρίτης γενιάς (1990 - 2000)

Η **τρίτη γενιά τοπικών δικτύων** χαρακτηρίζεται από την περαιτέρω εξέλιξη της υφιστάμενης τεχνικής μεταγωγής πακέτων του προτύπου *IEEE 802.3*, καθώς και από



**Ισοχρονισμός** είναι η ιδιότητα μιας σύνδεσης του δικτύου να εξασφαλίζει την παροχή σταθερού ρυθμού μετάδοσης και μικρή, κάτω ενός ορισμένου ορίου, καθυστέρηση.

<sup>4</sup> *MAN (Metropolitan Area Networks)*. Ονομασία που επικράτησε λόγω της μεγάλης γεωγραφικής κάλυψης των δικτύων αυτής της κατηγορίας. Με εξαίρεση τα δίκτυα *FDDI*, που συγκαταλέγονται στα τοπικά δίκτυα, όλα τα άλλα δίκτυα αυτής της κατηγορίας (*DQDB*, *SMDS*) μπορούν να συγκαταλεχθούν στα δίκτυα ευρείας περιοχής.





την ανάπτυξη νέων τεχνικών προκειμένου να εξασφαλιστεί μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα από αυτήν των 150 Mbps των δικτύων της προηγούμενης γενιάς. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις δικτύων αυτής της κατηγορίας, τα οποία φέρουν το όνομα του προτύπου που υλοποιούν, είναι:

- ✓ **Δίκτυα 100Base-T ή Fast Ethernet:** Πρότυπο *IEEE 802.3u* και όλα τα σχετικά με αυτό πρωτόκολλα.
- ✓ **Ισόχρονα δίκτυα Ethernet (ISO-Ethernet: Isochronous Ethernet):** Πρότυπο *IEEE 802.9*.
- ✓ **Δίκτυα με αίτημα προτεραιότητας στην πρόσβαση (demand priority access LAN):** Πρότυπο *IEEE 802.12*, με κύριους εκπροσώπους τα **100Base-VG (Voice Grade)** και **100Base-VGAnyLAN**.
- ✓ **Δίκτυο Gigabit Ethernet:** Πρότυπο *Gigabit Ethernet*, το οποίο υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης κοντά στο 1 Gbps<sup>5</sup>.

Παράλληλα, από το 1990, γίνονται προσπάθειες προκειμένου να αναπτυχθούν τα ονομαζόμενα **τοπικά δίκτυα νέας γενιάς (ATM-based LANs)**, τα οποία βασίζονται στις αρχές της τεχνικής του ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς (*ATM*). Δίκτυα αυτής της κατηγορίας εξομοιώνουν τη συμπεριφορά των τοπικών δικτύων *IEEE 802.4* και *IEEE 802.5* με αυτήν του *ATM*. Η τεχνική της **εξομοίωσης τοπικών δικτύων (LANE: LAN Emulation)** είναι αρκετά πρόσφατη, με προοπτικές μελλοντικής ανάπτυξης. Δίκτυα αυτής της τεχνολογίας είναι ικανά να προσφέρουν πραγματικό ισοχρονισμό, που είναι και η κύρια απαίτηση για τη μετάδοση πληροφοριών όλων των τύπων κυκλοφορίας.

Όλα αυτά τα δίκτυα χαρακτηρίζονται ως τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων και αποτελούν αντικείμενο μελέτης στην Ενότητα Δ. Στην παρούσα ενότητα θα περιγράψουμε λεπτομερέστερα τη λειτουργία των πιο βασικών προτύπων της πρώτης γενιάς – με έμφαση στα δίκτυα που επικρατούν σήμερα στην αγορά – καθώς και τους τρόπους υλοποίησης αυτών των προτύπων.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρώτη, δεύτερη και τρίτη γενιά τοπικών δικτύων, μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης στο μέσο, ανταγωνιστική μέθοδος πρόσβασης στο μέσο, ισοχρονισμός.

<sup>5</sup> 1 Gbps: 1 Giga bits per second (1 Gbps = 1.000 Mbps = 10<sup>9</sup> bps).



## Μάθημα 8.2: Πρότυπο ALOHA

Το **πρότυπο ALOHA** αποτελεί την απλούστερη αλλά και την παλαιότερη από τις ανταγωνιστικές τεχνικές πρόσβασης στο μέσο που εφαρμόστηκαν στα ραδιοδίκτυα των πακέτων μεταγωγής. Δημιουργήθηκε από την ομάδα του Norman Abramson του Πανεπιστημίου της Χαβάης και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1970 στα επίγεια συστήματα ραδιοεπικοινωνίας, για να επεκταθεί αργότερα σε πολλά παρόμοια συστήματα ανταγωνισμού. Εφαρμόζεται σε οποιοδήποτε μέσο μετάδοσης τη χωρητικότητα του οποίου μοιράζεται ένα πλήθος χρηστών. Σήμερα το πρωτόκολλο ALOHA, με ορισμένες παραλλαγές, έχει ευρεία εφαρμογή στο χώρο της επίγεια ραδιοεπικοινωνίας, στην κινητή (μικροκυβελική - μακροκυβελική) τηλεφωνία, καθώς και στη δορυφορική επικοινωνία.

Υπάρχουν δύο μορφές του πρωτοκόλλου, το ασυγχρόνιστο και το συγχρονισμένο ALOHA. Στην περίπτωση του **ασυγχρόνιστου ALOHA** οι χρήστες δε συντονίζουν τις μεταδόσεις τους, αλλά μεταδίδουν, όποτε διαθέτουν πακέτο. Στην πιο απλή περίπτωση υποθέτουμε ότι κάθε χρήστης δεν μπορεί να αποθηκεύσει πάνω από ένα πακέτο, το οποίο επιχειρεί να μεταδώσει αμέσως. Ο κόμβος παρακολουθεί το κανάλι για χρονικό διάστημα που ισοδυναμεί με το **μέγιστο χρόνο μιας πλήρους περιφοράς** (μετάδοση με επιστροφή) **του πακέτου** (*round-trip packet transmission time*) στο δίκτυο. Αν ο κόμβος πάρει επιβεβαίωση μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα, θεωρεί ότι το πακέτο πήγε στον προορισμό του, διαφορετικά το επαναμεταδίδει μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Γενικά, δεν υπάρχει περιορισμός στις επαναμεταδόσεις που μπορεί να κάνει ένας κόμβος.

Το πακέτο που λαμβάνεται από το δέκτη ελέγχεται για την ορθότητά του και, αν είναι σωστό, γίνεται αμέσως αποδεκτό, οπότε αποστέλλεται και η επιβεβαίωση. Το πακέτο ενδέχεται να μεταδοθεί, αλλά να μη ληφθεί σωστά λόγω θορύβου ή σύγκρουσής του με κάποιο άλλο πακέτο, οπότε και τα δύο θεωρείται ότι καταστρέφονται. Υπενθυμίζουμε ότι σύγκρουση μεταξύ δύο πακέτων συμβαίνει, όταν το δεύτερο πακέτο αρχίζει τη μετάδοση, ενώ το πρώτο ήδη μεταδίδεται. Επομένως το πρωτόκολλο αποδίδει ικανοποιητικά, μόνο αν οι περιπτώσεις επικάλυψης των πακέτων ελαχιστοποιηθούν.

### Παράδειγμα I

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.1α, οι τρεις κόμβοι Α, Β και Γ μεταδίδουν το πακέτο τους σε τυχαίους χρόνους. Για ευκολία υποθέτουμε ότι κάθε μετάδοση διαρκεί 1 sec. Επομένως:

- ✓ Τα πακέτα Α1 και Β1, που δημιουργήθηκαν από τους κόμβους Α και Β αντίστοιχα, φθάνουν στον κεντρικό κόμβο μετά από κάποια σταθερή καθυστέρηση διάδοσης του σήματος, χωρίς να συγκρουστούν. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι χρόνοι μετάδοσης των πακέτων δεν επικαλύπτονται. Είναι φανερό ότι ο χρόνος επικάλυψης θα είναι το πολύ διπλάσιος του χρόνου μετάδοσης, δηλαδή 2



Η τεχνική που ονομάστηκε ALOHA χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης προκειμένου να συνδεθεί μια ομάδα υπολογιστών που ήταν καταμεμημένοι σε αρκετά νησιά με τον κεντρικό υπολογιστή που βρισκόταν στο νησί Oahu.

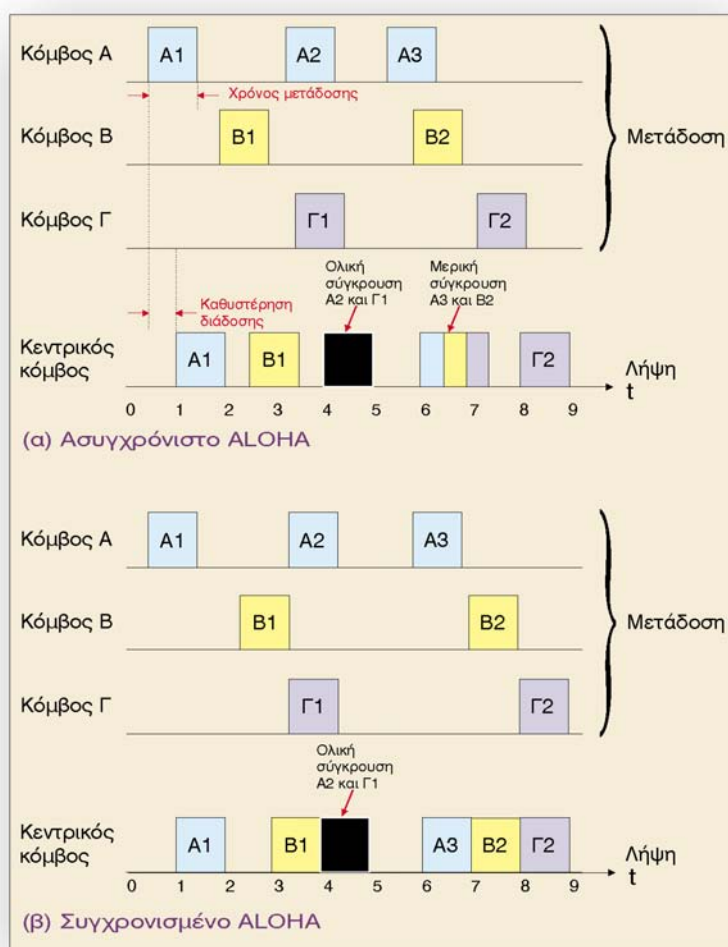


Ο μέγιστος χρόνος μιας πλήρους περιφοράς ενός πακέτου στο δίκτυο είναι διπλάσιος του χρόνου που απαιτείται για τη μεταφορά του πακέτου μεταξύ των δύο πιο απομακρυσμένων σταθμών του δικτύου. Στα τοπικά δίκτυα ο χρόνος αυτός είναι αμελητέος, όμως στα δορυφορικά συστήματα η καθυστέρηση που παρατηρείται ακριβώς πριν ο αποστολέας επιβεβαιώσει ότι η μετάδοση του πακέτου του ήταν επιτυχής φτάνει τα 270 msec.



sec.

- ✓ Τα πακέτα A2 και Γ1, που δημιουργήθηκαν από τους κόμβους Α και Γ αντίστοιχα, μεταδόθηκαν την ίδια χρονική στιγμή, με αποτέλεσμα να συμβεί ολική σύγκρουση.
- ✓ Τα πακέτα A3 και B2, που δημιουργήθηκαν από τους κόμβους Α και Β αντίστοιχα, μεταδόθηκαν σε επικαλυπτόμενο χρονικό διάστημα (μέσα σε 2 sec), με αποτέλεσμα να συμβεί μερική σύγκρουση. Αντίθετα, το πακέτο Γ2, που δημιουργήθηκε από τον κόμβο Γ, μεταδόθηκε σε μη επικαλυπτόμενο χρονικό διάστημα μαζί με τα πακέτα A3 και B2.



Σχήμα 8.1: Παράσταση σύγκρουσης στο ασυγχρόνιστο και στο συγχρονισμένο ALOHA

τους στην αρχή των χρονοθυρίδων. Επομένως σε περίπτωση σύγκρουσης η επικά-

Σημειώνεται ότι, για να μετρηθεί η απόδοση του ασυγχρόνιστου δικτύου ALOHA, είναι αναγκαίο να γίνουν ορισμένες παραδοχές, όπως είναι:

- ✓ Το κανάλι επικοινωνίας δεν παρουσιάζει σφάλματα θορύβου.
- ✓ Ο αριθμός των κόμβων που μεταδίδουν είναι μεγάλος.
- ✓ Το μήκος των πακέτων που μεταδίδονται είναι σταθερό.
- ✓ Ο αριθμός των πακέτων που δημιουργούνται ανά μονάδα χρόνου είναι τυχαίος.
- ✓ Η καθυστέρηση διάδοσης είναι μικρή ( $< 10^{-3}$ ) και δε λαμβάνεται υπόψη. (Η παραδοχή αυτή δεν ισχύει για τα δορυφορικά δίκτυα στα οποία η καθυστέρηση διάδοσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα.)

Με την προϋπόθεση ότι οι πιο πάνω παραδοχές ισχύουν, ο μέγιστος ρυθμός διέλευσης που μπορούμε να πετύχουμε από το δίκτυο δεν υπερβαίνει το 18% της συνολικά προσφερόμενης κυκλοφορίας.

Προκειμένου να βελτιωθεί ο ρυθμός διέλευσης του ασυγχρόνιστου ALOHA, αναπτύχθηκε το **συγχρονισμένο ALOHA**, κατά το οποίο ο άξονας του χρόνου χωρίζεται σε ομοιόμορφα διαστήματα, που λέγονται χρονοθυρίδες (time slots), διάρκειας ίσης με το χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου. Οι κόμβοι συγχρονίζονται μέσω ενός κοινού ρολογιού, ώστε όλοι να ξεκινούν τις μεταδόσεις



λυψη των πακέτων θα είναι ολική (σχήμα 8.1β) και όχι μερική, όπως στην περίπτωση του ασυγχρόνιστου *ALOHA*. Η τεχνική αυτή διπλασιάζει<sup>6</sup> το ρυθμό διέλευσης, ο οποίος μπορεί να φτάσει στο 37% περίπου των επιχειρούμενων μεταδόσεων.

## Παράδειγμα II

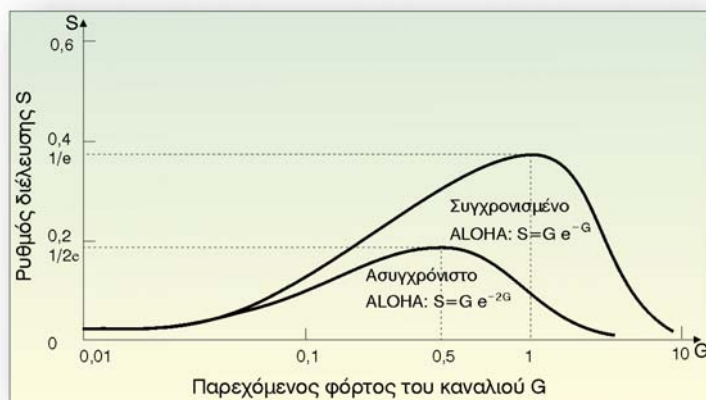
Αν ένα δίκτυο ασυγχρόνιστου *ALOHA* μεταδίδει με ρυθμό 9.600 bps, τότε ο μέγιστος συνολικός ρυθμός διέλευσης, δηλαδή το άθροισμα των δυαδικών ψηφίων που φθάνουν από όλους τους κόμβους ανά δευτερόλεπτο, θα είναι μόνο  $0,18 \times 9.600 = 1.728$  bps. Αν όμως χρησιμοποιηθεί το συγχρονισμένο *ALOHA*, τότε το άθροισμα των δυαδικών ψηφίων που φθάνουν από όλους τους κόμβους ανά δευτερόλεπτο θα είναι το διπλάσιο, αφού ο μέγιστος ρυθμός διέλευσης θα είναι  $0,37 \times 9.600 = 3.552$  bps. Σημειώνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις, του ασυγχρόνιστου και του συγχρονισμένου *ALOHA*, η χωρητικότητα των 1.728 και 3.552 bps αντίστοιχα θα πρέπει να μοιραστεί κατά το δυνατόν ισομερώς σε όλους τους χρήστες του δικτύου.

<sup>6</sup> Η ανάλυση αυτή μας δίνει την ευκαιρία να εξετάσουμε με παραστατικό τρόπο τη συμπεριφορά των δύο πρωτοκόλλων του *ALOHA*. Όπως έχει αποδειχτεί, κάτω από ορισμένες παραδοχές — οι κυριότερες των οποίων έχουν ήδη αναφερθεί — ο τύπος που συνδέει το **ρυθμό διέλευσης** (*throughput*) με τον παρεχόμενο φόρτο είναι:

- ✓  $S = G e^{-2G}$  για το ασυγχρόνιστο *ALOHA*
- ✓  $S = G e^{-G}$  για το συγχρονισμένο *ALOHA*



Ως **ρυθμός διέλευσης** (*throughput*) **S** του δικτύου ορίζεται ο συνολικός ρυθμός των δεδομένων που μεταδίδονται ανάμεσα σε δύο σταθμούς, ενώ ο παρεχόμενος **φόρτος G** παριστάνει το συνολικό ρυθμό των δεδομένων που εμφανίζονται για μετάδοση.



Στο σχήμα 8.2 βλέπουμε πώς μεταβάλλεται ο ρυθμός διέλευσης **S** ως συνάρτηση του παρεχόμενου φόρτου **G**.

Όπως παρατηρούμε, η μέγιστη τιμή του ρυθμού διέλευσης είναι για το ασυγχρόνιστο *ALOHA*  $1/2e$ , ενώ για το συγχρονισμένο *ALOHA*  $1/e$  και συμβαίνει, όταν ο παρεχόμενος φόρτος **G** είναι 0,5 και 1 αντίστοιχα.

Σχήμα 8.2: Παρουσίαση της συμπεριφοράς του ασυγχρόνιστου και του συγχρονισμένου *ALOHA*

## Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρωτόκολλο *ALOHA*, ασυγχρόνιστο *ALOHA*, συγχρονισμένο *ALOHA*, ρυθμός διέλευσης, φόρτος.

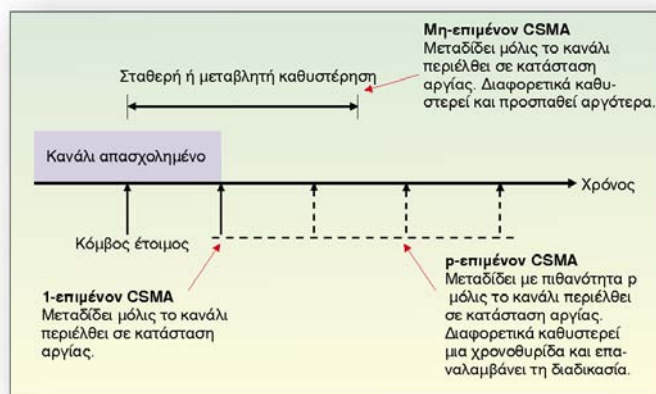




## Μάθημα 8.3: Πρότυπο CSMA

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο μάθημα, με το συγχρονισμένο *ALOHA* ο μέγιστος ρυθμός διέλευσης του καναλιού δεν υπερβαίνει το 37%. Το κύριο μειονέκτημα του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι κάθε κόμβος που έχει πακέτο να μεταδώσει προχωρεί στη μετάδοση χωρίς να ενδιαφέρεται αν κάποιος άλλος κόμβος μεταδίδει εκείνη τη στιγμή, με αποτέλεσμα η σύγκρουση να είναι αναπόφευκτη. Στα τοπικά δίκτυα υπολογιστών είναι πολλές φορές δυνατόν ο κόμβος που θέλει να μεταδώσει να αναγνωρίζει τι κάνουν οι άλλοι κόμβοι και να συμπεριφέρεται ανάλογα. Όμως η δυνατότητα αυτή δεν είναι πάντα προφανής. Στα ασύρματα δίκτυα, για παράδειγμα, ο σταθμός βάσης πρέπει να είναι ορατός από όλους τους σταθμούς, διαφορετικά η επικοινωνία δεν καθίσταται εφικτή. Ένα πρωτόκολλο το οποίο στηρίζεται σε μεθόδους ανταγωνισμού για την πρόσβαση των κόμβων στο μέσο μετάδοσης και το οποίο επιτρέπει στους κόμβους να ανιχνεύουν την ύπαρξη φέροντος σήματος, προτού επιχειρήσουν να μεταδώσουν, ονομάζεται **πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος** (*CSMA: Carrier Sense Multiple Access*)<sup>7</sup>. Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου δικτύου περιγράφηκαν και στο Μάθημα 7.4.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του πρωτοκόλλου *CSMA* (σχήμα 8.3), όμως η βασική ιδέα παραμένει η ίδια. Στην απλούστερη των περιπτώσεων ο κόμβος που πρόκειται να μεταδώσει ανιχνεύει πρώτα το κανάλι, προκειμένου να διαπιστώσει αν κάποια άλλη μετάδοση είναι σε εξέλιξη. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, ο κόμβος συνεχίζει να ανιχνεύει το κανάλι αναβάλλοντας τη μετάδοσή του, μέχρις ότου διαπιστώσει ότι αυτό είναι ελεύθερο, οπότε και μεταδίδει το πακέτο του. Παρ' ότι η τεχνική αυτή μειώνει τις συγκρούσεις, εντούτοις δεν τις αποκλείει εντελώς, αφού ενδέχεται περισσότεροι του ενός κόμβοι, οι οποίοι είναι έτοιμοι για μετάδοση (έχουν δηλαδή πακέτο), να επιχειρήσουν να μεταδώσουν το πακέτο τους, όταν διαπιστώσουν ότι το κανάλι είναι ελεύθερο, οπότε η σύγκρουση θα είναι αναπόφευκτη. Το πρωτόκολλο αυτό λέγεται **1-επιμένον CSMA** (*1-persistent CSMA*)<sup>8</sup> και αντιδιαστέλλεται από το **μη-επιμέ-**



Σχήμα 8.3: Παραλλαγές του πρωτοκόλλου *CSMA*

<sup>7</sup> Αναφέρεται επίσης και ως πρωτόκολλο «άκουσε, πριν μιλήσεις» (*LBT: Listen Before Talk*).



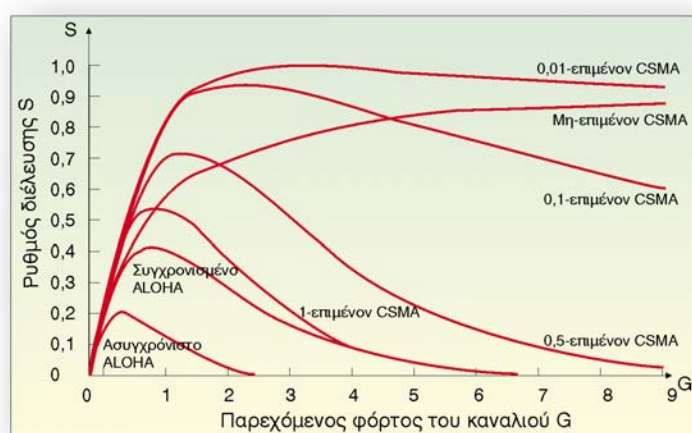


**non CSMA** (*non-persistent CSMA*), σύμφωνα με το οποίο ο σταθμός που θέλει να μεταδώσει, αλλά βρίσκει το κανάλι απασχολημένο, δε συνεχίζει την ανίχνευση του καναλιού, όπως στην προηγούμενη περίπτωση, αλλά περιμένει κάποιο χρονικό διάστημα, προτού επαναλάβει την όλη διαδικασία.

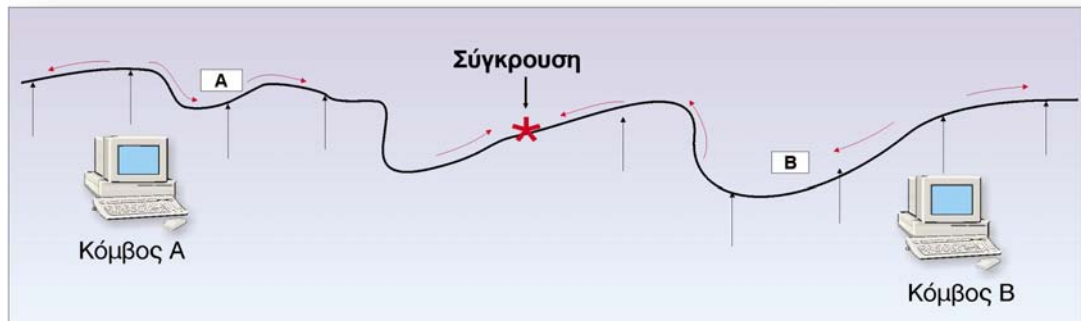
Όπως αναφέρθηκε και στο πρωτόκολλο *ALOHA*, η καθυστέρηση της μετάδοσης παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του πρωτοκόλλου *1-επιμένον CSMA*, αφού υπάρχει πάντα η πιθανότητα, ακριβώς μετά την έναρξη της αποστολής του πακέτου ενός κόμβου, κάποιος άλλος κόμβος που είναι έτοιμος για μετάδοση να αρχίσει και αυτός την αποστολή του πακέτου του. Αυτό συμβαίνει, επειδή το σήμα του πρώτου κόμβου δε φθάνει έγκαιρα στο δεύτερο κόμβο και έτσι αυτός θεωρεί το κανάλι ελεύθερο για μετάδοση, με αποτέλεσμα να συμβεί βέβαιη σύγκρουση (σχήμα 8.5). Φυσικά στην περίπτωση του *1-επιμένον CSMA* αναμένεται να συμβούν πολύ λιγότερες συγκρούσεις από το *ALOHA*, αφού οι κόμβοι ανιχνεύουν το κανάλι, πριν μεταδώσουν, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα συγκρούσεων.

Σε σύγκριση με τις άλλες δύο παραλλαγές του *CSMA* το *1-επιμένον CSMA* παρουσιάζει χαμηλότερη απόδοση και μεγαλύτερες καθυστερήσεις, αφού η επιμονή του να μεταδώσει, σε συνδυασμό με την καθυστέρηση διάδοσης του σήματος, προκαλεί συγκρούσεις. Ακόμη και στην περίπτωση που η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος δεν παίζει σημαντικό ρόλο, όπως είναι η περίπτωση των τοπικών δικτύων, συγκρούσεις μπορεί να συμβούν και πάλι. Στο σχήμα 8.6 παρουσιάζεται η περίπτωση δύο

<sup>8</sup> Το πρωτόκολλο **p-επιμένον CSMA** (*p-persistent CSMA*), που εφαρμόζεται σε συγχρονισμένο κανάλι, γενικεύει την περίπτωση του πρωτοκόλλου *1-επιμένον CSMA*. Σύμφωνα μ' αυτό, όταν ο κόμβος είναι έτοιμος για μετάδοση, ανιχνεύει το κανάλι και, αν αυτό είναι ελεύθερο, αποστέλλει το πακέτο του με πιθανότητα  $p$  ( $0 < p < 1$ ), ενώ με πιθανότητα  $q = 1 - p$  απέχει από τη μετάδοση μέχρι την επόμενη χρονοθυρίδα. Αν και αυτή η χρονοθυρίδα είναι ελεύθερη, τότε μεταδίδει και πάλι με πιθανότητα  $p$  και απέχει με πιθανότητα  $q$ . Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται, μέχρις ότου ο κόμβος να μεταδώσει το πακέτο του. Αν στο μεταξύ κάποιος άλλος κόμβος αρχίσει να μεταδίδει, τότε περιμένει για κάποιο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια επαναλαμβάνει την όλη διαδικασία. Φυσικά στην περίπτωση που ο κόμβος βρει το κανάλι απασχολημένο, περιμένει μέχρι την επόμενη χρονοθυρίδα και εφαρμόζει την ίδια διαδικασία. Στο σχήμα 8.4 απεικονίζεται το διάγραμμα σύγκρισης του ρυθμού διέλευσης προς τον παρεχόμενο φόρτο κυκλοφορίας τόσο για τα πρωτόκολλα *CSMA* όσο και για τα πρωτόκολλα *ALOHA*.

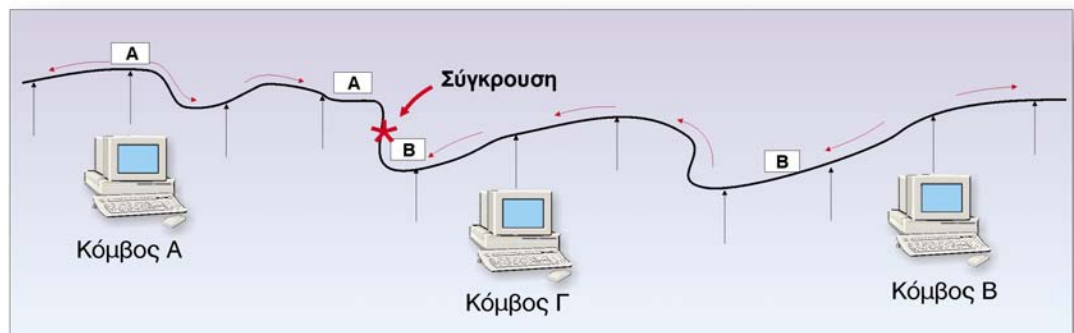


Σχήμα 8.4: Σύγκριση του ρυθμού διέλευσης προς τον παρεχόμενο φόρτο κυκλοφορίας για τα διαφορετικά πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



Σχήμα 8.5: Επειδή και οι δύο κόμβοι A και B ανίχνευσαν σχεδόν ταυτόχρονα το κανάλι και διαπίστωσαν ότι ήταν σε κατάσταση αργίας, μετέδωσαν αμέσως. Όμως, λόγω της καθυστέρησης διάδοσης, το σήμα του κόμβου B δεν έφτασε έγκαιρα στον κόμβο A, με αποτέλεσμα να επέλθει σύγκρουση.

κόμβων έτοιμων για μετάδοση οι οποίοι, μετά τον τερματισμό της μετάδοσης του πακέτου του κόμβου που βρίσκεται στο μέσο περίπου της μεταξύ τους απόστασης, διαπιστώνουν ότι το κανάλι είναι ελεύθερο και αποφασίζουν να μεταδώσουν, με αποτέλεσμα η σύγκρουση να είναι αναπόφευκτη.



Σχήμα 8.6: Μόλις ο κόμβος Γ τερμάτισε τη μετάδοσή του και το κανάλι βρέθηκε σε κατάσταση αργίας, οι κόμβοι A και B ήταν έτοιμοι για μετάδοση. Επειδή αυτοί απέχουν ίση περίπου απόσταση από τον κόμβο Γ, διαπίστωσαν σχεδόν ταυτόχρονα ότι το κανάλι είναι ελεύθερο και μετέδωσαν σχεδόν αμέσως, με αποτέλεσμα τη σύγκρουση των πακέτων τους.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος (CSMA), 1-επιμένον CSMA, μη επιμένον CSMA, p-επιμένον CSMA.



## Μάθημα 8.4: Πρότυπα CSMA/CD, IEEE 802.3 και Ethernet

### 8.4.1 Το πρότυπο CSMA/CD

Η βελτίωση που επέφερε το πρωτόκολλο CSMA στο ALOHA αποδείχτηκε ασφαλώς ευεργετική για την απόδοση των τοπικών δικτύων τόσο ως προς το ρυθμό διέλευσης όσο και ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων στο δίκτυο. Μια νέα βελτίωση του πρωτοκόλλου CSMA, που έγινε η απαρχή για την παραπέρα ανάπτυξη του και την εισαγωγή του στην ενσύρματη επικοινωνία, έδωσε τη δυνατότητα στους κόμβους να σταματούν τις μεταδόσεις τους, μόλις αντιληφθούν σύγκρουση στο κανάλι.

Για παράδειγμα, αν δύο ή περισσότεροι κόμβοι ανιχνεύοντας το κανάλι διαπιστώσουν ότι αυτό είναι σε αργία και αποφασίσουν να μεταδώσουν σχεδόν ταυτόχρονα, θα διαπιστώσουν σχεδόν ταυτόχρονα και τη σύγκρουση που θα συμβεί. Επομένως θα διακόψουν αμέσως τη μετάδοση των πακέτων τους, που έτσι κι αλλιώς σ' αυτή την περίπτωση είναι ανώφελη, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου όσον αφορά το ρυθμό διέλευσης και την καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων. Κάθε κόμβος που διαπιστώνει σύγκρουση αναβάλλει τη μετάδοση του πακέτου του, περιμένοντας για κάποιο χρονικό διάστημα, και επιχειρεί αργότερα, υποθέτοντας ότι στο διάστημα αυτό κανείς άλλος κόμβος δεν άρχισε να μεταδίδει. Το νέο βελτιωμένο πρωτόκολλο ονομάστηκε **πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων** (CSMA/CD: *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*).

Το CSMA/CD, όπως και πολλά από τα πρότυπα των τοπικών δικτύων, ακολουθούν τους γενικούς κανόνες που περιγράφηκαν στο Μάθημα 7.4. Το κανάλι είναι συγχρονισμένο σε κάθε χρονοθυρίδα και μπορεί να βρίσκεται σε μία από τις ακόλουθες τρεις καταστάσεις:

- ✓ **Κατάσταση αργίας.** Στην περίπτωση αυτή δεν επιχειρείται μετάδοση από κανέναν κόμβο του καναλιού. Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το κανάλι παραμένει σε αργία λέγεται **περίοδος αργίας**.
- ✓ **Κατάσταση μετάδοσης.** Το κανάλι είναι απασχολημένο από κάποια επιτυχημένη μετάδοση. Στην περίπτωση αυτή όλοι οι κόμβοι διαπιστώνουν ότι κάποιος άλλος κόμβος έχει δεσμεύσει το κανάλι και δεν επιχειρούν να μεταδώσουν. Αυτό το χρονικό διάστημα απασχόλησης του καναλιού λέγεται **περίοδος μετάδοσης**.
- ✓ **Κατάσταση ανταγωνισμού.** Το κανάλι είναι απασχολημένο από κάποια σύγκρουση. Στην περίπτωση αυτή όλοι οι κόμβοι διαπιστώνουν ή ότι έχουν οι ίδιοι εμπλακεί σε κάποια σύγκρουση και επομένως διακόπτουν τη συνέχιση της μετάδοσης του πακέτου τους ή ότι κάποιοι άλλοι κόμβοι έχουν εμπλακεί σε σύγκρουση και έχουν δεσμεύσει το κανάλι και επομένως δεν επιχειρούν να μεταδώσουν.

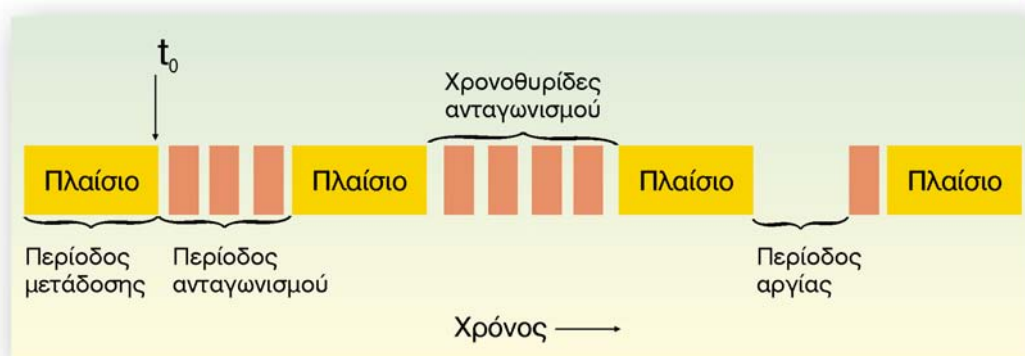


Αυτό το χρονικό διάστημα απασχόλησης του καναλιού λέγεται **περίοδος ανταγωνισμού**. Σημειώνεται ότι η περίοδος ανταγωνισμού περιλαμβάνει το χρόνο που απαιτείται προκειμένου το κανάλι να επιλύσει τις συγκρούσεις και να καταστεί και πάλι έτοιμο για μετάδοση.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.7, τη χρονική στιγμή  $t_0$  ο κόμβος έχει τερματίσει τη μετάδοση του πλαισίου του και επομένως όλοι οι κόμβοι που είναι έτοιμοι για μετάδοση μπορούν τώρα να επιχειρήσουν να μεταδώσουν το πλαίσιο τους. Αν όμως δύο ή περισσότεροι κόμβοι επιχειρήσουν να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή  $t_0$ , θα συμ-



Ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την αναγνώριση μιας σύγκρουσης ισούται με το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να μεταδοθεί από τον έναν κόμβο στον άλλο.



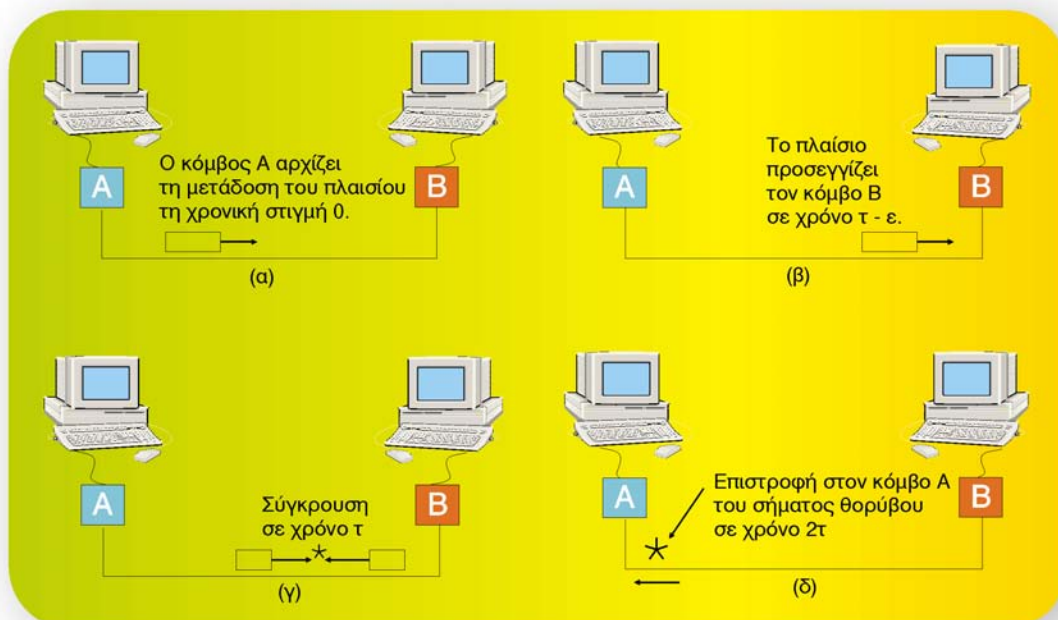
Σχήμα 8.7: Το CSMA/CD μπορεί να βρίσκεται είτε σε κατάσταση αργίας είτε σε κατάσταση ανταγωνισμού ή σε κατάσταση μετάδοσης.



Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, σε αντιδιαστολή με τα πρωτόκολλα ALOHA και CSMA που έχουν εφαρμογή στην ασύρματη επικοινωνία, η ικανότητα της αναγνώρισης των συγκρούσεων αφορά τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης και επομένως το νέο πρωτόκολλο έχει εφαρμογή στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα. Λόγω της επιτυχίας του CSMA/CD έγιναν αρκετές προσπάθειες προσαρμογής του στο περιβάλλον της ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίες όμως δεν καρποφόρησαν.

βεί σύγκρουση. Άρα το κρίσιμο ερώτημα αφορά τη διάρκεια της περιόδου ανταγωνισμού και ειδικότερα το χρόνο που απαιτείται για την αναγνώριση μιας σύγκρουσης. Σ' ένα δίκτυο εκπομπής βασικής ζώνης ο χρόνος αναγνώρισης μιας σύγκρουσης είναι διπλάσιος από την καθυστέρηση διάδοσης του σήματος στο καλωδιακό μέσο. Σημειώνεται ότι η καθυστέρηση αυτή, που συμβολίζεται με  $\tau$ , αφορά το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να μεταδοθεί μεταξύ των πιο απομακρυσμένων κόμβων του δικτύου. Επομένως η διάρκεια μετάδοσης κάθε πλαισίου θα πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει την αναγνώριση των συγκρούσεων πριν από το τέλος της μετάδοσής του, δηλαδή τουλάχιστον  $2\tau$  (σχήμα 8.8), διαφορετικά οι συγκρούσεις δε θα αναγνωρίζονται έγκαιρα, με συνέπεια η απόδοση του προτύπου CSMA/CD να είναι ανάλογη με αυτήν του CSMA. Το άμεσο συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι το μήκος του καλωδίου δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλο, ώστε οι συγκρούσεις να μπορούν να αναγνωρίζονται. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένα ομοαξονικό καλώδιο μήκους 1 km έχει καθυστέρηση διάδοσης σήματος  $\tau = 5 \mu\text{sec}$ .

Η αναγνώριση των συγκρούσεων είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο κόμβος παρακολουθεί, μέσω κάποιας διάταξης, το καλωδιακό μέσο σε όλη τη διάρκεια της μετάδοσης. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος συγκρίνει την ισχύ ή το πλάτος του παλμού του σήματος που λαμβάνει με αυτό που έστειλε. Αν το σήμα που θα λάβει ο κόμβος είναι διαφορετικό από αυτό που έστειλε, τότε διαπιστώνει ότι συνέβη σύγκρουση. Το σχήμα κωδικοποίησης των σημάτων πρέπει να επιτρέπει την αναγνώριση των συγκρούσεων. Για παράδειγμα, η σύγκρουση δύο σημάτων τάσης 0 Volt είναι πολύ



Σχήμα 8.8: Η αναγνώριση της σύγκρουσης μπορεί να έχει μέγιστη διάρκεια  $2\tau$ .

(α) Τη χρονική στιγμή 0 ο κόμβος A στέλνει ένα πλαίσιο.

(β) Το πλαίσιο προσεγγίζει τον κόμβο B σε χρόνο  $\tau - \epsilon$ .

(γ) Ακριβώς πριν το πλαίσιο του κόμβου A φθάσει στον κόμβο B, αυτός αρχίζει τη μετάδοση του δικού του πλαισίου. Όταν ο κόμβος B διαπιστώσει ότι έλαβε περισσότερη ισχύ σήματος από αυτήν που έστειλε, αντιλαμβάνεται ότι έχει εμπλακεί σε σύγκρουση, οπότε σταματά τη μετάδοσή του και στέλνει αμέσως ένα σήμα θορύβου 48 bits στους άλλους κόμβους.

(δ) Το σήμα θορύβου φθάνει στον κόμβο A σε χρόνο  $2\tau$ , οπότε αυτός σταματά τη μετάδοσή του.

πιθανό να μην μπορεί να αναγνωριστεί.

Ένα σημείο που πρέπει να υπολογιστεί, αφού αφορά την απόδοση του δικτύου CSMA/CD, είναι η διάρκεια αποχής ενός κόμβου που ανίχνευσε μια σύγκρουση. Είναι φυσικό η διάρκεια αυτή να διαφέρει από κόμβο σε κόμβο, ώστε να μην επαναλαμβάνονται μεταδόσεις που καταλήγουν σε συνεχόμενες συγκρούσεις. Επίσης πρέπει να υπολογιστεί η πιθανότητα συμμετοχής κάποιου κόμβου σε επανειλημμένες συγκρούσεις και να λαμβάνονται μέτρα, ώστε η συμμετοχή του στον ανταγωνισμό να είναι ανάλογη του αριθμού των συγκρούσεων στις οποίες έχει εμπλακεί. Γι' αυτούς τους υπολογισμούς χρησιμοποιείται ο **δυναδικός αλγόριθμος εκθετικής αποχής** (binary exponential backoff algorithm), σύμφωνα με τον οποίο η διάρκεια αποχής μετριέται σε χρονοθυρίδες (σχήμα 8.7). Έτσι, μετά από μια σύγκρουση, ο χρόνος χωρίζεται σε χρονοθυρίδες διάρκειας  $2\tau$  (μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης σήματος με επιστροφή). Για παράδειγμα, στο καθορισμένο από το πρωτόκολλο 802.3 τοπικό δίκτυο των 10 Mbps, μέγιστης απόστασης 2,5 km και 4 επαναληπτών, η χρο-



νοθυρίδα έχει διάρκεια 51,2  $\mu\text{sec}$ . Μετά από  $k$  συγκρούσεις στις οποίες έχει εμπλακεί ένας κόμβος, ο αριθμός των χρονοθυρίδων που παραλείπει επιλέγεται τυχαία από το διάστημα 0 έως  $2^k - 1$ . Έτσι:

Αριθμός συγκρούσεων $k$	Διάστημα χρονοθυρίδων καθυστέρησης (0 έως $2^k - 1$ )	Πιθανότητα να ξανασυμβεί σύγκρουση
1	0, 1	0,5
2	0, 1, 2, 3	0,25
3	0, 1, 2...7	0,125
4	0, 1, 2... 15	0,0625
5	0, 1, 2...31	0,03125
6	0, 1, 2...63	0,015625
7	0, 1, 2... 127	0,0078125
8	0, 1, 2...255	0,0039062
9	0, 1, 2...511	0,0019531
10	0, 1, 2... 1023	0,0009765

Ο αλγόριθμος σε κάθε χρονοθυρίδα προσπαθεί να βρει τον κατάλληλο αριθμό των κόμβων που είναι πιθανό να συμμετέχουν στον ανταγωνισμό, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συγκρούσεις. Όμως παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες, οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Όταν ο αριθμός των κόμβων είναι μικρός και ο αριθμός των συγκρούσεων με τις οποίες επιβαρύνονται οι κόμβοι μεγάλος, τότε η πιθανότητα να ξανασυμβεί σύγκρουση των πακέτων τους είναι μικρή, όμως ο χρόνος επαναμετάδοσής τους είναι μεγάλος. Για παράδειγμα, 2 κόμβοι με 9 ή 10 συγκρούσεις ο καθένας είναι επόμενο να έχουν πολύ μικρή πιθανότητα να συγκρουστούν και πάλι, όμως η καθυστέρηση προκειμένου να επιχειρήσουν επαναμετάδοση είναι μεγάλη.
- ✓ Όταν ο αριθμός των κόμβων είναι μεγάλος και ο αριθμός των συγκρούσεων με τις οποίες επιβαρύνονται οι κόμβοι μικρός, τότε η πιθανότητα να ξανασυμβεί σύγκρουση των πακέτων τους είναι μεγάλη, όμως ο χρόνος επαναμετάδοσής τους είναι μικρός. Για παράδειγμα, 100 κόμβοι με 2 ή 3 συγκρούσεις ο καθένας είναι επόμενο να έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να συγκρουστούν και πάλι, όμως η καθυστέρηση προκειμένου να επιχειρήσουν επαναμετάδοση είναι μικρή.

## 8.4.2 Το πρότυπο IEEE 802.3 και το Ethernet

Το πρότυπο **IEEE 802.3** αντιπροσωπεύεται από το 1-επιμέμον *CSMA/CD*. Στο πρότυπο αυτό ο κόμβος που πρόκειται να μεταδώσει ανιχνεύει το κανάλι και, αν διαπιστώσει



ότι είναι απασχολημένο, περιμένει, μέχρι αυτό να περιέλθει σε κατάσταση αργίας. Διαφορετικά, αν διαπιστώσει ότι είναι σε αργία, μεταδίδει αμέσως. Αν δύο ή περισσότεροι κόμβοι αρχίσουν ταυτόχρονα τη μετάδοση των πακέτων τους σε ένα κανάλι που βρίσκεται σε κατάσταση αργίας, θα γίνει σύγκρουση. Μόλις οι κόμβοι διαπιστώσουν τη σύγκρουση στην οποία ενεπλάκησαν, σταματούν τη μετάδοση των πακέτων τους και περιμένουν κάποιο χρονικό διάστημα προκειμένου να επαναλάβουν την όλη διαδικασία.

Η δημιουργία του προτύπου *IEEE 802.3* στηρίχθηκε στα πρωτόκολλα *ALOHA* και *CSMA*, τα οποία εφαρμόστηκαν στη ραδιοεπικοινωνία. Αργότερα η εταιρεία *XEROX PARK* ενσωμάτωσε το *CSMA/CD*, προκειμένου να κατασκευάσει το σύστημα *2.94 Mbps CSMA/CD*, το οποίο υλοποίησε σε μια εγκατάσταση σύνδεσης 100 ηλεκτρονικών υπολογιστών με ένα καλώδιο 1 km. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε **Ethernet** και αποτέλεσε τη βάση επάνω στην οποία οι εταιρείες *DEC* και *INTEL* κατασκεύασαν το γνωστό πρότυπο *10 Mbps IEEE 802.3*. Σημειώνεται ότι το πρότυπο *IEEE 802.3* περιγράφει όλη την οικογένεια των προτύπων *1-επιμένον CSMA/CD* και συμπεριλαμβάνει το *Ethernet*, το οποίο είναι συγκεκριμένο προϊόν που υλοποιεί αρκετά καλά το πρότυπο *IEEE 802.3*.



Η αρχική έκδοση του προτύπου *IEEE 802.3* για εκπομπή βασικής ζώνης αναπτύχθηκε από την εταιρεία *XEROX* και χρησιμοποιήθηκε ως τμήμα του τοπικού δικτύου της, που έγινε γνωστό ως *Ethernet*. Η επέκταση του προτύπου για εκπομπή ευρείας ζώνης έγινε από την εταιρεία *MITRE* στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Από το 1980 και μετά πολλές εταιρείες παρουσίασαν διάφορα συστήματα βασισμένα στο πρότυπο αυτό.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αναγνώριση συγκρούσεων (*CSMA/CD*), *Ethernet*, δυαδικός αλγόριθμος εκθετικής αποχής.

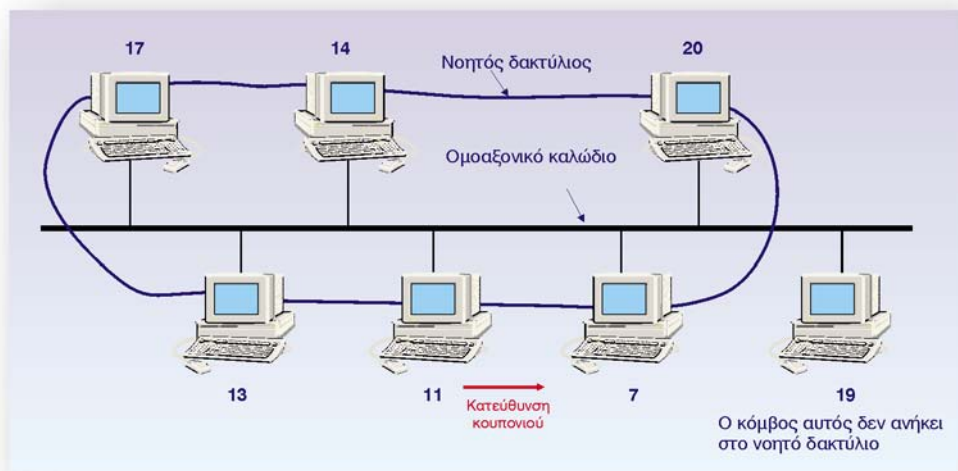




## Μάθημα 8.5: Πρότυπο IEEE 802.4 – Δίκτυα διαύλου με κουπόνι διέλευσης

### 8.5.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο **IEEE 802.4** υλοποιείται σε δίκτυα διαύλου που εφαρμόζουν ως μέθοδο πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης το **κουπόνι διέλευσης** (*token passing*). Η δημιουργία του οφείλεται τόσο στην ανασφάλεια των χρηστών για την ενδεχομένως μεγάλη καθυστέρηση στη μετάδοση των πακέτων τους όσο και στην αδυναμία αντιμετώπισης του προβλήματος των προτεραιοτήτων. Σε πρακτικό επίπεδο και τα δύο προβλήματα ήταν σημαντικά και δεν είχαν αντιμετωπιστεί από το πρότυπο *IEEE 802.3* που είχε αναπτυχθεί μέχρι τότε.



Σχήμα 8.9: Δίκτυο διαύλου με κουπόνι διέλευσης

### 8.5.2 Το πρότυπο IEEE 802.4

Το πρότυπο *IEEE 802.4* στηρίζεται σε τοπολογία διαύλου ή γενικότερα δέντρου, χρησιμοποιεί όμως νοητό δακτύλιο προκειμένου να δώσει δικαίωμα μετάδοσης (σχήμα 8.9). Κάθε κόμβος γνωρίζει τις διευθύνσεις των κόμβων με τους οποίους επικοινωνεί άμεσα (αριστερά - δεξιά) και οι οποίοι ενδέχεται να μη βρίσκονται δίπλα του. Όταν ενεργοποιηθεί για πρώτη φορά ο νοητός δακτύλιος, ο κόμβος με την υψηλότερη



αρίθμηση μπορεί να στείλει πρώτος το πακέτο του. Στη συνέχεια ο κόμβος που μετέδωσε δίνει το δικαίωμα μετάδοσης στον αμέσως επόμενο του, στέλνοντας ένα ειδικό πακέτο ελέγχου, το οποίο είναι γνωστό ως **κουπόνι διέλευσης** (*token passing*). Το κουπόνι περνά διαδοχικά, από κόμβο σε κόμβο, προς την ίδια πάντα κατεύθυνση και με λογική σειρά η οποία βασίζεται στη διεύθυνση κάθε κόμβου και μπορεί να μην αντιστοιχεί στη φυσική διάταξη των κόμβων του δικτύου.

Στο φυσικό επίπεδο τα δίκτυα αυτής της μορφής χρησιμοποιούν ομοαξονικό καλώδιο 75 Ohm, το οποίο χρησιμοποιείται στην τηλεόραση. Η καλωδίωση μπορεί να είναι μονή ή διπλή, ενώ επιτρέπονται τρία διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης του σήματος. Οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται είναι 1 Mbps, 5 Mbps και 10 Mbps. Πρέπει να σημειωθεί ότι το φυσικό επίπεδο είναι πλήρως ασύμβατο με το πρότυπο *IEEE 802.3* και αρκετά πιο σύνθετο.

Ένα δίκτυο διαύλου με κουπόνι διέλευσης διαθέτει τέσσερα επίπεδα όσον αφορά την προτεραιότητα. Κάθε κόμβος χωρίζεται εσωτερικά σε τέσσερα τμήματα, ένα για κάθε επίπεδο προτεραιότητας. Κάθε εισερχόμενη πληροφορία ελέγχεται ως προς το επίπεδο προτεραιότητάς της και δρομολογείται στο αντίστοιχο τμήμα. Επομένως κάθε τμήμα διαθέτει τη δικιά του ουρά αναμονής πακέτων που πρόκειται να μεταδοθούν. Το κουπόνι περνά διαδοχικά από το τμήμα που έχει τη μεγαλύτερη προτεραιότητα προς αυτό που έχει τη μικρότερη, μεταδίδοντας τα πακέτα που βρίσκει και αλλάζοντας τμήμα, αν έχει υπερβεί κάποιο χρονικό όριο. Στη συνέχεια το κουπόνι περνά στον επόμενο κόμβο σύμφωνα με τη διαδρομή που έχει καθοριστεί από το νοητό δακτύλιο.

Γενικά, τα πλεονεκτήματα της μεθόδου του κουπονιού διέλευσης είναι ότι αφ' ενός ο έλεγχος του δικτύου είναι κατανεμημένος και δε συμβαίνουν συγκρούσεις και αφ' ετέρου η χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να υπολογιστεί με αρκετή ακρίβεια. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία στα τοπικά δίκτυα τοπολογίας δακτυλίου, για τα οποία θα γίνει λόγος στο επόμενο μάθημα. Το δίκτυο διαύλου με κουπόνι διέλευσης δεν έτυχε μεγάλης αποδοχής λόγω της πολυπλοκότητάς του, όμως είναι διαθέσιμο στο εμπόριο και υλοποιήθηκε σε αρκετά βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού.



Το **κουπόνι διέλευσης** είναι ένα πακέτο ελέγχου τριών χαρακτήρων και περιέχει πληροφορίες που αφορούν το δίκτυο. Αποτελείται από μία κεφαλή, ένα πεδίο δεδομένων και μία ουρά. Ο κόμβος που κατέχει το ειδικό αυτό κουπόνι έχει το δικαίωμα να στείλει ένα μήνυμα καθορισμένου μεγέθους.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Δίκτυα διαύλου με κουπόνι διέλευσης, πρότυπο *IEEE 802.4*, κουπόνι διέλευσης.



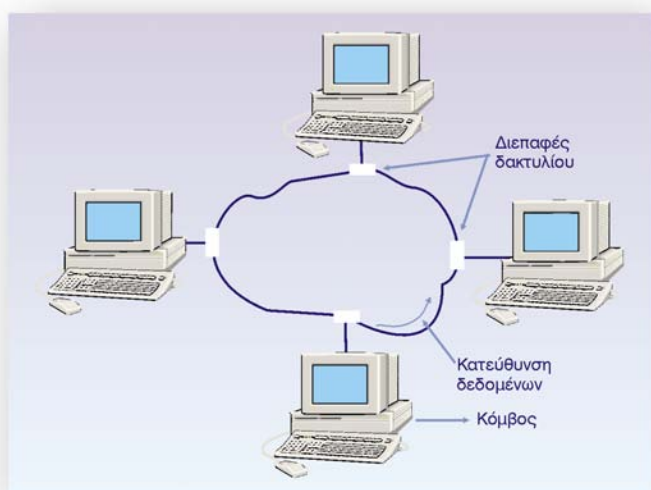


## Μάθημα 8.6: Πρότυπο IEEE 802.5 - Δίκτυα δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης

### 8.6.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο **IEEE 802.5** υλοποιείται σε δίκτυα δακτυλίου που εφαρμόζουν ως μέθοδο πρόσβασης στο δίκτυο το κουπόνι διέλευσης. Η μέθοδος παρουσιάστηκε από την εταιρεία IBM, η οποία υποστήριξε το δακτύλιο ως το καταλληλότερο σχήμα για τα τοπικά δίκτυα. Το *IEEE* συμπεριέλαβε το **δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης** στο πρότυπο *802.5*. Γενικότερα, οι δακτύλιοι έκαναν την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και χρησιμοποιήθηκαν τόσο στα τοπικά όσο και στα δίκτυα ευρείας περιοχής. Πρόκειται για συνδέσεις σημείου προς σημείο που συμβαίνει να σχηματίζουν δακτύλιο. Το φυσικό μέσο σύνδεσης των κόμβων μπορεί να είναι καλώδιο *UTP*, ομοαξονικό καλώδιο ή οπτική ίνα. Η μέθοδος πρόσβασης στο μέσο είναι η ίδια μ' αυτήν που εφαρμόζεται στο πρότυπο *IEEE 802.4*, όμως η υλοποίησή της διαφέρει. Το πρότυπο *IEEE 802.5* διαφέρει από τα πρότυπα *IEEE 802.3*, *CSMA/CD* και *Ethernet* ως προς το ότι δεν παρακολουθείται συνεχώς το μέσο μετάδοσης, αφού στο πρότυπο αυτό δε συμβαίνουν συγκρούσεις.

### 8.6.2 Το δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης



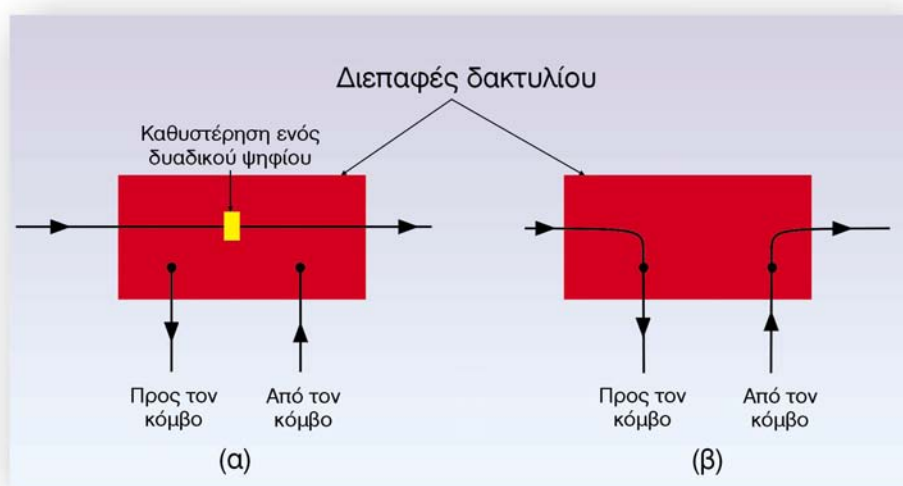
Σχήμα 8.10: Δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης

Στο σχήμα 8.10 φαίνονται οι διεπαφές ενός δικτύου τοπολογίας δακτυλίου. Η μέθοδος πρόσβασης στο δίκτυο αυτό απαιτεί την ύπαρξη ενός κουπονιού, το οποίο, όταν οι κόμβοι δε μεταδίδουν πακέτα, περιφέρεται γύρω από το δακτύλιο. Όταν κάποιος κόμβος πρόκειται να μεταδώσει ένα πακέτο, πρέπει να σταματήσει την περιφορά του κουπονιού και να το αποσύρει από το δακτύλιο για όσο χρόνο διαρκεί η μετάδοσή του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη στιγμιαία μετατροπή του κουπονιού από πακέτο ελέγχου σε πακέτο δεδομένων μέσω της αντιστροφής ενός δυαδικού ψηφίου από τους τρεις χαρακτήρες που διαθέτει. Σημειώνεται ότι, επειδή υπάρχει ένα μόνο κουπόνι στο δακτύλιο, ένας μόνο κόμβος μπορεί να μεταδώσει πακέτο σε δεδομένη στιγμή, επιλύοντας έτσι το πρόβλημα των συγκρούσεων με τον ίδιο τρόπο που αντιμετωπίστηκε από το πρότυπο *IEEE 802.4*.





Κάθε διεπαφή του δακτυλίου λειτουργεί σε δύο καταστάσεις, στην **κατάσταση ακρόασης** (σχήμα 8.11α), κατά την οποία τα εισερχόμενα δυαδικά ψηφία αντιγράφονται στην έξοδο, και στην **κατάσταση μετάδοσης** (σχήμα 8.11β), η οποία μπορεί να υπάρξει μόνο όταν το κουπόνι σταματήσει την περιφορά του. Στην κατάσταση μετάδοσης η διεπαφή χωρίζει τη σύνδεση σε είσοδο και έξοδο, βάζοντας τα δεδομένα της στο δακτύλιο. Κάθε διεπαφή διαθέτει συνήθως αποταμιευτή πακέτων, προκειμένου η καθυστέρηση που προκαλείται από την εναλλαγή των δύο καταστάσεων να μη γίνεται αντιληπτή στους κόμβους.



Σχήμα 8.11: (α) Κατάσταση ακρόασης, (β) κατάσταση μετάδοσης

Όταν ο κόμβος αποστέλλει και το τελευταίο δυαδικό ψηφίο του τελευταίου πακέτου του, αναδημιουργεί το κουπόνι, ενώ, όταν λάβει το αντίγραφο του πακέτου που έστειλε, η διεπαφή επιστρέφει σε κατάσταση ακρόασης. Σημειώνεται ότι δεν τίθεται όριο μεγέθους των πακέτων και ότι ο αποστολέας είναι υπεύθυνος για την απόσυρση των δυαδικών ψηφίων που έστειλε, όταν αυτά κάνοντας το γύρο του δακτυλίου επιστρέψουν και πάλι σ' αυτόν. Συνήθως ο αποστολέας συγκρίνει τα δεδομένα που έστειλε μ' αυτά που έλαβε για λόγους αξιοπιστίας.

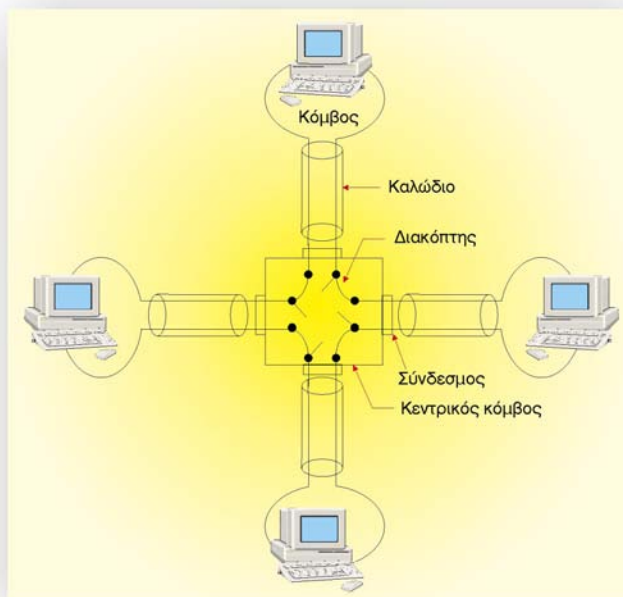
### 8.6.3 Το πρότυπο IEEE 802.5

Το πρότυπο *IEEE 802.5* περιγράφει τα δίκτυα δακτυλίου που χρησιμοποιούν ως μέθοδο πρόσβασης στο μέσο το κουπόνι διέλευσης, η οποία εξετάστηκε γενικά στην προηγούμενη παράγραφο. Το φυσικό μέσο με το οποίο υλοποιείται είναι το θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*STP*). Οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται είναι 1 και 4 Mbps, ενώ αργότερα η IBM, σε νέα έκδοση, βελτίωσε το ρυθμό σε 16



Mbps. Το σχήμα κωδικοποίησης που εφαρμόζεται είναι η διαφορική κατά *Manchester* κωδικοποίηση (Μάθημα 1.6).

Το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζουν τα δίκτυα τοπολογίας απλού δακτυλίου είναι ότι σε ενδεχόμενη βλάβη του καλωδιακού μέσου μετάδοσης το δίκτυο καταρρέει. Το



Σχήμα 8.12: Τέσσερις κόμβοι συνδεδεμένοι μέσω ενός κεντρικού κόμβου. Η φυσική σύνδεση είναι τοπολογίας άστρου, όμως η νοητή σύνδεση είναι τοπολογίας δακτυλίου.

πρόβλημα αυτό αντιμετώπισε με μεγάλη επιτυχία το πρότυπο *IEEE 802.5*, με την αποδοχή της τοπολογίας άστρου, η οποία όμως δεν ανήκει στις προδιαγραφές του. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.12, η φυσική σύνδεση του κεντρικού κόμβου με όλους τους κόμβους του δικτύου γίνεται μέσω ενός καλωδίου που περιλαμβάνει τουλάχιστον δύο συνεχόμενα ζεύγη, με κατεύθυνση από και προς τον κόμβο. Παρ' όλα αυτά η νοητή τοπολογία του δικτύου παραμένει δακτύλιος. Μέσα στον κεντρικό κόμβο υπάρχουν διακόπτες που διευκολύνουν την κυκλοφορία σε περίπτωση βλάβης κάποιου τμήματος του καλωδίου και θέτουν εκτός λειτουργίας τον κόμβο που υπέστη βλάβη, ώστε το δίκτυο να μην καταρρεύσει.

Το σχήμα αυτό έχει αποδειχθεί στην πράξη αρκετά χρήσιμο και ευέλικτο, ιδιαίτερα στην περίπτωση ομάδων κόμβων απομακρυσμένων μεταξύ τους, αφού η σύνδεσή τους μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση πολλών κέντρων τοπολογίας άστρου.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης, πρότυπο *IEEE 802.5* (*Token Passing Ring*), κατάσταση ακρόασης, κατάσταση μετάδοσης.



## Μάθημα 8.7: Πρότυπο N-ISDN

### 8.7.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο **N-ISDN** (*Narrowband – Integrated Service Digital Network*) υπήρξε αποτέλεσμα μιας μεγάλης προσπάθειας προκειμένου να αντικατασταθεί το αναλογικό τηλεφωνικό σύστημα με ψηφιακό, το οποίο είναι κατάλληλο τόσο για μετάδοση φωνής όσο και για μετάδοση άλλων μορφών πληροφορίας. Η παγκόσμια συμφωνία όσον αφορά την ανάπτυξη μιας τυποποιημένης διεπαφής για το βασικό ρυθμό πρόσβασης (βλ. 8.7.2) απέβλεπε στη μεγάλη ζήτηση των συσκευών *ISDN*, η παραγωγή των οποίων θα προκαλούσε πτώση της τιμής των κυκλωμάτων *ISDN*. Όμως η τυποποίηση αυτή άργησε –σε αντίθεση με την τεχνολογία η οποία κινήθηκε πολύ γρήγορα– με αποτέλεσμα, όταν κυκλοφόρησε στην αγορά, να αποδειχθεί άχρηστη.

Για παράδειγμα, η μεγαλύτερη ζήτηση για νέες υπηρεσίες όσον αφορά την οικιακή χρήση είναι φυσικά το κατ' απαίτηση βίντεο (*VoV: Video on Demand*), το οποίο όμως δεν μπορεί να ικανοποιηθεί με τόσο χαμηλό ρυθμό μετάδοσης πληροφοριών. Το ίδιο συμβαίνει αναλογικά και στον επιχειρηματικό τομέα με τη ζήτηση χωρητικότητας, με αποτέλεσμα τα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα που παρέχουν ρυθμούς μετάδοσης έως 10 Mbps να αντικαθίστανται με τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων των 100 Mbps (Ενότητα Δ).

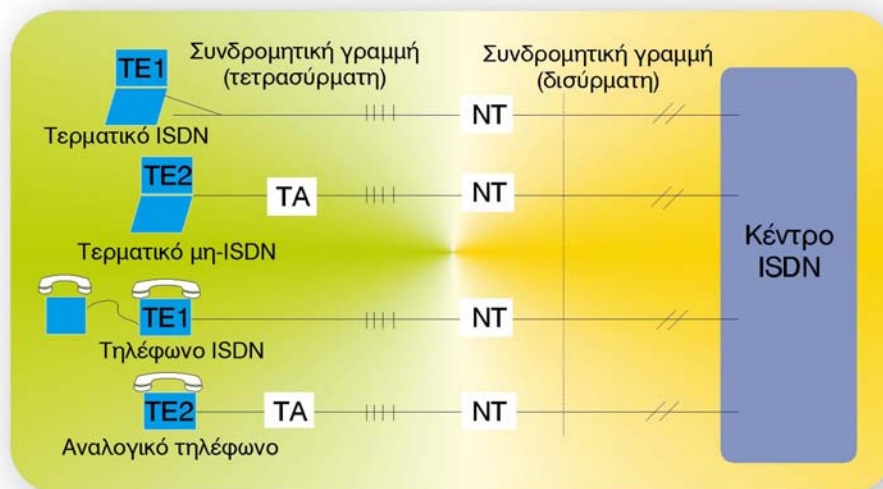
Σήμερα ο μόνος λόγος για τον οποίο προσανατολίζεται κανείς σ' αυτή την τεχνολογία είναι η πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Χρησιμοποιώντας την ποικιλία προσαρμοστών *ISDN* που υπάρχει στο εμπόριο είναι δυνατόν να συνδυαστούν τα  $2B+D$  κανάλια σε ένα απλό ψηφιακό κανάλι, με αποτέλεσμα οι χρήστες του Διαδικτύου που χρησιμοποιούν διαποδιαμορφωτή σε αναλογικές τηλεφωνικές γραμμές με ρυθμούς μετάδοσης 28,8 Kbps να αντικαθιστούν τα αναλογικά κυκλώματα με πλήρως ψηφιακές γραμμές των 144 Kbps. Φυσικά η περίπτωση του *B-ISDN* (*Broadband ISDN*) στα 155 Mbps δεν είναι ίδια (Ενότητα Ε).

### 8.7.2 Λειτουργία διατάξεων N-ISDN

Για να αντιληφθούμε τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι συσκευές *ISDN*, αλλά και για να κατανοήσουμε τις δυνατότητές τους, είναι απαραίτητο να ομαδοποιήσουμε τις λειτουργίες τους. Γενικά, οι τερματικές συσκευές του χρήστη, ανάλογα με το αν είναι ή όχι συμβατές με το *ISDN*, διακρίνονται σε **τερματική διάταξη 1** (*TE1: Terminal Equipment 1*) και **τερματική διάταξη 2** (*TE2: Terminal Equipment 2*). Η ομάδα λειτουργιών *TE1* μπορεί να εξυπηρετείται από μία ή περισσότερες συσκευές *TE1*. Τα ελάχιστα που πρέπει να διαθέτει μια συσκευή *TE1* είναι ένα τηλέφωνο, δυνατότητα επιλογής κλήσης αριθμού, οθόνη εμφάνισης αριθμών και μηνυμάτων, καθώς και πληκτρολόγιο για αποστολή μηνυμάτων. Τέτοιες συσκευές, γνωστές ως *ISDN TE1*, είναι



για παράδειγμα ένα ψηφιακό τηλέφωνο, ένας προσωπικός υπολογιστής, ένα τερματικό videotex κτλ. Είναι αυτονόητο ότι οι συσκευές *ISDN TE1* αφορούν τη διεπαφή του δικτύου *ISDN* με το χρήστη (σχήμα 8.1).



Οι κύριες λειτουργίες του τερματικού προσαρμοστή είναι η μετατροπή του πρωτοκόλλου σηματοδότησης και των δεδομένων. Επίσης δίνει στο *TE2* τη δυνατότητα επιλογής αριθμού και οθόνης.

*Σχήμα 8.1: Σύνδεση ISDN και μη-ISDN συσκευών (TE1, TE2) σε δίκτυο ISDN. Η συσκευή TE1 έχει συμβατή διεπαφή με τη συσκευή NT του τυποποιημένου ISDN και επομένως είναι συμβατή με το δίκτυο ISDN. Αντίθετα, οι συσκευές TE2 δε διαθέτουν συμβατή διεπαφή με τη συσκευή NT του τυποποιημένου ISDN, με αποτέλεσμα να απαιτείται τερματικός, προσαρμοστής (TA) προκειμένου να επιτευχθεί η σύνδεση ISDN.*

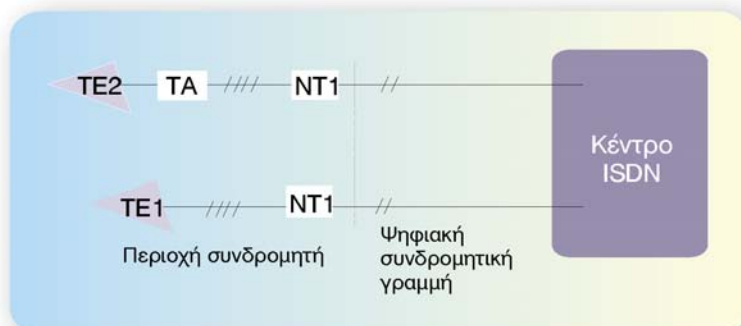
Η ομάδα λειτουργιών *TE2* δεν είναι συμβατή με το *ISDN*, αφού οι αντίστοιχες συσκευές *TE2* έχουν διεπαφές με διαφορετικές συστάσεις από αυτές που ορίζει το *ISDN*. Πρόκειται δηλαδή για *μη-ISDN* συσκευές, με επιθυμητές όμως λειτουργίες, οι οποίες μπορούν να επιτελεστούν από το δίκτυο *ISDN* μόνο μέσω ενός **τερματικού προσαρμοστή** (*TA: Terminal Adaptor*), όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.1. Οι λειτουργίες του τερματικού προσαρμοστή (*TA*) συμπληρώνουν τις μη συμβατές με το *ISDN* διεπαφές των συσκευών *TE2* τόσο ως προς το υλικό όσο και ως προς το λογισμικό, ώστε αυτές να μπορούν να επικοινωνήσουν με το δίκτυο *ISDN*. Τέτοιες λειτουργίες είναι:

- ✓ Η μετατροπή των σημάτων ελέγχου ενός τερματικού *TE2* σε σήματα πρωτοκόλλου των μηνυμάτων ελέγχου του *ISDN* στο κανάλι σηματοδότησης.
- ✓ Η προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης και των δεδομένων ενός τερματικού *TE2* σ' αυτά των καναλιών επικοινωνίας του *ISDN*.

Τόσο οι τερματικές διατάξεις *TE1* και *TE2* όσο και η **τερματική μονάδα δικτύου** (*NT: Network Terminating device*), η οποία χειρίζεται τις λειτουργίες από πλευράς δικτύου, τοποθετούνται στην περιοχή του συνδρομητή (σχήμα 8.2).

Οι λειτουργίες της μονάδας *NT1* είναι οι ακόλουθες:

- ✓ σύνδεση της γραμμής (η *NT1* δεν κάνει επιλογή),
- ✓ εποπτεία και συντήρηση της γραμμής,

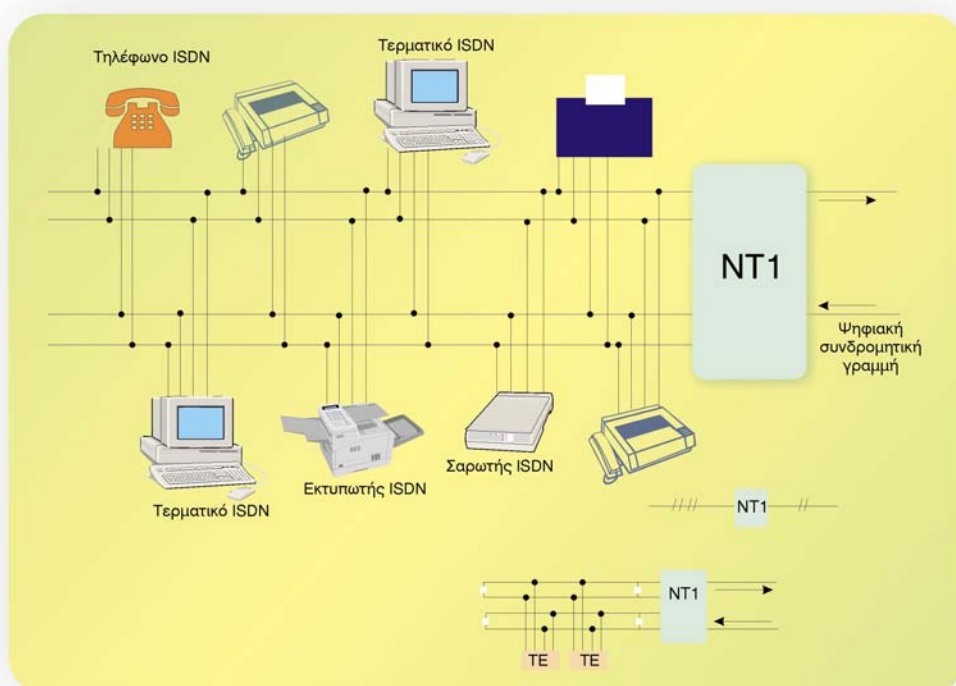


Σχήμα 8.2: Ο φορέας τοποθετεί τη συσκευή NT1 στο χώρο του συνδρομητή (τετρασύρματη γραμμή) και συνδέει τη μονάδα NT1 με το κέντρο ISDN μέσω του δισύρματου (UTP) καλωδίου του τηλεφωνικού δικτύου.

- ✓ χρονισμός,
- ✓ πολυπλεξία,
- ✓ προσαρμογή τερματικού,
- ✓ διαχείριση συγκρούσεων.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.3, στον ονομαζόμενο **παθητικό δίαυλο** (*passive bus*) η μονάδα NT1 μπορεί να συνδέσει έως και οκτώ τερματικές διατάξεις TE1. Ο δίαυλος ονομάζεται παθητικός, επειδή δεν είναι δυνατή η απευθείας επικοινωνία των τερματικών που συνδέονται σ' αυτόν.

Σε περιπτώσεις μεγάλου φόρτου το σχήμα με τη μονάδα NT1 είναι ανεπαρκές, αφού το πλήθος των ταυτόχρονων συνομιλιών που πρέπει να χειριστεί ο δίαυλος είναι πολύ μεγάλο. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η μονάδα NT2, που μπορεί να είναι ένα PBX (Private Branch Exchange) ή ένα κέντρο ISDN κάποιας εταιρείας. Η NT2 χρειάζεται για τη συμβατότητά της με τη γραμμή μια συσκευή NT1. Αυτή η NT1 διαφέρει από την προηγούμενη NT1, επειδή συνδέεται με το κέντρο ISDN με ψηφιακό σύνδεσμο ανώτερης τάξης, που περιλαμβάνει περισσότερες από μία τετρασύρματες γραμμές, και



Σχήμα 8.3: Ο παθητικός δίαυλος συνδέει στη μονάδα NT1 έως και οκτώ TE1, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση του διαύλου στο τοπικό δίκτυο. Στον παθητικό δίαυλο δεν είναι δυνατή η απευθείας επικοινωνία μεταξύ των τερματικών που συνδέονται σ' αυτόν.

Μπορούμε όμως να έχουμε ταυτόχρονα δύο μόνο κανάλια επικοινωνίας και ένα σηματοδότηση.



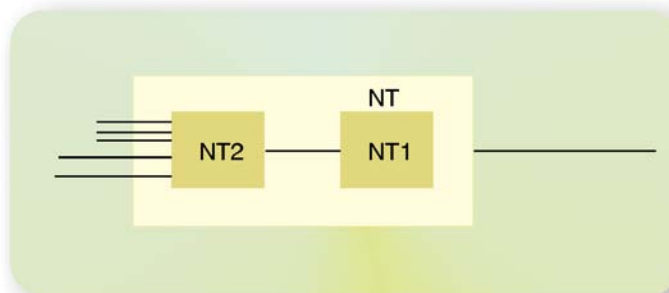


Σχήμα 8.4: Σύνδεση συνδρομητών ISDN μεγάλου φόρτου. Η χρήση της συσκευής NT2, που μπορεί να είναι ένα ψηφιακό κέντρο PBX ή ISDN στις εγκαταστάσεις του πελάτη, προϋποθέτει την εγκατάσταση από την πλευρά του φορέα της συσκευής NT1. Η συσκευή NT1 συνδέεται με το κέντρο ISDN του φορέα με ψηφιακό σύνδεσμο ανώτερης τάξης, που περιλαμβάνει πολλές τετρασύρματες ψηφιακές γραμμές.

όχι με μία μόνο δισύρματη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (βλ. σχήμα 8.4 σε συνδυασμό με σχήμα 8.2). Αυτό συμβαίνει, γιατί στην προκειμένη περίπτωση χρειάζονται περισσότερα από δύο κανάλια επικοινωνίας και ένα σηματοδοσίας ( $2B+D$ ), οπότε η συσκευή NT1 απαιτεί σύστημα πολλών καναλιών με τετρασύρματη γραμμή ή πολλές τετρασύρματες γραμμές. Σημειώνεται ότι η NT2 και η NT1 μπορεί να αποτελούν μια ενιαία μονάδα, τη NT (σχήμα 8.5).

Οι κύριες λειτουργίες μιας μονάδας NT2 είναι οι ακόλουθες:

- ✓ διαχείριση και πολυπλεξία των πληροφοριών σηματοδοσίας,



Σχήμα 8.5: Ενοποιημένη διάταξη NT

- ✓ διασύνδεση των δεδομένων,
- ✓ συγκέντρωση κίνησης,
- ✓ συντήρηση και εποπτεία της φυσικής σύνδεσης.



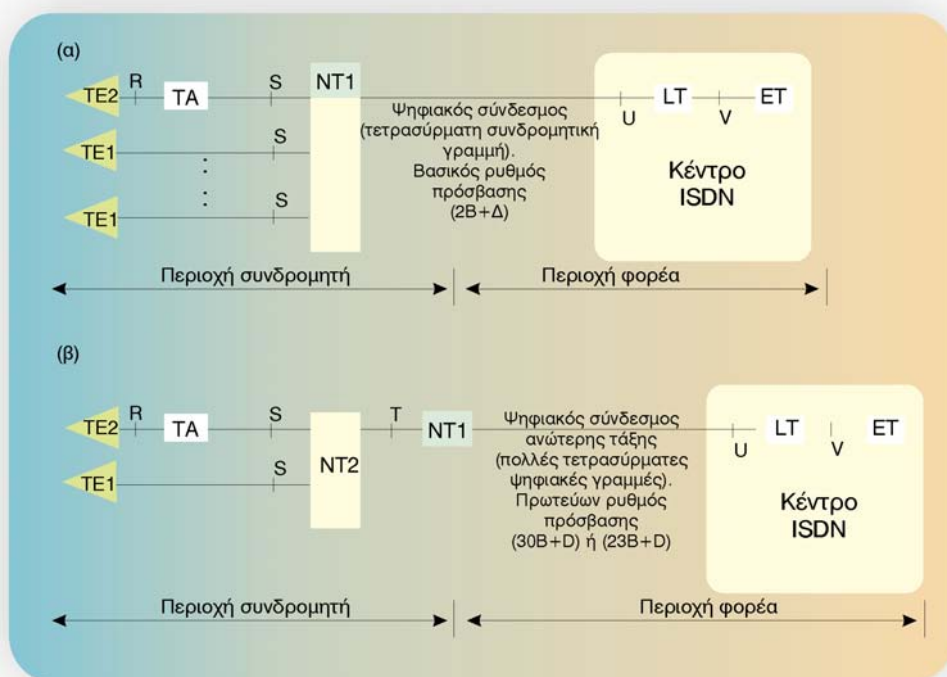
Ενοποιημένες διατάξεις NT μπορούν να είναι οι μονάδες IMUX και ISPBX. Η IMUX συνδέει ομάδες απομακρυσμένων χρηστών ISDN με κανάλια επικοινωνίας συνδρομητών που έχουν σταθερές θέσεις στον ψηφιακό σύνδεσμο ανώτερης τάξης προς το κέντρο ISDN. Η ISPBX είναι ένα μικρό συνδρομητικό κέντρο ISDN με μικρότερες δυνατότητες διεκπεραίωσης κλήσεων, διαθέτει όμως επιλογικές λειτουργίες, συγκέντρωση κίνησης κτλ.



### 8.7.3 Σχηματισμοί και σημεία αναφοράς

Όπως έγινε φανερό από τα παραπάνω, οι ομάδες λειτουργιών μπορούν να συνδυαστούν με διάφορους τρόπους. Η CCITT όρισε δύο **σχηματισμούς αναφοράς** για τη χαμηλή και την υψηλή κυκλοφορία και τέσσερα **σημεία αναφοράς**, τα  $R$ ,  $S$ ,  $T$  και  $U$ , προκειμένου να διακρίνει τις συνδέσεις μεταξύ των συσκευών  $TE1$ ,  $TE2$ ,  $NT1$  και  $NT2$ . Στο σχήμα 8.6 φαίνονται δύο σχηματισμοί αναφοράς χαμηλής και υψηλής κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται σήμερα και έχουν κατά το μεγαλύτερο μέρος τους τυποποιηθεί από τη CCITT. Σημειώνεται ότι:

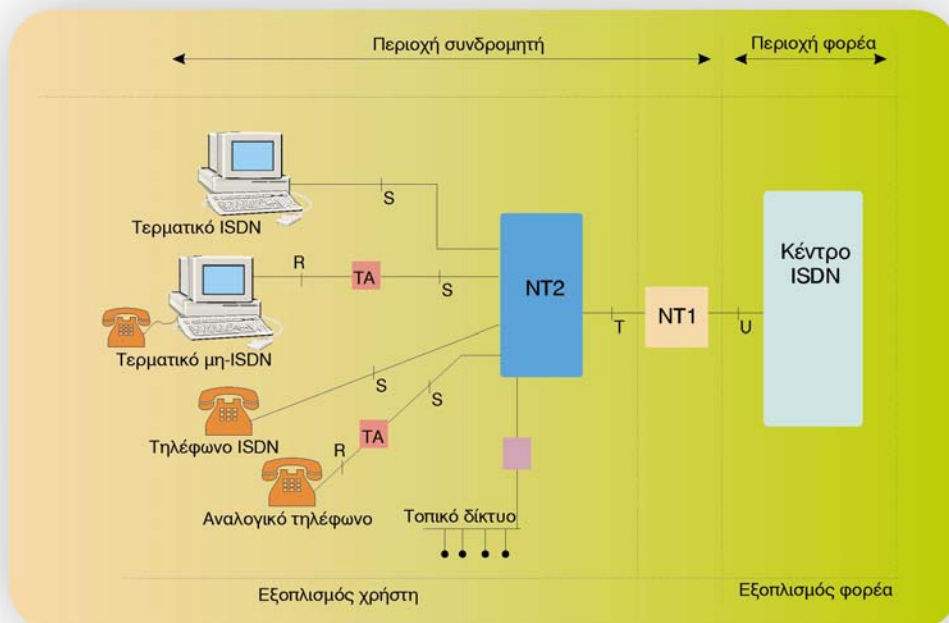
- ✓ Το σημείο αναφοράς  $ST$  καθορίζει τη διεπαφή ενός τερματικού  $ISDN$  ( $TE1$ ) με τη συσκευή  $NT1$ .
- ✓ Το σημείο αναφοράς  $R$  καθορίζει τη διεπαφή ενός τερματικού  $\mu$ - $ISDN$  ( $TE2$ ) με τον τερματικό προσαρμοστή  $TA$ .
- ✓ Το σημείο αναφοράς  $U$  καθορίζει τη διεπαφή του κέντρου  $ISDN$  του φορέα με τη συσκευή  $NT1$ .
- ✓ Το σημείο αναφοράς  $T$  καθορίζει τη διεπαφή ανάμεσα στις συσκευές  $NT1$  και  $NT2$  διαχωρίζοντας τις λειτουργίες τους. Στις ενοποιημένες συσκευές  $NT$  το σημείο  $T$  δεν υπάρχει.
- ✓ Τα σημεία αναφοράς  $R$  και  $S$  ανήκουν στην περιοχή του συνδρομητή, ενώ τα σημεία αναφοράς  $T$  και  $U$  ανήκουν στην περιοχή του φορέα. Στο κέντρο  $ISDN$  του φορέα ανήκουν επίσης και οι ομάδες λειτουργιών  $LT$  (Line Termination) και  $ET$  (Exchange Termination), καθώς και το σημείο αναφοράς  $V$  που καθορίζει τη διεπαφή τους. Η  $LT$  επιτελεί όλες τις λειτουργίες τερματισμού του ψηφιακού συνδέσμου επικοινωνίας, ενώ η  $ET$  επιτελεί όλες τις λειτουργίες διαχείρισης και διεκπεραίωσης της επικοινωνίας προς τον ψηφιακό σύνδεσμο. Τόσο οι λειτουργίες  $LT$  και  $ET$  όσο και το σημείο αναφοράς  $V$  δεν έχουν προτυποποιηθεί από τη CCITT. Στο σχήμα 8.7 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα σχηματισμού αναφοράς υψηλής κυκλοφορίας κάποιας εταιρείας, καθώς και τα σημεία αναφοράς.



Σχήμα 8.6: Σχηματισμοί και σημεία αναφοράς κατά CCITT για χαμηλή κυκλοφορία (α) και για υψηλή κυκλοφορία (β)



Σήμερα υπάρχουν στο εμπόριο αρκετές διεπαφές μεταξύ ενός τερματικού  $\mu$ - $ISDN$  ( $TE2$ ) και ενός τερματικού προσαρμοστή ( $TA$ ) (σημείο αναφοράς  $R$ ).



Σχήμα 8.7: Παράδειγμα σχηματισμού αναφοράς υψηλής κυκλοφορίας

## 8.7.4 Κατηγορίες ρυθμού πρόσβασης

Σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί, τα κανάλια πρόσβασης των χρηστών μέσω της *NT* συγκεντρώνονται στον ψηφιακό σύνδεσμο επικοινωνίας προκειμένου να κατευθυνθούν στο κέντρο *ISDN* του φορέα (σχήμα 8.8).

Είναι επίσης γνωστό (Μάθημα 4.2) ότι ο ψηφιακός σύνδεσμος επικοινωνίας με το κέντρο *ISDN* μπορεί να συμπεριλάβει πολλές κατηγορίες καναλιών. Όμως για την



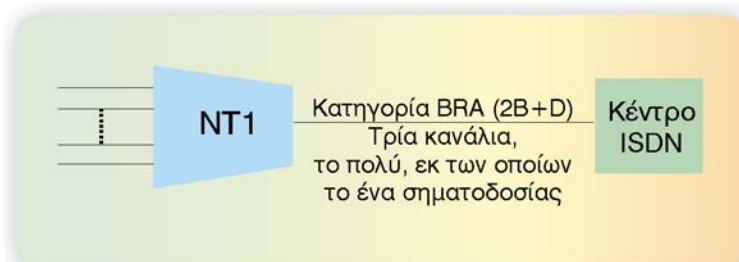
Σχήμα 8.8: Πρόσβαση χρηστών σε κέντρο *ISDN*

περίπτωση του *ISDN* η *CCITT* έχει τυποποιήσει δύο κατηγορίες πρόσβασης, που αντιστοιχούν στους τυποποιημένους σχηματισμούς αναφοράς του σχήματος 8.6. Οι κατηγορίες αυτές διακρίνονται μεταξύ τους ανάλογα με την κυκλοφορία που καθορίζεται από το ρυθμό πρόσβασης των χρηστών στα κανάλια πρόσβασης και είναι οι ακόλουθες:



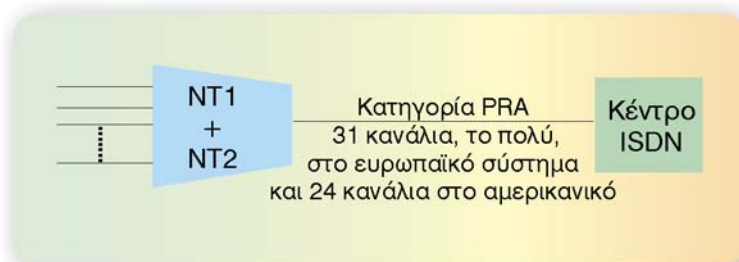
- ✓ κατηγορία βασικού ρυθμού πρόσβασης (*BRA: Basic Route Access*),
- ✓ κατηγορία πρωτεύοντος ρυθμού πρόσβασης (*PRA: Primary Route Access*).

Η κατηγορία του βασικού ρυθμού πρόσβασης αφορά τη χαμηλή κυκλοφορία (σχήμα 8.6α), στην οποία ο ψηφιακός σύνδεσμος επικοινωνίας είναι η δισύρματη συνδρομητική γραμμή, και περιλαμβάνει πάντοτε ένα κανάλι σηματοδότησης και δύο, το πολύ, κανάλια επικοινωνίας (σχήμα 8.10).



Σχήμα 8.10: Κατηγορία βασικού ρυθμού πρόσβασης. Ο ψηφιακός σύνδεσμος επικοινωνίας μπορεί να περιλαμβάνει ένα κανάλι σηματοδότησης, ένα κανάλι σηματοδότησης και ένα κανάλι επικοινωνίας ή ένα κανάλι σηματοδότησης και δύο κανάλια επικοινωνίας.

Η κατηγορία του πρωτεύοντος ρυθμού πρόσβασης διεκπεραιώνει μεγαλύτερη κυκλοφορία από την κατηγορία του βασικού ρυθμού πρόσβασης και αντιστοιχεί στο δεύτερο σχηματισμό τυποποίησης κατά *CCITT* (σχήμα 8.6β). Στο ευρωπαϊκό σύστημα η κατηγορία του πρωτεύοντος ρυθμού πρόσβασης διαθέτει ένα κανάλι σηματοδότησης και τριάντα κανάλια επικοινωνίας, καθώς και ένα κανάλι για συντήρηση. Σ' αυτή την περίπτωση λέμε ότι η *PRA* χρησιμοποιεί το σύστημα *PCM* πρώτης τάξης των 2.048 Kbps (=32x64 Kbps). Στο αμερικανικό σύστημα των 1.544 Kbps η κατηγορία του πρωτεύοντος ρυθμού πρόσβασης διαθέτει ένα κανάλι σηματοδότησης και είκοσι τρία κανάλια επικοινωνίας (24x64 Kbps). Και οι δύο αυτές περιπτώσεις φαίνονται στο σχήμα 8.11.



Σχήμα 8.11: Κατηγορία πρωτεύοντος ρυθμού πρόσβασης

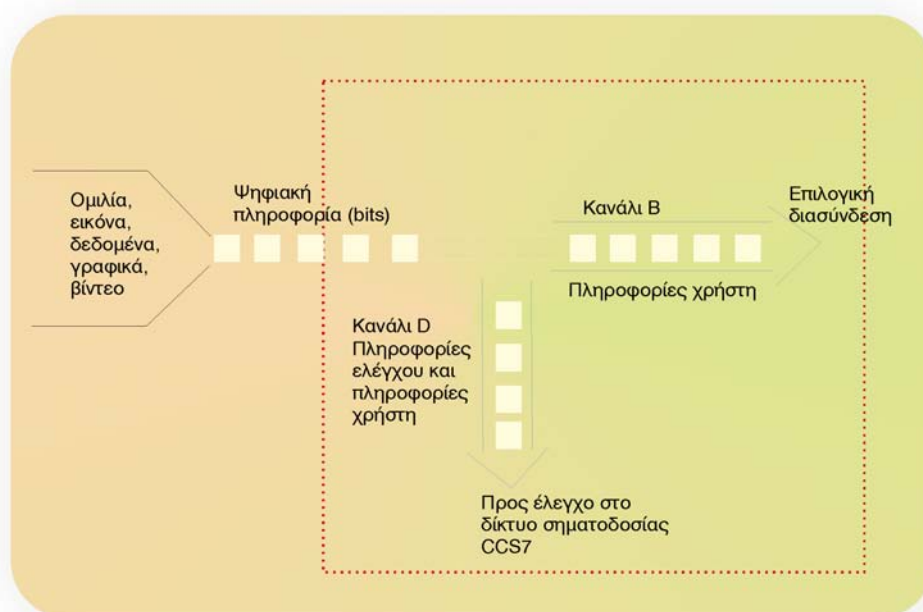
Η *CCITT* ονομάζει τα κανάλια επικοινωνίας κανάλια *B* και τα κανάλια σηματοδότησης κανάλια *D*. Επομένως, αν διακρίνουμε τις πληροφορίες που διεκπεραιώνονται σε ένα κέντρο *ISDN* σε πληροφορίες χρήστη και σε πληροφορίες ελέγχου, τότε από το



Μια συσκευή *IMUX* συνδέεται με το κέντρο *ISDN* του φορέα χρησιμοποιώντας πάντοτε μία μόνο κατηγορία πρωτεύοντος ρυθμού μετάδοσης. Μια *ISPBX* μονάδα μπορεί να χρησιμοποιήσει δύο κατηγορίες πρωτεύοντος ρυθμού μετάδοσης, οι οποίες έχουν κοινό κανάλι σηματοδότησης, με αποτέλεσμα μία από τις δύο *PRA* να έχει 31 κανάλια επικοινωνίας. Ανάλογα, στο αμερικανικό σύστημα θα υπάρχουν 24 κανάλια επικοινωνίας, αν χρησιμοποιηθούν περισσότερες *PRA*.



κανάλι *B* μεταφέρονται πάντα οι πληροφορίες που ανταλλάσσουν ο χρήστης και το κέντρο *ISDN*. Ανάλογα, το κανάλι *D* μεταφέρει πληροφορίες σηματοδοσίας που ανταλλάσσουν η τερματική διάταξη και το κέντρο *ISDN* και έχουν σχέση με τον έλεγχο της σύνδεσης μεταγωγής κυκλώματος του καναλιού *D* (σχήμα 8.12).



Σχήμα 8.12: Διάκριση ψηφιακών πληροφοριών σε πληροφορίες χρήστη (κανάλι *B*) και πληροφορίες ελέγχου (κανάλι *D*). Το κανάλι *B* συνεχίζει μέσω του κέντρου *ISDN* προς άλλη τερματική διάταξη του ίδιου ή άλλου κέντρου *ISDN* με σύνδεση των δύο κέντρων *ISDN*. Σε περίπτωση σηματοδότησης μεταξύ των κέντρων *ISDN* χρησιμοποιείται το δίκτυο σηματοδοσίας *CCS7*.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρότυπο *N-ISDN*, τερματική διάταξη 1, τερματική διάταξη 2, τερματικός προσαρμοστής, μονάδα τερματισμού του δικτύου, παθητικός δίαυλος, σχηματισμός αναφοράς, σημεία αναφοράς.





## Μάθημα 9.1: Δικτυακό λειτουργικό σύστημα

### 9.1.1 Εισαγωγή

Το περιβάλλον ενός τοπικού δικτύου αποτελείται από το **λειτουργικό σύστημα δικτύου** (NOS: *Network Operating System*) και από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που καθορίζουν τον τρόπο πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης. Το λειτουργικό σύστημα δικτύου είναι ένα λογισμικό που επιτρέπει στο χρήστη να διαχειριστεί τους πόρους του δικτύου. Τρεις είναι οι στρατηγικές διαχείρισης των πόρων ενός δικτύου, οι οποίες αναλύονται λεπτομερέστερα στη συνέχεια.

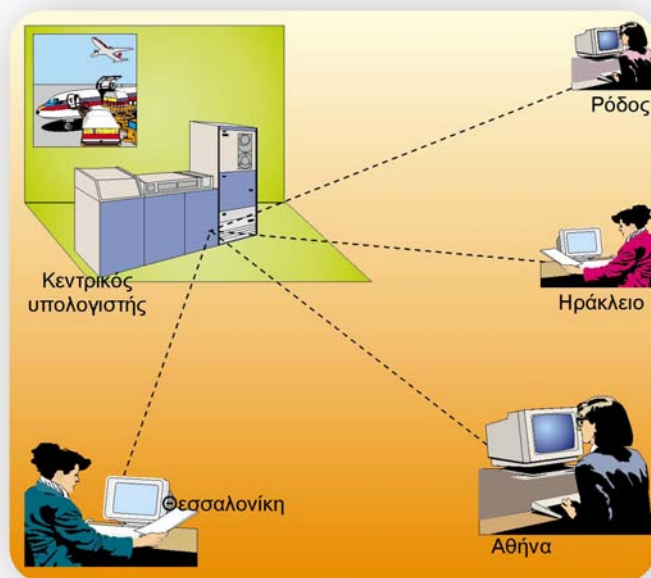
### 9.1.2 Δικτυακό σύστημα τερματικών

Το **δικτυακό σύστημα τερματικών**, το οποίο είναι γνωστό και ως **δικτυακό σύστημα κεντρικής διαχείρισης**, δέσποζε την εποχή πριν από την εξάπλωση των προσωπικών σταθμών εργασίας και των τοπικών δικτύων. Στο σύστημα αυτό η επεξεργασία δεδομένων εκτελείται κεντρικά από έναν υψηλών δυνατοτήτων υπολογιστή, που συνδέεται με έναν αριθμό «κουτών» (*dummy*) τερματικών. Τα τερματικά αυτά δε διαθέτουν δικό τους επεξεργαστή, μνήμη ή γραφικές δυνατότητες, με αποτέλεσμα να αναθέτουν όλες τις εργασίες επεξεργασίας στο κεντρικό σύστημα. Σημειώνεται ότι το κεντρικό σύστημα μπορεί να αναθέτει κάποιο μέρος της υπολογιστικής του δύναμης σε κάθε χρήστη που έχει πρόσβαση σ' αυτό, όμως η απόδοσή του ελαττώνεται όσο ο αριθμός των τερματικών με τα οποία συνδέεται αρχίσει να αυξάνεται. Κλασικές τοπολογίες αυτού του συστήματος είναι οι τοπολογίες άστρου και δέντρου (ιεραρχική) κάτω από το λειτουργικό σύστημα *Unix*.

Για παράδειγμα, η πλειονότητα των συστημάτων κράτησης θέσεων των αεροπορικών εταιρειών στηρίζεται σ' αυτή τη στρατηγική (σχήμα 9.1). Ένας μεγάλος κεντρικός υπολογιστής, εγκατεστημένος στα κεντρικά γραφεία της αεροπορικής εταιρείας, επεξεργάζεται και διαχειρίζεται όλα τα δρομολόγια, τις τιμές των εισιτηρίων, τις κρατήσεις θέσεων κτλ. Τα ταξιδιωτικά πρακτορεία χρησιμοποιούν τερματικά τα οποία συνδέονται με το κεντρικό σύστημα της αεροπορικής εταιρείας και το χρησιμοποιούν για κρατήσεις θέσεων σε προ-



Το δικτυακό σύστημα κεντρικής διαχείρισης λειτουργεί σε τοπολογία άστρου, με αποτέλεσμα η επεξεργασία δεδομένων να εκτελείται κεντρικά από έναν υψηλών δυνατοτήτων υπολογιστή, ο οποίος συνδέεται με έναν αριθμό «κουτών» τερματικών.



Σχήμα 9.1: Δίκτυο κράτησης θέσεων αεροπορικής εταιρείας διαμέσου «κουτών» τερματικών εγκατεστημένων στα ταξιδιωτικά πρακτορεία



γραμματισμένες πτήσεις. Επομένως, αν και τα εισιτήρια παρέχονται από τα ταξιδιωτικά πρακτορεία, όλη η κύρια εργασία γίνεται στο κεντρικό σύστημα των αεροπορικών εταιρειών.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος κεντρικής διαχείρισης συνδέονται κυρίως με τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά του, δηλαδή τη θέση εγκατάστασης του κεντρικού συστήματος και τον έλεγχο του κύριου όγκου του ηλεκτρονικού εξοπλισμού –του λογισμικού συμπεριλαμβανομένου– των δεδομένων και του τεχνικού προσωπικού. Αντίθετα, στα μειονεκτήματα του συστήματος συγκαταλέγονται η αδυναμία του τελικού χρήστη να ασκεί έλεγχο και να παίρνει αποφάσεις, η αβεβαιότητα σχετικά με την ανταπόκριση του κεντρικού συστήματος σε στιγμές μεγάλου φόρτου ή βλάβης και η ανεπαρκής αξιοποίηση των δυνατοτήτων επεξεργασίας των μικροϋπολογιστών των τελικών χρηστών. Αυτοί είναι και οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους η στρατηγική αυτή εγκαταλείπεται στις πρόσφατες δικτυακές εγκαταστάσεις.

### 9.1.3 Δικτυακό σύστημα ομότιμων σταθμών εξυπηρέτησης

Σε αντιδιαστολή με το δικτυακό σύστημα κεντρικής διαχείρισης, στο οποίο τα τερματικά που συνδέονται με τον κεντρικό υπολογιστή δε διαθέτουν επεξεργαστή, στο **σύστημα των ομότιμων σταθμών εξυπηρέτησης** τα τερματικά είναι πλέον υπολογιστικά συστήματα, καθένα από τα οποία έχει το δικό του επεξεργαστή και τη δικιά του μνήμη, με αποτέλεσμα να μπορούν να υλοποιήσουν και εφαρμογές. Το λειτουργικό σύστημα του δικτύου επιτρέπει σε οποιονδήποτε υπολογιστή του δικτύου να χρησιμοποιεί τους πόρους όλων των υπολογιστικών συστημάτων, όπως για παράδειγμα το λογισμικό, τα δεδομένα ή τις τερματικές διατάξεις τους. Επομένως όλοι οι σταθμοί εργασίας του δικτύου θεωρούνται **ομότιμοι**, δηλαδή αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο από το λειτουργικό σύστημα του δικτύου, έτσι ώστε να μην υπάρχει σταθμός εργασίας που να λειτουργεί κάτω από τις εντολές κάποιου άλλου. Μ' αυτό το νόημα όλοι οι σταθμοί εργασίας είναι στην ουσία σταθμοί εξυπηρέτησης.

Τα τοπικά δίκτυα ομότιμων σταθμών εξυπηρέτησης είναι κατάλληλα για μικρό αριθμό χρηστών, οι οποίοι εργάζονται κυρίως στο δικό τους σύστημα και κατά περίπτωση χρησιμοποιούν τους πόρους άλλων υπολογιστών. Κάθε κόμβος του δικτύου διαθέτει ένα λειτουργικό σύστημα με ενσωματωμένη δικτυακή υποστήριξη, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται τους πόρους του δικτύου με άλλους χρήστες, επιτρέποντας έτσι την ανταλλαγή αρχείων και ηλεκτρονικών μηνυμάτων ή την εκτέλεση προγραμμάτων που βρίσκονται σε άλλα συστήματα. Τέλος, ορισμένα χαρακτηριστικά ασφάλειας και διαχείρισης είναι επίσης ενσωματωμένα στο δικτυακό λειτουργικό σύστημα.

Τα δίκτυα των ομότιμων σταθμών εξυπηρέτησης συνδυάζονται με τοπολογίες διαύλου και απαιτούν ένα στοιχειώδες λογισμικό προκειμένου να διαχειριστούν βασικές λειτουργίες τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό προσφέρεται από τους κατασκευαστές των καρτών διεπαφής του δικτύου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα δικτυακών λειτουργικών συστημάτων στο χώρο των προσωπικών υπολογιστών αποτελούν



Στο δικτυακό σύστημα των ομότιμων σταθμών εξυπηρέτησης τα τερματικά είναι υπολογιστές με σημαντικές δυνατότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων, ενώ μπορούν να υλοποιήσουν και εφαρμογές. Πρόκειται για μικρά δίκτυα που συνδυάζονται με τοπολογίες διαύλου.



το *NetWare Lite* της Novell, το *Artisoft LANtastic*, τα *Windows for Workgroups* ή τα *NT* της Microshoft, το *Peer-to-Pear LANs* της Apple κτλ., τα οποία υποστηρίζουν τις πιο γνωστές κάρτες δικτύου και τα πιο γνωστά πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα από τη χρήση αυτού του τύπου των δικτύων. Επειδή κάθε σταθμός εξυπηρέτησης έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων σε τοπικό επίπεδο, το δίκτυο ως ολότητα μπορεί να προσεγγίσει υψηλότερα επίπεδα απόδοσης και να αντιμετωπίσει μεγαλύτερο φόρτο από τα αντίστοιχα επίπεδα του δικτυακού συστήματος κεντρικής διαχείρισης. Μείωση της απόδοσης του δικτύου συμβαίνει συνήθως λόγω εκτεταμένης κυκλοφορίας στο δίκτυο, λόγω υπερφόρτωσης των σταθμών εξυπηρέτησης ή λόγω του μεγάλου αριθμού των σταθμών εξυπηρέτησης. Τα δίκτυα αυτής της μορφής έχουν μικρό κόστος και ευκολία εγκατάστασης και αποτελούν καλή λύση, όταν ο αριθμός των τερματικών είναι σχετικά μικρός (περίπου 15).

### 9.1.4 Δικτυακό σύστημα σταθμών εξυπηρέτησης με εξειδικευμένες λειτουργίες

Το δικτυακό σύστημα σταθμών εξυπηρέτησης με εξειδικευμένες λειτουργίες αποτελεί πλέον κοινή πρακτική σε κατανεμημένα περιβάλλοντα εργασίας με μεγάλο αριθμό χρηστών και προτιμάται λόγω της καλύτερης διαχείρισης και ασφάλειας που παρέχει. Σ' αυτό το δικτυακό σύστημα υπάρχει ένας αριθμός κόμβων εξυπηρέτησης οι οποίοι συντονίζουν άλλους υπολογιστές του δικτύου και επιτρέπουν την πρόσβασή τους σε συγκεντρωμένους πόρους, όπως είναι οι βάσεις δεδομένων, το λογισμικό εφαρμογών και οι περιφερειακές διατάξεις. Στην απλούστερη περίπτωση ο κόμβος εξυπηρέτησης είναι ένας υψηλών προδιαγραφών υπολογιστής, ο οποίος συντονίζει και παρέχει τις εξειδικευμένες υπηρεσίες του στους άλλους κόμβους του δικτύου διαμέσου του λειτουργικού συστήματος του δικτύου. Δίκτυο αυτής της μορφής είναι, για παράδειγμα, το *NetWare* της Novell, σύμφωνα με το οποίο κάθε σταθμός εξυπηρέτησης μπορεί να διαθέτει το δικό του σύστημα διαχείρισης για όλα τα θέματα ασφάλειας και προστασίας των δεδομένων, καθώς και για πολλές άλλες εργασίες που είναι απαραίτητες.

Σε ένα κατανεμημένο περιβάλλον εργασίας κάθε σύστημα που εκτελεί επεξεργασία μπορεί να θεωρήσει το δίκτυο σαν μια συλλογή διασυνδεδεμένων συσκευών επεξεργασίας. Στις περιπτώσεις που μια εργασία πρέπει να εκτελεστεί ταυτόχρονα σε περισσότερους από έναν υπολογιστές που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε διαφορετικούς κόμβους, το δίκτυο μπορεί να παρέχει επικοινωνία ανταλλαγής μηνυμάτων και συντονισμού εργασιών. Δίκτυα και εφαρμογές που κατανέμουν την επεξεργασία των δεδομένων τους μεταξύ ενός αριθμού μετωπικών σταθμών εργασίας (Μάθημα 9.2) και ενός σταθμού υποστήριξης ακολουθούν το μοντέλο πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης (*client - server model*), που περιγράφηκε στο Μάθημα 5.1. Ο σταθμός εξυπηρέτησης, που συνήθως βρίσκεται εγκατεστημένος σε χώρο εύκολα προσβάσιμο από τα άλλα συστήματα, παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάκτησης



Το δικτυακό σύστημα σταθμών εξυπηρέτησης με εξειδικευμένες λειτουργίες έχει μεγάλη εφαρμογή σε κατανεμημένα περιβάλλοντα εργασίας με μεγάλο αριθμό χρηστών. Οι κόμβοι του δικτύου αποτελούν συνήθως τους σταθμούς εξυπηρέτησης, οι οποίοι συντονίζουν τις λειτουργίες του δικτύου και παρέχουν εξειδικευμένες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες.



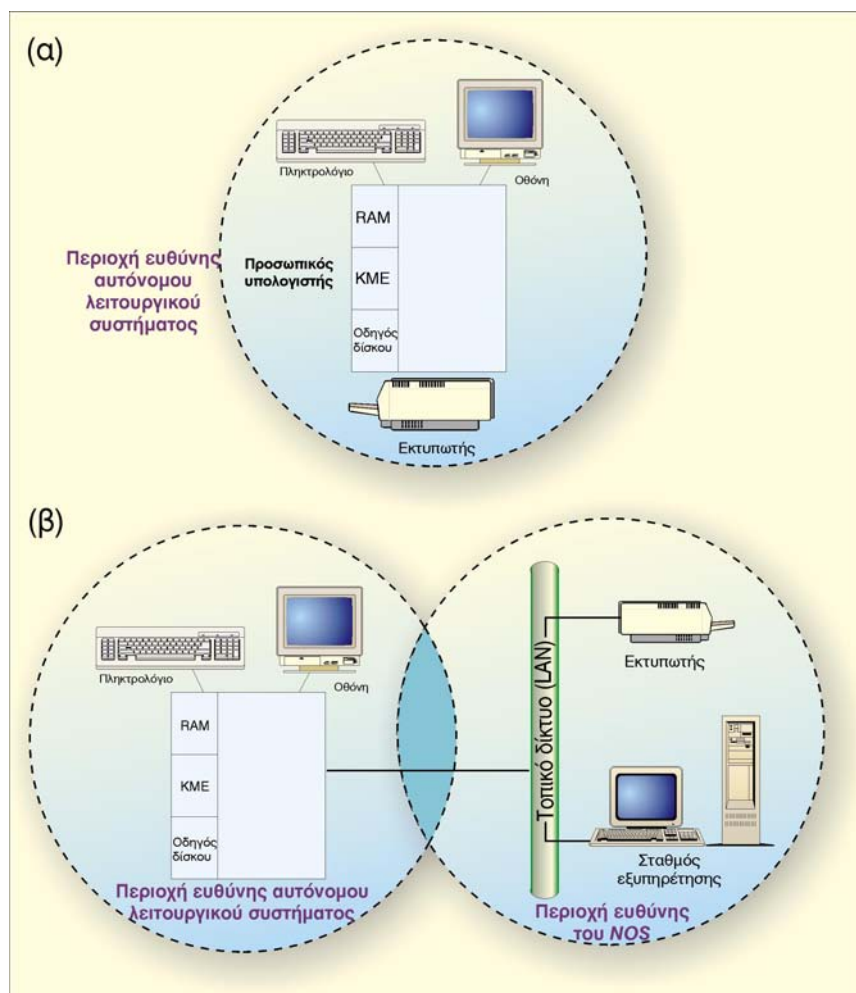
Δίκτυα και εφαρμογές που κατανέμουν την επεξεργασία των δεδομένων τους μεταξύ ενός αριθμού μετωπικών σταθμών εργασίας και ενός σταθμού υποστήριξης ακολουθούν το μοντέλο πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης.



Τα λειτουργικά συστήματα των τοπικών δικτύων επεκτείνουν τις δυνατότητες των λειτουργικών συστημάτων των υπολογιστών. Ένα τοπικό δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας διευρυμένος υπολογιστής με πόρους (δίσκους, οδηγούς, εκτυπωτές, λογισμικό κτλ.), οι οποίοι όμως είναι κατανομημένοι στο δίκτυο και όχι περιορισμένοι σε κάποιον συγκεκριμένο αυτόνομο υπολογιστή. Υπό αυτή την έννοια το τοπικό δίκτυο χρειάζεται ένα λειτουργικό σύστημα, όπως ακριβώς ο υπολογιστής, προκειμένου να συντονίσει τις λειτουργίες του.

των αρχείων, καθώς και τη δυνατότητα στέγασης μέρους μιας εφαρμογής που τον αφορά, του λογισμικού διαχείρισης και ελέγχου λειτουργίας των τερματικών διατάξεων, καθώς και του λογισμικού ασφάλειας. Για παράδειγμα, οι προηγμένες εκδόσεις του NetWare της Novell λειτουργούν ως αυτοδύναμα συστήματα παρέχοντας υψηλά επίπεδα απόδοσης και ασφάλειας. Παράλληλα οι σταθμοί εργασίας λειτουργούν με το λογισμικό του πελάτη, το οποίο παρέχει υποστήριξη στην κάρτα δικτύου, στο σταθμό εργασίας και στα πρωτόκολλα επικοινωνίας, δηλαδή στις διαδικασίες που χρησιμοποιεί η κάρτα για την πρόσβαση στο δίκτυο. Το λογισμικό του πελάτη φορτώνεται, όταν ενεργοποιηθεί το σύστημα που έχει συνδεθεί με το δίκτυο, το οποίο και κατευθύνει τα αιτήματα εξυπηρέτησης στο τοπικό λειτουργικό σύστημα ή σε άλλους σταθμούς εξυπηρέτησης (σχήμα 9.2).

Πολλές φορές τα αποθηκευμένα στοιχεία ενός σταθμού εξυπηρέτησης «αντικατοπτρίζονται» και σε άλλους κόμβους του δικτύου, ώστε να είναι διαρκώς διαθέσιμα σ'



Σχήμα 9.2: Σύγκριση των περιοχών ευθύνης ενός προσωπικού υπολογιστή με αυτόνομο λειτουργικό σύστημα (α) και ενός με λειτουργικό σύστημα δικτύου (NOS) (β)





αυτούς, να διασώζονται σε περίπτωση που κάποιο από τα συστήματα τεθεί εκτός λειτουργίας και να εξυπηρετούν με καλύτερο τρόπο τους χρήστες απομακρυσμένων περιοχών. Για παράδειγμα, έχει νόημα η αντιγραφή δεδομένων σε έναν απομακρυσμένο σταθμό εξυπηρέτησης, αφού κατ' αυτό τον τρόπο οι χρήστες της περιοχής μπορούν να αποφύγουν το μεγάλο κόστος των συνδέσεων των δικτύων ευρείας περιοχής. Η μέθοδος αυτή εξυπηρετεί απόλυτα περιπτώσεις εφαρμογών μη πραγματικού χρόνου. Όμως σε περιπτώσεις εφαρμογών πραγματικού χρόνου η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται από την ταχύτητα ενημέρωσης της βάσης δεδομένων του σταθμού εξυπηρέτησης, όταν συμβαίνουν αλλαγές, αφού ο συγχρονισμός των διαφορετικών αντιγράφων έχει μεγάλη σημασία.

**Αντικατοπτρισμός (mirroring)** είναι η ταυτόσημη απεικόνιση ή αντιγραφή των στοιχείων ενός σταθμού εργασίας σε έναν άλλο, ώστε αυτά να είναι διαρκώς διαθέσιμα, να διασώζονται σε περίπτωση που κάποιο από τα συστήματα τεθεί εκτός λειτουργίας και να εξυπηρετούν με καλύτερο τρόπο τους χρήστες απομακρυσμένων περιοχών.

### 9.1.5 Δυνατότητες δικτυακών λειτουργικών συστημάτων

Ύστερα από τα παραπάνω είναι σαφές ότι τα λειτουργικά συστήματα των δικτύων επεκτείνουν τις δυνατότητες των λειτουργικών συστημάτων των υπολογιστών, ώστε να μπορούν αυτοί να χρησιμοποιούν όλους τους πόρους που είναι διαθέσιμοι στο τοπικό δίκτυο, ανεξάρτητα από τον κόμβο του δικτύου στον οποίο είναι εγκατεστημένοι. Τα βασικά χαρακτηριστικά των λειτουργικών συστημάτων ενός τοπικού δικτύου είναι τα παρακάτω:

- ✓ Διαχείριση αρχείων (δημιουργία, επεξεργασία, αποθήκευση, ανάκτηση) σε όλους τους κόμβους του δικτύου στους οποίους έχει δικαίωμα πρόσβασης ο χρήστης και μάλιστα με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτός να θεωρεί ότι η διαχείριση γίνεται τοπικά, δηλαδή στο σταθμό εργασίας του.
- ✓ Υπηρεσίες εκτύπωσης σε όλους τους χρήστες του δικτύου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εκτυπώσει σε όλους τους εκτυπωτές στους οποίους έχει πρόσβαση.
- ✓ Διαχείριση της επικοινωνίας όλων των συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων πρωτοκόλλων, ώστε να επιτυγχάνεται η συνεργασία υπολογιστικών συστημάτων διαφορετικού τύπου.
- ✓ Υποστήριξη των κατανεμημένων λειτουργικών συστημάτων που είναι εγκατεστημένα στους σταθμούς εργασίας, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεσή τους, καθώς και η αξιοποίηση των υπηρεσιών που μπορούν να προσφέρουν στο τοπικό δίκτυο μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού.

Άλλα, πρόσθετα χαρακτηριστικά των λειτουργικών συστημάτων ενός τοπικού δικτύου είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Προστασία των δεδομένων του τοπικού δικτύου από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή από προσπάθεια καταστροφής τους.
- ✓ Δυνατότητα **ανοχής λάθους (fault tolerance)** και **επανάκαμψης από λάθος (fault recovery)**. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας να μην είναι διαθέσιμο το τοπικό δίκτυο για κάποιο χρονικό διάστημα, όπως επίσης και η μεγιστοποίηση της ταχύτητας επανάκαμψης στην προγενέστερη κατάσταση,





στην περίπτωση που το δίκτυο καταρρεύσει. Προκειμένου λοιπόν να αποφευχθούν δυσάρεστα συμβάντα με μεγάλες απώλειες λαμβάνονται προληπτικά κάποια μέτρα, όπως είναι:

- Η χρησιμοποίηση πρόσθετου σταθμού εξυπηρέτησης ο οποίος να μπορεί να αντικαταστήσει σε περίπτωση βλάβης τον κύριο σταθμό εξυπηρέτησης.
- Η χρησιμοποίηση λογισμικού προστασίας δεδομένων για την αντιγραφή κρίσιμων δεδομένων και αρχείων χρηστών σε κατάλληλες συσκευές αποθήκευσης (*back-up devices*).
- ✓ Υποστήριξη διαδικασιών διαχείρισης δικτύου με **παρακολούθηση λάθους** (*fault monitoring*) και **οδηγίες διόρθωσης λάθους** (*troubleshooting facilities*) όσον αφορά τη λειτουργία του δικτύου.
- ✓ Υποστήριξη των πιο διαδεδομένων τυποποιήσεων επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών και δικτυακών εφαρμογών. Ένα λειτουργικό σύστημα δικτύου, το οποίο ελέγχει τη ροή των δεδομένων, απαιτείται να υποστηρίζει τις πιο πρόσφατες τυποποιήσεις όσον αφορά την επικοινωνία και τις εφαρμογές που υλοποιούνται στο δίκτυο, ώστε να είναι συμβατές και εύκολα υλοποιήσιμες οι ενδεχόμενες αναβαθμίσεις, επεκτάσεις ή μελλοντικές αλλαγές σ' αυτό.
- ✓ Υποστήριξη διασυνδέσεων με άλλα τοπικά δίκτυα. Σε συνδυασμό με τις συσκευές διασύνδεσης δικτύου, οι οποίες θα εξεταστούν στα επόμενα μαθήματα, ένα λειτουργικό σύστημα δικτύου θα πρέπει να μπορεί να εγκαθιστά με επιτυχία όλες τις βασικές δικτυακές λειτουργίες προκειμένου να επιτευχθούν συνδέσεις με άλλα δίκτυα.

### 9.1.6 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ενός τοπικού δικτύου αποτελούν τους κανόνες σύμφωνα με τους οποίους επικοινωνούν μεταξύ τους οι κόμβοι που έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. Διακρίνονται σε δύο είδη: τα **πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου** (*high-level protocols*), τα οποία καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν οι εφαρμογές, και τα **πρωτόκολλα χαμηλού επιπέδου** (*lower-level protocols*), τα οποία καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδονται τα σήματα σε ένα μέσο μετάδοσης. Η διεπαφή των επιπέδων αυτών γίνεται μέσω των πρωτοκόλλων που εγκαθιστούν και διατηρούν συνόδους επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστικών συστημάτων επιβλέποντας την κίνηση, ώστε να εντοπίζουν τυχόν λάθη. Από τη στιγμή που τα πρωτόκολλα θα καθοριστούν και θα τυποποιηθούν από κάποιον διεθνή οργανισμό, οι κατασκευαστές έχουν το δικαίωμα να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν προϊόντα δικτύων που θα λειτουργούν σε συστήματα διαφορετικών κατασκευαστών.

Ένα ιδιαίτερο πρωτόκολλο το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν με τους σταθμούς εξυπηρέτησης σε περιβάλλον *NetWare* είναι το πρωτόκολλο *IPX (Internetwork Packet Exchange)*. Άλλα γνωστά πρωτόκολλα είναι το *TCP/IP*, το *DECnet* και το *AppleTalk*. Οι περισσότερες επιχειρήσεις και οργανισμοί τείνουν να ενοποιήσουν τα διαφορετικά είδη δικτύων τους δημιουργώντας τα ονομαζόμενα **δικτυακά**



**συστήματα επιχειρήσεων**, τα οποία υποστηρίζονται από περισσότερα του ενός ανεξάρτητα πρωτόκολλα. Για παράδειγμα, υπάρχει το ενδεχόμενο να αναγκαστεί ένας χρήστης να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο *IPX* προκειμένου να επικοινωνήσει με ένα σταθμό εξυπηρέτησης *NetWare* και το πρωτόκολλο *TCP/IP* προκειμένου να επικοινωνήσει με ένα σταθμό εξυπηρέτησης *Unix*. Σημειώνουμε ότι, παρ' ότι το *Unix* δεν είναι λειτουργικό σύστημα δικτύου, όμως οι περισσότερες εκδόσεις του παρέχουν σημαντική δικτυακή υποστήριξη. Από πολλούς χαρακτηρίζεται ως το οικουμενικό λειτουργικό σύστημα, αφού έχει ενσωματώσει μεγάλο αριθμό λειτουργιών του δικτυακού λειτουργικού συστήματος και είναι ικανό να λειτουργεί σε υπολογιστές όλων των μεγεθών.

Το *Unix*, το οποίο παρέχει αποκλειστική υποστήριξη στο σταθμό εξυπηρέτησης, χρησιμοποιεί για την υποστήριξη των επικοινωνιών του την οικογένεια των πρωτοκόλλων *TCP/IP*. Μέσω του *TCP/IP* το *Unix* μπορεί να συνυπάρχει και να συνεργάζεται σε ένα τοπικό δίκτυο του οποίου οι σταθμοί εξυπηρέτησης χρησιμοποιούν διαφορετικό λειτουργικό σύστημα δικτύου. Η μόνη προϋπόθεση που απαιτείται είναι η δυνατότητα μετατροπής των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται σε πρωτόκολλα *TCP/IP*, κάτι που η συντριπτική πλειονότητα των κατασκευαστών εξασφαλίζει.

### 9.1.7 Ασφάλεια

Η **ασφάλεια του δικτύου** (*network security*) είναι ένα σημαντικό θέμα που επηρεάζει συνολικά την απόδοση των τοπικών δικτύων, αφού συνδέεται με την απώλεια, την υποκλοπή ή την παραποίηση των πληροφοριών που μεταδίδονται. Το θέμα είναι πολύπλοκο, ιδιαίτερα όταν αφορά μεταδόσεις κρίσιμων πληροφοριών μέσω συνδέσεων ευρείας περιοχής των οποίων τα μέσα μετάδοσης και ο εξοπλισμός πρόσβασης δεν είναι ιδιόκτητα.

Πιο αναλυτικά, στην περίπτωση που ένα τοπικό δίκτυο διασυνδέει τα τμήματα μιας επιχείρησης οι υπεύθυνοι των τμημάτων μπορούν να περιορίζουν, με διάφορες τεχνικές, την πρόσβαση μη εξουσιοδοτημένων χρηστών σε κρίσιμα δεδομένα που οι ίδιοι κατέχουν, αφού και τα μέσα μετάδοσης αλλά και ο εξοπλισμός πρόσβασης είναι πλήρως ιδιόκτητα, δηλαδή ανήκουν στην επιχείρηση.

Αν όμως οι κρίσιμες για την επιχείρηση πληροφορίες πρέπει να μεταδοθούν μέσω συνδέσεων ευρείας περιοχής στις οποίες τόσο ο εξοπλισμός πρόσβασης όσο και τα μέσα μετάδοσης είναι δημόσια, τότε απαιτείται η λήψη άλλων μέτρων, όπως είναι η μίσθωση γραμμών ή η κρυπτογράφηση των πληροφοριών που πρόκειται να μεταδοθούν. Με την κρυπτογράφηση εξασφαλίζεται ότι το περιεχόμενο μιας συνόδου επικοινωνίας μπορεί να αποκατασταθεί στην αρχική του μορφή μόνο από εκείνον τον οποίο αφορά.

Το θέμα της ασφάλειας θα αναπτυχθεί διεξοδικότερα στο Μάθημα 11.3 της Ενότητας Δ.



Η μετάδοση κρίσιμων πληροφοριών μιας επιχείρησης μέσω συνδέσεων ευρείας περιοχής συνεπάγεται τη χρήση ιδιωτικών γραμμών επικοινωνίας ή, αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν δημόσια δίκτυα, την κρυπτογράφηση των πληροφοριών που πρόκειται να μεταδοθούν.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Δικτυακό λειτουργικό σύστημα, ομότιμοι σταθμοί εξυπηρέτησης, ανοχή λάθους, επανάκαμψη από λάθος, παρακολούθηση λάθους, οδηγίες διόρθωσης λάθους, πρωτόκολλα χαμηλού επιπέδου, πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου, ασφάλεια δικτύου.





## Μάθημα 9.2: Ειδικός δικτυακός εξοπλισμός

### 9.2.1 Επικοινωνιακός εξοπλισμός

Όπως είναι γνωστό, πολλές επιχειρήσεις χρειάζονται ένα ενιαίο δίκτυο προκειμένου οι χρήστες του να έχουν πρόσβαση σε όλες τις εφαρμογές και τις πηγές των πληροφοριών που αυτές διαθέτουν. Φυσικά αυτό δε σημαίνει ότι κάθε χρήστης πρέπει απαραίτητα να έχει πρόσβαση σε οποιοδήποτε σύστημα. Στην πράξη εφαρμόζονται συχνά, ιδιαίτερα για λόγους ασφάλειας, περιοριστικές τεχνικές πρόσβασης σε κρίσιμες εφαρμογές και αρχεία. Το γεγονός όμως αυτό δεν αναιρεί την απαίτηση άμεσης και εύκολης πρόσβασης των χρηστών στις ηλεκτρονικής μορφής πληροφορίες που βρίσκονται διαθέσιμες στα υπολογιστικά συστήματα της επιχείρησης, από οποιαδήποτε φυσική θέση των εγκαταστάσεών της.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός τοπικού δικτύου που να διασυνδέει όλα τα τμήματα της επιχείρησης, ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση και η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του ανεξάρτητα από την εφαρμογή ή τον τύπο του υπολογιστικού συστήματος με το οποίο αυτοί συνδέονται στο δίκτυο. Όμως κάθε εφαρμογή πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει τη μορφή με την οποία παρουσιάζονται τα δεδομένα ή τη μορφή των εντολών μιας άλλης εφαρμογής τις οποίες πρέπει να χειριστεί. Για να πραγματοποιηθεί αυτό το έργο σε ένα ενιαίο δίκτυο που συνδέει υπολογιστικά συστήματα και λογισμικό από διαφορετικούς κατασκευαστές, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ορισμένοι κοινώς αποδεκτοί κανόνες επικοινωνίας. Τέτοιο σύνολο κανόνων επικοινωνίας είναι, για παράδειγμα, τα μοντέλα *TCP/IP*, *ISO/OSI* κτλ.

Σύμφωνα με το μοντέλο πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης, δύο υπολογιστές επικοινωνούν μεταξύ τους για την εκτέλεση κάποιας εργασίας μέσω μιας δικτυακής υποδομής η οποία βασίζεται σε κοινώς αποδεκτά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Οι συσκευές που παρουσιάζονται στη συνέχεια αποτελούν τα βασικά στοιχεία υλοποίησης μιας δικτυακής υποδομής η οποία συνδέει περισσότερα του ενός τμήματα δικτύου ή παρέχει πρόσβαση σε ένα απομακρυσμένο, εκτός δικτύου υπολογιστικό σύστημα. Επίσης οι συσκευές αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία μεταξύ προγραμμάτων εφαρμογών που είναι εγκατεστημένα σε διαφορετικούς υπολογιστές.

### 9.2.2 Βασικές μονάδες επικοινωνιακού εξοπλισμού

Εκτός από τους διαποδιαμορφωτές (*modems*) και τους πολυπλέκτες (*multiplexers*), οι οποίοι εξετάστηκαν με λεπτομέρεια στα Κεφάλαια 1 και 3 αντίστοιχα (Ενότητα Α, τόμος I), τα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούν ένα πλήθος συσκευών και εξαρτημάτων



που αποτελούν τον **επικοινωνιακό εξοπλισμό** τους. Η παρουσίαση των κυριότερων μονάδων αυτού του εξοπλισμού γίνεται στη συνέχεια.

### 9.2.2.1 Μετωπικοί επεξεργαστές

Οι **μετωπικοί επεξεργαστές** (*front-end processors*) είναι υπολογιστές που διαχειρίζονται τις επικοινωνιακές απαιτήσεις κάποιου μεγάλου υπολογιστικού συστήματος. Με τον τρόπο αυτό αποδεσμεύονται οι υπολογιστές των χρηστών από τις διεργασίες επικοινωνίας και ασφάλειας που αφορούν τους εκτός τοπικού δικτύου χρήστες και τις οποίες αναλαμβάνει ο μετωπικός επεξεργαστής, προκειμένου οι υπολογιστές να ασχοληθούν αποκλειστικά με την κύρια εργασία τους. Οι διεργασίες που μπορεί να αναλάβει ο μετωπικός επεξεργαστής συμπεριλαμβάνουν τον έλεγχο των συνδεόμενων υπολογιστών, ώστε να διαπιστωθεί αν έχουν δεδομένα για μετάδοση, τον έλεγχο και τη διόρθωση των λαθών, καθώς και τον έλεγχο της πρόσβασης στο δίκτυο προκειμένου να επιβεβαιωθεί αν ο χρήστης της τερματικής διάταξης έχει δικαίωμα πρόσβασης σ' αυτό.

### 9.2.2.2 Κάρτες δικτύου

Οι **κάρτες δικτύου** (*NICs: Network Interface Cards*) είναι εξαρτήματα που προσαρμόζονται σε έναν υπολογιστή προκειμένου να επιτευχθεί η σύνδεσή του με το δίκτυο (σχήμα 9.3). Λειτουργούν στο φυσικό επίπεδο της αρχιτεκτονικής OSI, σχεδιάζονται για ένα συγκεκριμένο τύπο δικτύου, όπως είναι για παράδειγμα το *Ethernet* ή ο δακτύλιος με κουπόνι διέλευσης (*Token Passing Ring*), και διαθέτουν σημείο υποδοχής για τη σύνδεσή τους με ένα συγκεκριμένο τύπο καλωδίου, όπως είναι το ομοαξονικό καλώδιο, το αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*UTP*), το καλώδιο οπτικής ίνας κτλ. Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα οι κάρτες δικτύου διαθέτουν μια κεραία για επικοινωνία με το σταθμό της βάσης. Σημειώνεται ότι από το *IEEE* παρέχεται ένα σχήμα κεντρικής διευθυνσιοδότησης προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι κάθε κάρτα δικτύου έχει μια μοναδική διεύθυνση αναγνώρισης στο φυσικό επίπεδο του δικτύου.

Οι κάρτες δικτύου επιτελούν πολλές λειτουργίες της δικτυακής επικοινωνίας, οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στη συμφωνία που γίνεται μεταξύ των δύο σταθμών που επικοινωνούν. Η συμφωνία αυτή ρυθμίζει τις παραμέτρους επικοινωνίας, δηλαδή το ρυθμό μετάδοσης, το μέγεθος του πακέτου, τη λήξη χρόνου κτλ. Οι κάρτες δικτύου έχουν συγκεκριμένα ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά καθορίζουν τους τρόπους της μετάδοσης σειρών από δυαδικά ψηφία και από σήματα ελέγχου οι οποίες αφορούν το χρονισμό της μετάδοσης στο δίκτυο. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά καθορίζουν τους τρόπους της φυσικής σύνδεσης με το μέσο μετάδοσης. Τέλος, οι κάρτες δικτύου καθορίζουν και τις μεθόδους πρόσβασης στο δίκτυο, σύμφωνα με τα πρότυπα *802.x* του *IEEE* ή άλλα πρότυπα, τα οποία αναλύθηκαν στο Μάθημα 7.5.



Σχήμα 9.3: Κάρτα δικτύου



Η κάρτα δικτύου προσαρμόζεται σε μια ειδική θύριδα του υπολογιστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στην ενσύρματη όσο και στην ασύρματη επικοινωνία. Η κάρτα δικτύου διαθέτει κυκλώματα τα οποία συντονίζουν τη μετάδοση, την παραλαβή και τον έλεγχο λαθών των δεδομένων που μεταδίδονται.



### 9.2.2.3 Διανομείς

Ο **διανομέας** (*hub*) είναι μια συσκευή η οποία συνδέει τα καλώδια που προέρχονται από όλους τους σταθμούς εργασίας με τον κεντρικό κόμβο του δικτύου (σχήμα 9.4).



Διανομέας



Σχήμα 9.4: Διανομέας



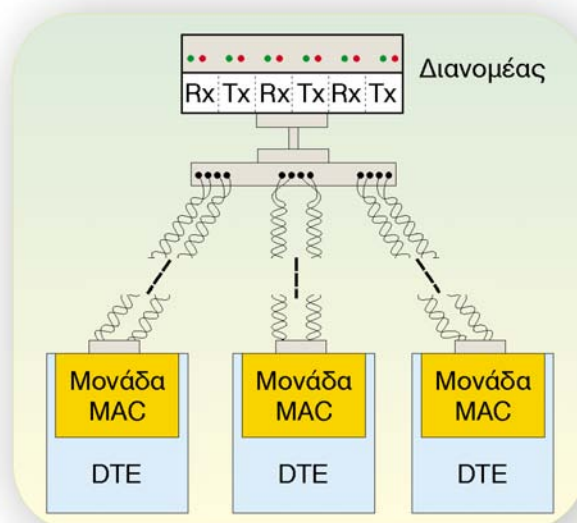
Όταν ένας από τους προσωπικούς υπολογιστές ή κάποια από τις τερματικές διατάξεις αποστέλλουν δεδομένα, ο διανομέας τα επαναμεταδίδει ταυτόχρονα προς όλες τις άλλες διασυνδεδεμένες συσκευές.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων προϋποθέτει τοπολογία άστρου, στην οποία καταλαμβάνει τη θέση του κεντρικού κόμβου (σχήμα 9.5). Η τοπολογία αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι οι καλωδιακές βλάβες επηρεάζουν μόνο το συγκεκριμένο σταθμό τον οποίο συνδέουν. Το προσωπικό διαχείρισης του δικτύου μπορεί να ελέγξει, με τη βοήθεια διαγνωστικών προγραμμάτων, μια διαδρομή καλωδίου, προκειμένου να προσδιορίσει τη ροή δεδομένων ή να απομονώσει τα σφάλματα.

Η κύρια εργασία των διανομέων είναι να λαμβάνουν τα σήματα από ένα σταθμό και να τα επανεκπέμπουν με ακρίβεια στους άλλους (σχήμα 9.6). Σε περίπτωση σύγκρουσης η ανίχνευση γίνεται από τις κάρτες δικτύου κάθε σταθμού.

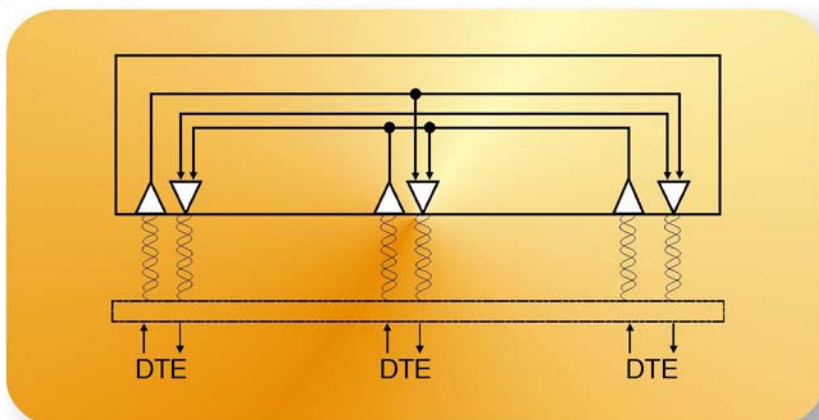
Οι διανομείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στους παθητικούς και στους ενεργητικούς.

- ✓ **Παθητικοί διανομείς:** Είναι συσκευές με μικρό αριθμό θυρών, που χρησιμοποιούνται στη σύνδεση των σταθμών εργασίας με ένα δίκτυο σε διάταξη άστρου. Δεν κάνουν ενίσχυση του σήματος που λαμβάνουν και δεν απαιτούν ηλεκτρική σύνδεση.
- ✓ **Ενεργητικοί διανομείς:** Πρόκειται για συσκευές με μεγαλύτερο αριθμό θυρών



Σχήμα 9.5: Διασύνδεση διανομέα με τερματικές διατάξεις σε τοπολογία άστρου





Σχήμα 9.6: Σχηματική παράσταση λειτουργιών επαναμετάδοσης από διανομέα

από τις παθητικές, που αναδημιουργούν και ενισχύουν κατά περίπτωση το σήμα το οποίο λαμβάνουν. Απαιτούν ηλεκτρική σύνδεση και χρησιμοποιούνται και ως επαναλήπτες (Μάθημα 9.3), επεκτείνοντας μ' αυτό τον τρόπο τις καλωδιακές συνδέσεις των σταθμών εργασίας.

Οι διανομείς διευκολύνουν την επίλυση των προβλημάτων που παρουσιάζονται λόγω των περιορισμών που υφίστανται στην απόσταση των καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών. Συνήθως ένας διανομέας συνδέεται με άλλους διανομείς, υλοποιώντας ιεραρχικές δομές κατά το πρότυπο της δομημένης καλωδίωσης (Μάθημα 7.2). Οι διανομείς παρέχουν τα παρακάτω οφέλη:

- ✓ Διευκόλυνση υλοποίησης επεκτάσεων ή αλλαγών σε τοπικά δίκτυα με εγκατεστημένη δομημένη καλωδίωση ιεραρχικής δομής.
- ✓ Μεγάλες δυνατότητες επιλογής εναλλακτικών τύπων δικτύωσης, όπως είναι για παράδειγμα τα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα *Ethernet* και δακτύλιος ή δίαυλος με κουπόνι διέλευσης, καθώς και δυνατότητες διασύνδεσης τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων αλλά και δικτύων ευρείας περιοχής, τα οποία θα εξεταστούν στις Ενότητες Δ και Ε.
- ✓ Δυνατότητες κεντρικής διαχείρισης και αυτόματης συλλογής πληροφοριών στο δίκτυο.
- ✓ Δυνατότητες ανοχής ή ανάκαμψης από λάθη οι οποίες εξασφαλίζουν την αδιάλειπτη λειτουργία του δικτύου.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μονάδες επικοινωνιακού εξοπλισμού, μετωπικοί επεξεργαστές, κάρτες δικτύου, διανομείς, παθητικοί διανομείς, ενεργητικοί διανομείς.





## Μάθημα 9.3: Επαναλήπτες

### 9.3.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και στο Μάθημα 9.2, εκτός από τον κύριο επικοινωνιακό εξοπλισμό των τοπικών δικτύων υπάρχουν και ορισμένες βασικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση αυτών των δικτύων. Οι μονάδες αυτές είναι:

- ✓ ο επαναλήπτης (*repeater*),
- ✓ η γέφυρα (*bridge*),
- ✓ ο δρομολογητής (*router*).

Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στις βασικές λειτουργίες των σημαντικών αυτών συσκευών διασύνδεσης, καθώς και στις δυνατότητες των διαφορετικών τύπων τους. Ασφαλώς η κατανόηση των δυνατοτήτων κάθε τύπου συσκευής οδηγεί και στην κατάλληλη επιλογή κατά τη φάση της σχεδίασης ενός δικτύου. Σημειώνεται ότι εκτός από αυτές τις μονάδες υπάρχουν και άλλες με περισσότερες ή πιο εξειδικευμένες λειτουργίες. Η περιγραφή αυτών των μονάδων θα γίνεται κατά περίπτωση και όπου αυτό είναι απαραίτητο.

### 9.3.2 Επαναλήπτες

Όπως είναι γνωστό (Μάθημα 1.4), όταν η απόσταση μεταξύ των συσκευών που συνδέονται με καλώδιο υπερβαίνει τα 300 μέτρα, το ηλεκτρικό σήμα εξασθενεί, με αποτέλεσμα να πρέπει να ενισχυθεί για να μπορέσει να προωθηθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις και να φτάσει στον προορισμό του. Ο **επαναλήπτης** (*repeater*) είναι μια διάταξη η οποία λαμβάνει το εξασθενημένο σήμα από μια είσοδο, το αναδημιουργεί



Επαναλήπτης



Σχήμα 9.7: Επαναλήπτης

στην αρχική του μορφή και το παραδίδει στην έξοδο (σχήμα 9.7). Πρόκειται για διάταξη που ενισχύει τα σήματα που λαμβάνει, προκειμένου να αυξηθεί το φυσικό εύρος του δικτύου. Συνήθως ο επαναλήπτης χρησιμοποιείται για την επέκταση ενός τμήμα-



τος του τοπικού δικτύου, ώστε να προστεθούν σ' αυτό νέοι χρήστες. Επομένως η χρησιμότητά του έγκειται στην καλωδιακή σύνδεση τμημάτων του δικτύου και συνακόλουθα στην ενίσχυση του σήματος.

### 9.3.3 Τύποι επαναληπτών

Ανάλογα με τις ιδιότητες που διαθέτουν και τις υπηρεσίες που προσφέρουν οι επαναλήπτες διακρίνονται σε διάφορους τύπους:

- ✓ **Επαναλήπτες μίας θύρας** (*singl-port repeaters*), οι οποίοι έχουν μία θύρα εισόδου και μία εξόδου. Αποτελούνται από δύο τμήματα, το τμήμα από το οποίο θα πάρουν την είσοδο και το τμήμα στο οποίο θα δώσουν την έξοδο (σχήμα 9.8α).
- ✓ **Επαναλήπτες πολλών θυρών** (*multi-port repeaters*), οι οποίοι έχουν μία είσοδο και περισσότερες από μία εξόδους (σχήμα 9.8β). Συνήθως χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων με διαφορετικό τύπο καλωδίωσης (π.χ. 10Base-2 και 10Base-5).
- ✓ **Επαναλήπτες οπτικής μετάδοσης** (*optical repeaters*), οι οποίοι επαναλαμβάνουν το οπτικό σήμα που λαμβάνουν.
- ✓ **Επαναλήπτες τοπικής διασύνδεσης** (*local repeaters*), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση δύο ίδιου τύπου τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και πάντως όχι πάνω από 2 km.
- ✓ **Επαναλήπτες απομακρυσμένης διασύνδεσης** (*remote repeaters*), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων που απέχουν το ένα από το άλλο πάνω από 2 km. Κάθε τοπικό δίκτυο συνδέεται με έναν επαναλήπτη και όλοι οι επαναλήπτες συνδέονται μεταξύ τους (στην πλειονότητα των περιπτώσεων) με οπτική ίνα.
- ✓ **Επαναλήπτες - καταχωρητές** (*buffered repeaters*), οι οποίοι έχουν την ικανότητα προσωρινής αποθήκευσης των πλαισίων που μεταφέρονται στο άλλο δίκτυο και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση δικτύων που απέχουν μεταξύ τους πολύ μεγάλη απόσταση. Σημειώνεται ότι και σε περίπτωση μεγάλου φόρτου τα πλαίσια δε χάνονται, αλλά αποθηκεύονται προσωρινά και μεταδίδονται όταν το κανάλι είναι άδειο.
- ✓ **Επαναλήπτες - διανομείς** (*repeaters - hub*), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων με καλωδίωση UTP, STP ή με οπτική ίνα. Η αρχιτεκτονική αυτή παρέχει εξαιρετική ευελιξία, ειδικά όταν πρέπει να επανασχεδιαστεί το δίκτυο και να ανακατανεμηθούν οι κόμβοι του, ώστε να υποστηριχθούν τοπικά δίκτυα με διαφορετικές καλωδιώσεις σε σχέση με την εγκατεστημένη δομημένη καλωδίωση. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι επαναλήπτες - διανομείς αποτελούν σήμερα την πιο δημοφιλή λύση.
- ✓ **Έξυπνοι επαναλήπτες** (*smart repeaters*), οι οποίοι θεωρούνται υβριδικές συσκευές που έχουν περισσότερο χαρακτηριστικά γεφυρών (βλ. επόμενη παράγραφο) παρά επαναληπτών.

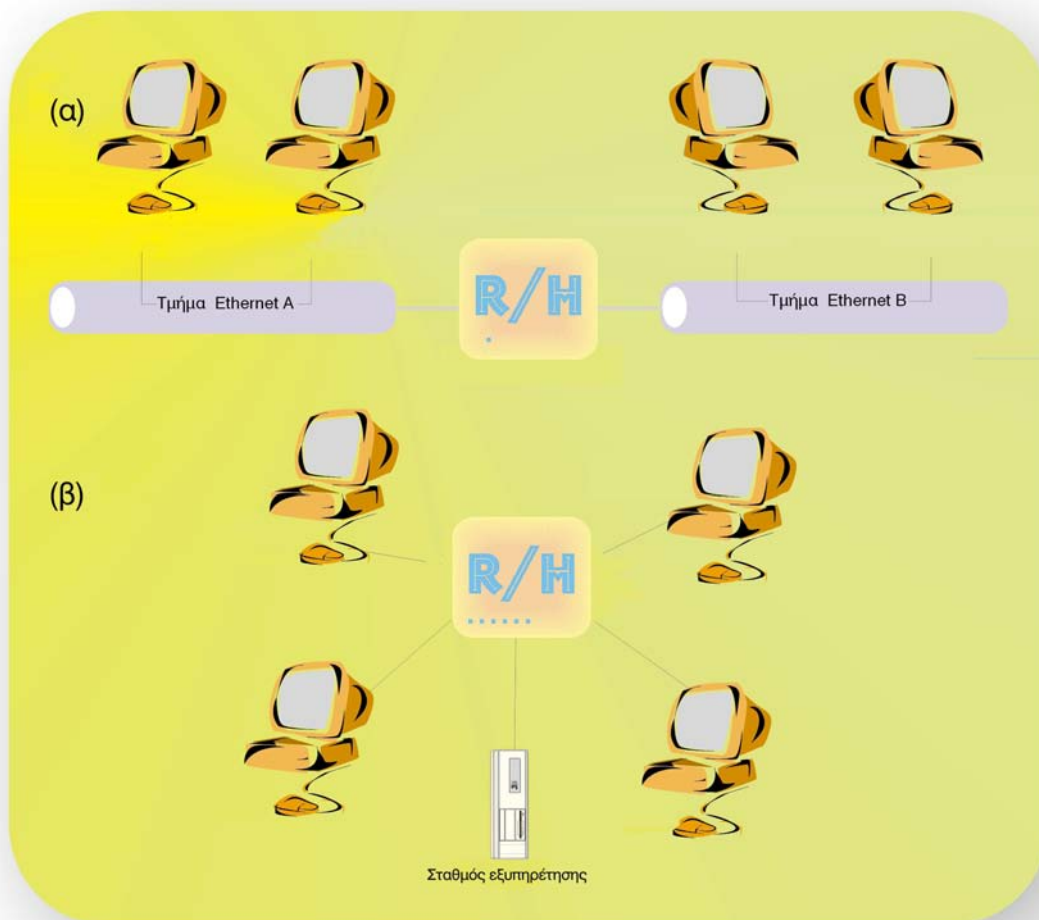
Τα τελευταία χρόνια η χρήση των επαναληπτών έχει αρχίσει να περιορίζεται λόγω των μειονεκτημάτων που εμφανίζουν, όπως είναι η ενίσχυση του θορύβου κατά μήκος του σήματος, η περιορισμένη επέκταση που προσφέρουν σε ένα τοπικό δίκτυο και τέλος η αδυναμία τους να ανταποκριθούν ικανοποιητικά στην αύξηση του αριθμού των χρηστών που μπορεί το δίκτυο να υποστηρίξει.



Επαναλήπτης - διανομέας μίας θύρας



Επαναλήπτης - διανομέας πολλών θυρών



Σχήμα 9.8: Τύποι επαναληπτών: (α) Επαναλήπτης - διανομέας μίας θύρας σε δίκτυο Ethernet και (β) επαναλήπτης - διανομέας πολλών θυρών σε διανομέα για 10Base-T δίκτυο Ethernet



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Επαναλήπτης, επαναλήπτης μίας θύρας, επαναλήπτης πολλών θυρών, επαναλήπτης - διανομέας, οπτικός επαναλήπτης, έξυπνος επαναλήπτης, επαναλήπτης - καταχωρητής, επαναλήπτης τοπικής διασύνδεσης, επαναλήπτης απομακρυσμένης διασύνδεσης, γέφυρα, δρομολογητής.

## Μάθημα 9.4: Γέφυρες

### 9.4.1 Εισαγωγή

Η δημιουργία των γεφυρών υπήρξε αποτέλεσμα της εξέλιξης των επαναληπτών αλλά και της ανάγκης για διασύνδεση και επέκταση των τοπικών δικτύων (σχήμα 9.9).



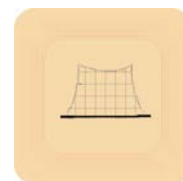
Σχήμα 9.9: Γέφυρα

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο μάθημα, η βασική λειτουργία των επαναληπτών είναι η ενίσχυση του σήματος και η καλωδιακή σύνδεση των τμημάτων ενός δικτύου που γίνεται στο φυσικό επίπεδο του μοντέλου αναφοράς OSI. Οι επαναλήπτες δε διαθέτουν επεξεργαστή και η πληροφορία μεταδίδεται διαμέσου του δικτύου. Τα μειονεκτήματα που έχει η χρήση επαναληπτών παρακάμπτονται, αν η σύνδεση των καλωδιακών τμημάτων των τοπικών δικτύων γίνει με τη βοήθεια **γεφυρών (bridges)**. Σημειώνεται ότι η λειτουργία της γέφυρας είναι παρόμοια μ' αυτήν του επαναλήπτη, όμως η σύνδεση της γέφυρας γίνεται στο επίπεδο γραμμής δεδομένων του μοντέλου αναφοράς OSI, όπως φαίνεται και στο σχήμα 9.10.

Με τη χρήση των γεφυρών το επίπεδο γραμμής δεδομένων είναι σε θέση να χειρίζεται τη ροή των δεδομένων, να ελέγχει τα λάθη της μετάδοσης, καθώς και την πρό-



Σχήμα 9.10: Σχηματική παράσταση διασύνδεσης τοπικών δικτύων με γέφυρα σύμφωνα με το μοντέλο αναφοράς OSI



Γέφυρα



Στα πλεονεκτήματα των γεφυρών συγκαταλέγονται η εύκολη διαχείριση και συντήρησή τους, η προσαρμογή τους σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, καθώς και η δυνατότητά τους να συνδέουν δίκτυα διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης.



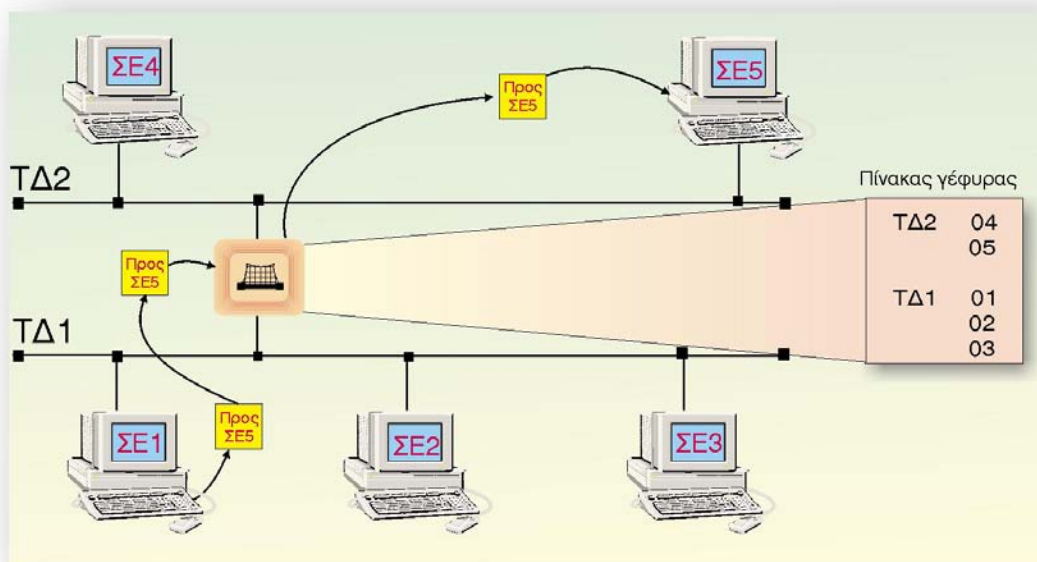


σβαση στο μέσο μετάδοσης, ενώ παρέχει και τη φυσική διεύθυνση προορισμού του πακέτου. Για παράδειγμα, μια γέφυρα που λαμβάνει πλαίσια τα περνά στο τοπικό δίκτυο με το οποίο διασυνδέεται σύμφωνα με κάποιον αλγόριθμο προώθησης που προτείνεται από τον κατασκευαστή. Μ' αυτό τον τρόπο οι γέφυρες υλοποιούν ορισμένες κρίσιμες λειτουργίες διασύνδεσης.

## 9.4.2 Λειτουργίες γεφυρών

Οι βασικές λειτουργίες των γεφυρών είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Προώθηση (forwarding)**. Είναι το πέρασμα ενός πλαισίου στον τελικό προορισμό του (σχήμα 9.11).

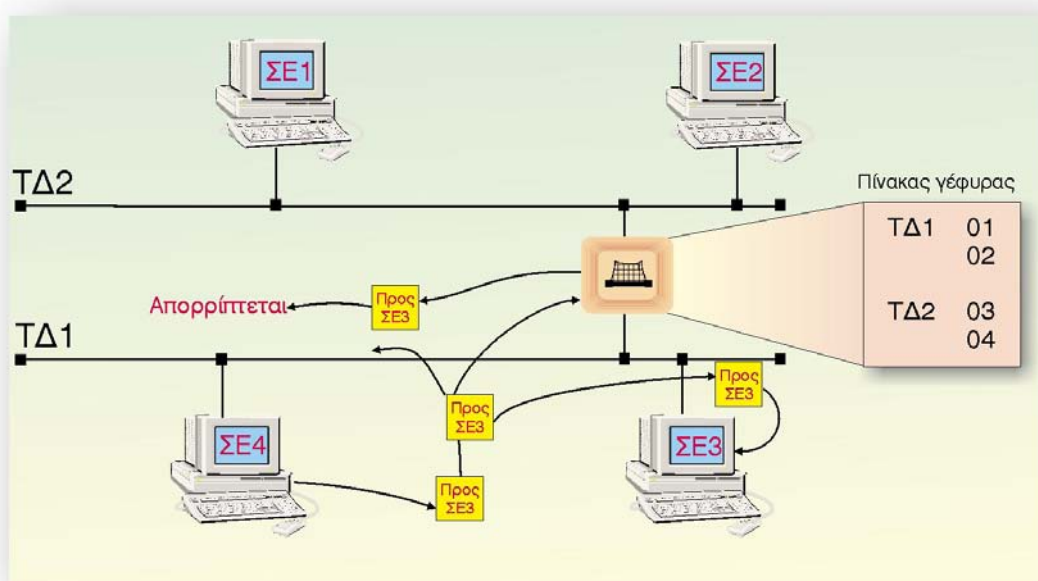


Σχήμα 9.11: Προώθηση πλαισίου μέσω γέφυρας. Τα δύο τοπικά δίκτυα (TΔ1 και TΔ2), με τρεις και δύο σταθμούς εργασίας (ΣΕ) αντίστοιχα, συνδέονται με μια γέφυρα. Ο πίνακας της γέφυρας δείχνει τους σταθμούς εργασίας κάθε τοπικού δικτύου. Η γέφυρα διακόπτει το πλαίσιο, επειδή γνωρίζει από τον πίνακά της ότι ο προορισμός του είναι ο ΣΕ5 που ανήκει στο TΔ2. Το πλαίσιο συνεχίζει να αναμεταδίδεται στο TΔ1, αλλά δεν παραμένει σ' αυτό.



Οι γέφυρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενοποίηση πολλών τοπικών δικτύων σε ένα **νοητό (virtual)** τοπικό δίκτυο.

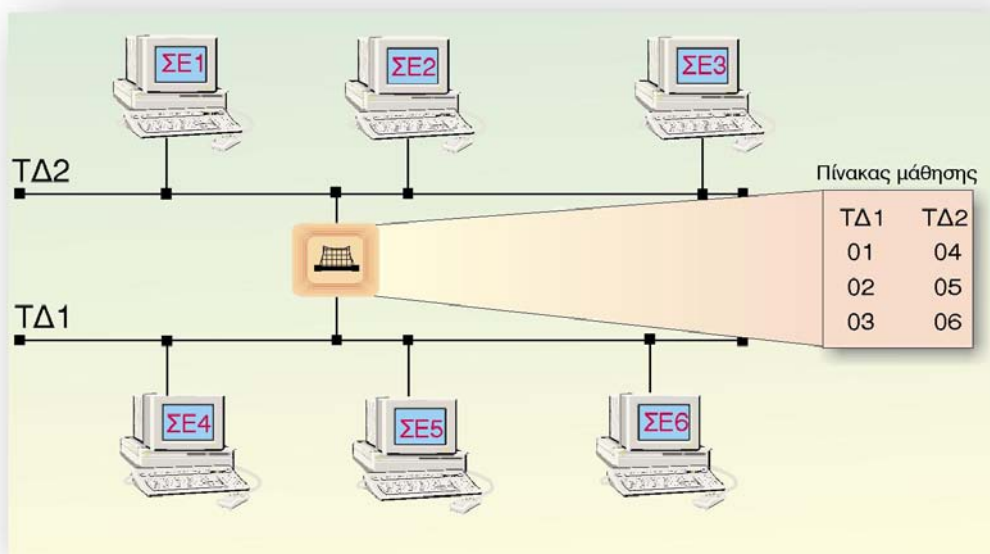
- ✓ **Φιλτράρισμα (filtering).** Η γέφυρα έχει τη δυνατότητα να διαχωρίζει τα δεδομένα (πλαίσια) σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια. Η λειτουργία του διαχωρισμού των πλαισίων λέγεται φιλτράρισμα, ενώ το πρόγραμμα μέσω του οποίου επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός αυτός λέγεται φίλτρο. Μέσω της λειτουργίας του φιλτραρίσματος οι γέφυρες μπορούν να προσαρμόζονται σε επεκτάσεις των τοπικών δικτύων διευκολύνοντας τη διαχείριση ολόκληρου του τοπικού δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση των πλαισίων των οποίων ο προορισμός δεν είναι το δίκτυο που συνδέεται στη γέφυρα. Μ' αυτό τον τρόπο περιορίζεται σημαντικά η άσκοπη κυκλοφορία των πλαισίων μέσα στο δίκτυο (σχήμα 9.12).



Σχήμα 9.12: Φιλτράρισμα πλαισίου μέσω γέφυρας. Τα δύο τοπικά δίκτυα (TΔ1 και TΔ2), με δύο σταθμούς εργασίας (ΣΕ) το καθένα, διασυνδέονται με μια γέφυρα. Το πλαίσιο που φεύγει από το ΣΕ4 προορίζεται για το ΣΕ3. Η γέφυρα, η οποία λαμβάνει το πλαίσιο, συγκρίνει τη διεύθυνση προορισμού του με τη διεύθυνση του πίνακα που διαθέτει και απορρίπτει το πλαίσιο, επειδή γνωρίζει ότι ο προορισμός του δεν ανήκει στο TΔ2. Το πλαίσιο παραμένει στο TΔ1 και λαμβάνεται από το ΣΕ3, που είναι και ο προορισμός του.



- ✓ **Διαφάνεια (transparency)**. Είναι μια διαδικασία κατά την οποία η γέφυρα καταχωρίζει στον πίνακα των διευθύνσεων της την άγνωστη έως εκείνη τη στιγμή διεύθυνση ενός σταθμού εργασίας του δικτύου από τον οποίο λαμβάνει ένα πλαίσιο. Η διαδικασία αυτή της ενημέρωσης του πίνακα της γέφυρας λέγεται και **μάθηση (learning)**, αφού από τη στιγμή της ενημέρωσης και μετά η γέφυρα θεωρείται ότι αναγνωρίζει το σταθμό εργασίας (σχήμα 9.13).



Σχήμα 9.13: Η διαδικασία της μάθησης σε μια γέφυρα. Τα δύο τοπικά δίκτυα (TΔ1 και TΔ2), με τρεις σταθμούς εργασίας (ΣΕ) το καθένα, συνδέονται με μια γέφυρα. Αν υποθέσουμε ότι ο ΣΕ3, που μπήκε πρόσφατα στο TΔ2, επικοινωνεί με το ΣΕ5 του TΔ1, του οποίου η διεύθυνση ήταν ήδη καταχωρισμένη στον πίνακα της γέφυρας, τότε λέμε ότι η γέφυρα έμαθε τη διεύθυνση του ΣΕ3.

Όπως θα δούμε και στο Κεφάλαιο 10, οι λειτουργίες που αναφέρθηκαν παίζουν σημαντικό ρόλο στη διασύνδεση των δικτύων, αφού συνεπάγονται τη μη επιβάρυνση του δικτύου με πρόσθετο κυκλοφοριακό φόρτο, περιορίζοντας τη ροή των πλαισίων σ' εκείνα τα τμήματα του δικτύου για τα οποία προορίζονται.

### 9.4.3 Τύποι γεφυρών

Μια γέφυρα, ανάλογα με τις ιδιότητες που διαθέτει και τις υπηρεσίες που προσφέρει, μπορεί να ταξινομηθεί σε:

- ✓ **Γέφυρα με έλεγχο πρόσβασης στο μέσο (MAC Bridge: Media Access Control Bridge)**, η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση δύο ίδιου τύπου τοπικών δικτύων, όπως για παράδειγμα *Ethernet/Ethernet* ή *Token Ring/Token Ring*. Η γέφυρα αυτή δεν μπορεί να διασυνδέσει διαφορετικού τύπου τοπικά δίκτυα.



Είναι σημαντικό να είναι γνωστή η συνολική απόδοση μιας τέτοιας γέφυρας, καθώς και η επιμέρους απόδοση κάθε θύρας.

- ✓ **Μεικτή γέφυρα ή μεταφραστική γέφυρα** (*mixed bridge* ή *link bridge* ή *translation bridge*), η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση διαφορετικού τύπου παραδοσιακών τοπικών δικτύων, όπως είναι το *Ethernet*, το *Token Ring*, το *Token Bus*, καθώς και άλλων δικτύων υψηλών επιδόσεων, όπως είναι το *Fast Ethernet*, το *FDDI* κτλ. (Ενότητα Δ). Η συνολική απόδοση της γέφυρας, καθώς και η επιμέρους απόδοση κάθε θύρας πρέπει και σ' αυτή την περίπτωση να είναι γνωστές.
- ✓ **Διαφανή γέφυρα ή γέφυρα μάθησης** (*transparent bridge* ή *learning bridge*), η οποία χρησιμοποιείται μαζί με άλλες του ίδιου τύπου γέφυρες για τη διασύνδεση τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Έχει την ικανότητα να ανακαλύπτει την τοπολογία του συνολικού δικτύου και σε συνεργασία με τις άλλες γέφυρες να βρίσκει τον καλύτερο δρόμο προκειμένου να προωθηθούν τα δεδομένα στον προορισμό τους. Η διαφανής γέφυρα είναι συνυφασμένη με τη διαδικασία της μάθησης που αναφέρθηκε παραπάνω. Χρησιμοποιείται και στα δύο είδη των παραδοσιακών τοπικών δικτύων, *Ethernet* και *Token Ring*, περισσότερο όμως έχει εφαρμογή στη διασύνδεση τοπικών δικτύων *Ethernet*.
- ✓ **Γέφυρα δρομολόγησης από την πηγή** (*SBR: Source Routing Bridge*), η οποία χρησιμοποιείται μαζί με άλλες του ίδιου τύπου γέφυρες για τη διασύνδεση τοπικών δικτύων *Token Ring*. Η τεχνική **δρομολόγησης από την πηγή** (*SR: Source Routing*) υπήρξε επινόηση της IBM και είναι ενσωματωμένη στα δίκτυα *Token Ring*, ώστε να διευκολύνεται η γεφύρωσή τους. Οι γέφυρες αυτής της κατηγορίας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και σε τοπικά δίκτυα τύπου *Ethernet*, ιδιαίτερα όταν αυτά έχουν τοποθετηθεί σε διάταξη βρόχου. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι οι γέφυρες αυτές, αν και μεταφέρουν τα πλαίσια από κάποιον κόμβο ενός τοπικού δικτύου σε κάποιον άλλο κόμβο ενός άλλου τοπικού δικτύου, δεν τα δρομολογούν με τον τρόπο που συμβαίνει στους δρομολογητές (βλ. επόμενο μάθημα).
- ✓ **Διαφανή γέφυρα δρομολόγησης από την πηγή** (*transparent source routing bridge*), η οποία συνδυάζει τις λειτουργίες και των δύο τύπων γεφυρών που δηλώνονται με το όνομά της. Λειτουργεί ως γέφυρα δρομολόγησης από την πηγή για πρωτόκολλα που υποστηρίζουν την αντίστοιχη τεχνική και ως διαφανής γέφυρα για πρωτόκολλα που απαιτούν διαφανή δρομολόγηση.
- ✓ **Γέφυρα τοπικής διασύνδεσης** (*local bridge*), η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση δύο ίδιου τύπου τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους.
- ✓ **Γέφυρα απομακρυσμένης διασύνδεσης** (*remote bridge*), η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, η οποία σε μερικές περιπτώσεις φθάνει τα 300 και πλέον km.
- ✓ **Γέφυρα πολλών θυρών** (*multi-port bridge*), η οποία χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση τριών ή περισσότερων τοπικών δικτύων με διαφορετικές διεπαφές δικτύωσης, π.χ. *10Base-2*, *10Base-5* και *Token Ring*.



- ✓ **Γέφυρα μεταγωγής** (*switching bridge*), η οποία τείνει να αντικαταστήσει τις γέφυρες μικρών αποστάσεων και πολλών θυρών. Πρόκειται για μια πολύ γρήγορη γέφυρα, που διαθέτει όλες τις ιδιότητες των δύο παραπάνω γεφυρών και έχει τη δυνατότητα να προωθεί τα πλαίσια δεδομένων στον προορισμό τους χωρίς προηγουμένως να τα αποθηκεύει.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

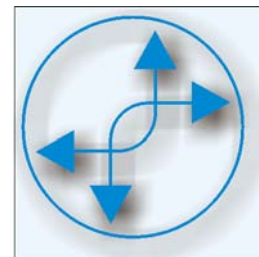
Γέφυρα, προώθηση, φιλτράρισμα, διαφάνεια, μάθηση, γέφυρα πολλών θυρών, διαφανής γέφυρα, γέφυρα με έλεγχο πρόσβασης στο μέσο, μεταφραστική γέφυρα, γέφυρα δρομολόγησης από την πηγή, γέφυρα τοπικής διασύνδεσης, γέφυρα απομακρυσμένης διασύνδεσης.



## Μάθημα 9.5: Δρομολογητές

### 9.5.1 Εισαγωγή

Οι **δρομολογητές** (*routers*) είναι σύνθετες διατάξεις οι οποίες αναπτύχθηκαν από τη δεκαετία του 1970 για την υποστήριξη της διασύνδεσης των τοπικών δικτύων (σχήμα 9.14). Σήμερα οι δρομολογητές υποστηρίζουν ταυτόχρονα συνδέσεις πολλών μέσων μετάδοσης διασυνδέοντας διαφορετικά δίκτυα υπολογιστών. Ειδικότερα, οι δρομολογητές διενεργούν έλεγχο στην εισερχόμενη ροή πακέτων των τοπικών δικτύων, αυξάνουν την αξιοπιστία της διασύνδεσης και επιτρέπουν τη διασύνδεση διαφορετικών υποδικτύων (Μάθημα 4.1).



Δρομολογητής



Σχήμα 9.14: Ο δρομολογητής

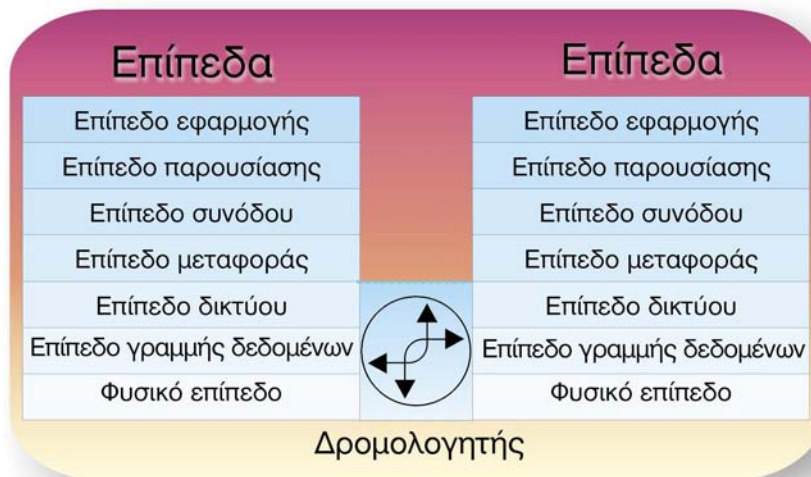
### 9.5.2 Λειτουργίες δρομολογητών

Γενικά, ως **δρομολόγηση** μπορεί να οριστεί η διαδικασία μεταφοράς δεδομένων από ένα σημείο σε ένα άλλο. Η διαδικασία αυτή με χρήση δρομολογητή αντί γέφυρας προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο πολυπλοκότητας στη διασύνδεση των τοπικών δικτύων υπολογιστών, αφού η σύνδεση γίνεται στο επίπεδο δικτύου (επίπεδο 3) του μοντέλου αναφοράς OSI (σχήμα 9.15). Η βασική διαφορά με τις γέφυρες είναι ότι οι δρομολογητές υποστηρίζουν πιο πολύπλοκες τοπολογίες και οργανώσεις δικτύων, στις οποίες υπάρχουν πολλές συνδέσεις ανάμεσα στα τμήματα των δικτύων. Οι δρομολογητές είναι σε θέση να εξισορροπήσουν το φόρτο της κίνησης όλων των διαφορετικών διαδρομών παίρνοντας δυναμικά αποφάσεις σχετικά με το ποιο δρομολόγιο θα ακολουθηθεί (με την προϋπόθεση βέβαια ότι χρησιμοποιείται κάποια τεχνική δρομολόγησης).

Ο τρόπος συνεργασίας των δρομολογητών σχετικά με τις αποφάσεις που κατά περίπτωση θα λάβουν εξαρτάται από κάποιες κοινά αποδεκτές συμφωνίες που λέγονται **πρωτόκολλα δρομολόγησης** (*routing protocols*). Οι δρομολογητές είναι σε θέση να παίρνουν αποφάσεις δρομολόγησης βασισμένοι τόσο στις διευθύνσεις του επιπέδου δικτύου όσο και στον τύπο των πακέτων δεδομένων. Στην πρώτη περίπτωση οι



Μερικές από τις πιο γνωστές κατηγορίες των σχημάτων δρομολόγησης είναι η κεντρική και η μη κεντρική δρομολόγηση, η στατική και η δυναμική δρομολόγηση, η SNA, η TCP/IP, η DECnet, η IPX, η AppleTalk κτλ., οι σπουδαιότερες των οποίων θα μελετηθούν στην Ενότητα Ε.



Σχήμα 9.15: Λειτουργία δρομολογητή συγκρινόμενη με τη δομή επιπέδων του μοντέλου αναφοράς OSI

αποφάσεις δρομολόγησης λαμβάνονται ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο — και μ' αυτό το νόημα οι δρομολογητές εξαρτώνται από το πρωτόκολλο που χρησιμοποιούν. Αν και η εμπλοκή των κατασκευαστών σ' αυτό το σημείο είναι αναπόφευκτη, μπορεί κανείς να διακρίνει ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ των διαφορετικών πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στα σχήματα δρομολόγησης.

Οι δρομολογητές επιτελούν τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

- ✓ Φιλτράρουν και δρομολογούν τα πακέτα ανάλογα με τον τύπο τους.
- ✓ Υποστηρίζουν πολλές συνδέσεις ανάμεσα στα τμήματα των δικτύων, παρέχοντας έτσι επιπρόσθετη προστασία από βλάβες στις συνδέσεις.
- ✓ Τα δρομολόγια αποφασίζονται κάθε φορά δυναμικά, λαμβάνοντας υπόψη τις επικρατούσες συνθήκες κίνησης δεδομένων στο δίκτυο.

Οι δρομολογητές είναι γενικά πολύ ακριβότεροι από τις γέφυρες αλλά περισσότερο χρήσιμοι σε ένα μεγάλο δίκτυο, όπου μπορούν να διασυνδεθούν πολλά τοπικά δίκτυα, παραδοσιακά ή υψηλών επιδόσεων, με ένα δίκτυο ευρείας περιοχής. Η αυξανόμενη ισχύς των μικροεπεξεργαστών, η μεγάλη χωρητικότητα μνήμης, καθώς επίσης και η πτώση της τιμής τους έκαναν δυνατή την εκτεταμένη χρήση των δρομολογητών. Σήμερα ένας δρομολογητής έχει πολλές δυνατότητες και επιτελεί πολλές λειτουργίες, όπως είναι η υποστήριξη πολλών πρωτοκόλλων επιπέδου δικτύου, ενώ παράλληλα έχει ενσωματωμένα πολλά από τα χαρακτηριστικά των γεφυρών (*multi-protocol bridge-routers*). Για το λόγο αυτό οι δρομολογητές θα μελετηθούν εκτενέστερα στις Ενότητες Δ και Ε, όπου και θα καταδειχθεί η χρησιμότητά τους.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Δρομολογητής, δρομολόγηση, πρωτόκολλο δρομολόγησης.



## Μάθημα 9.6: Αρχές σχεδίασης - διαχείρισης τοπικών δικτύων

### 9.6.1 Σχεδίαση τοπικών δικτύων

Ο σπουδαιότερος ίσως παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η επιτυχία κατασκευής ενός έργου είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη σχεδίασή του. Ως εκ τούτου, πριν από την υλοποίηση ενός τοπικού δικτύου, το εύλογο ερώτημα που αναφύεται είναι τι είδους δίκτυο θέλουμε να εγκαταστήσουμε και πώς θα συνδέσουμε τις διάφορες μονάδες του.

Η σχεδίαση ενός τοπικού δικτύου μπορεί να είναι η αρχική ή διορθωτική - παρεμβατική. Στην πρώτη περίπτωση τα πάντα πρέπει να σχεδιαστούν από την αρχή, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η υπάρχουσα εγκατάσταση επιβάλλει κάποιους περιορισμούς. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σχεδίαση ενός δικτύου, ώστε να βρεθεί και να υλοποιηθεί η καλύτερη κατά περίπτωση λύση, είναι πολλοί. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Σχεδιασμός του δικτύου ανάλογα με τον παρόντα και τον πιθανό μελλοντικό φόρτο. Αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να καλυφθούν μόνο οι τρέχουσες ανάγκες, αλλά και οι ανάγκες που προβλέπεται να προκύψουν στο μέλλον, σύμφωνα με τα σχέδια του πελάτη. Για παράδειγμα, το Πανελλήνιο Εκπαιδευτικό Δίκτυο σχεδιάστηκε προκειμένου να εξυπηρετήσει όλα τα σχολεία της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης (περίπου 4.000), ανεξάρτητα από το ότι στην πρώτη φάση θα εξυπηρετούνται μόνο 1.000 σχολεία περίπου.
- ✓ Μέριμνα για τη θέση και την κατανομή των στοιχείων του δικτύου.
- ✓ Μελέτη για δυνατές εναλλακτικές λύσεις.
- ✓ Μελέτη βιωσιμότητας του δικτύου, η οποία θα καλύπτει τα τηλεπικοινωνιακά τέλη, το κόστος διαχείρισης κτλ. Για παράδειγμα, το κόστος μιας μισθωμένης γραμμής για μια μικρή επιχείρηση είναι συνήθως ασύμφορο και επομένως απαιτούνται εναλλακτικοί τρόποι δρόμησης.
- ✓ Μελέτη για την ποσότητα και την ποιότητα των υπηρεσιών που θα παρέχονται στους χρήστες, καθώς και για τη δίκαιη κατανομή των πόρων του δικτύου ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις τους.
- ✓ Μελέτη για την ασφάλεια του δικτύου από εσωτερικές ή εξωτερικές παρεμβάσεις.
- ✓ Καθορισμός και μελέτη των περιορισμών που ενδεχομένως υπάρχουν. Συνήθως οι περιορισμοί αυτοί συναρτώνται με οικονομικούς πόρους, γεωγραφική κάλυψη, καθώς και με την ποιότητα και την ποσότητα των δεδομένων που διακινούνται.

Τα πορίσματα των μελετών που αφορούν τη σχεδίαση ενός δικτύου υποδεικνύουν



Πολλές φορές θεωρείται χρήσιμο στο υπό υλοποίηση δίκτυο μιας επιχείρησης να εφαρμόζονται τεχνικές προσομοίωσης, μέσω ειδικών διαδικτυακών προγραμμάτων του εμπορίου (COMNET, OPNET κτλ.), προκειμένου να προληφθούν προβλήματα που θα επηρέαζαν την ομαλή λειτουργία της επιχείρησης.



συνήθως την κατάλληλη αρχιτεκτονική και τεχνολογία που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίησή του. Επομένως κατά τη σχεδίαση ενός δικτύου πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη θέματα που αφορούν:

- ✓ Τις τεχνικές μετάδοσης που θα χρησιμοποιηθούν, τον τρόπο δηλαδή που θα μεταδίδεται το σήμα στο κανάλι.
- ✓ Τον τύπο του καναλιού που θα χρησιμοποιηθεί, για να υποστηρίξει το δίκτυο.
- ✓ Την τοπολογία του δικτύου, τον τρόπο δηλαδή που οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θα συνδεθούν μεταξύ τους.
- ✓ Την τεχνική πρόσβασης στο δίκτυο, πώς δηλαδή οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές θα μοιράζονται την πρόσβαση στο κανάλι, έτσι ώστε όλοι να έχουν –όσο αυτό είναι δυνατόν– ίδιες δυνατότητες πρόσβασης.
- ✓ Τα ειδικά μηχανήματα διασύνδεσης που ενδεχομένως θα χρησιμοποιηθούν. Στα τοπικά δίκτυα ως μηχανήματα διασύνδεσης χρησιμοποιούνται, ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου, ειδικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, όπως είναι κυρίως οι επαναλήπτες, οι γέφυρες και οι δρομολογητές.

Το ερώτημα που προκύπτει είναι ποιοι είναι οι λόγοι και ποιες οι προϋποθέσεις που επιβάλλουν ή συνηγορούν στη χρήση μιας συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας. Η απάντηση δεν είναι βέβαια εύκολη ούτε και μοναδική. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αντικειμενικούς και υποκειμενικούς. Ασφαλώς η γνώση των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων των δικτύων και του εξοπλισμού (υλικού και λογισμικού) ο οποίος τα συνοδεύει μπορεί να επιλύσει πολλά προβλήματα που αφορούν την επιλογή του κατάλληλου τοπικού δικτύου, τη διασύνδεσή του με άλλα τοπικά δίκτυα ή δίκτυα ευρείας περιοχής και την περαιτέρω καλή λειτουργία του.

### 9.6.2 Βασική διαχείριση τοπικών δικτύων

Ένας σταθμός εξυπηρέτησης παρέχει πολλές δυνατότητες στους χρήστες του δικτύου. Ειδικότερα, τα **αρθρωτά** (*modular*) λειτουργικά συστήματα, όπως για παράδειγμα το *NetWare* της Novell, τα *Windows NT* της Microsoft κτλ., παρέχουν όλες ή κάποιες από τις παρακάτω υπηρεσίες σε έναν ή περισσότερους σταθμούς εξυπηρέτησης, ανάλογα με το ποια τμήματα έχει επιλέξει να ενεργοποιήσει ο υπεύθυνος του συστήματος:

- ✓ **Σταθμός εξυπηρέτησης αρχείων.** Παρέχει υπηρεσίες αποθήκευσης και ανάκτησης αρχείων κατά τρόπο ασφαλή, ελέγχοντας τα δικαιώματα πρόσβασης των χρηστών του δικτύου στα αρχεία.
- ✓ **Σταθμός εξυπηρέτησης ή πύλη (*gateway*) ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.** Παρέχει, σε επίπεδο επιχείρησης ή τοπικού δικτύου, υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, μετάφραση μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και ενδεχομένως ενσωματωμένες υπηρεσίες καταλόγου.
- ✓ **Σταθμός εξυπηρέτησης επικοινωνιών.** Παρέχει, διαμέσου συνδέσεων ευρείας περιοχής, υπηρεσίες σύνδεσης σε μεγάλα ή απομακρυσμένα υπολογιστικά συστήματα, καθώς και σε άλλα δίκτυα.



- ✓ **Σταθμός εξυπηρέτησης βάσεων δεδομένων.** Είναι ένα σύστημα το οποίο διαχειρίζεται κατ' αποκλειστικότητα τα αιτήματα των χρηστών που γίνονται προς τη βάση δεδομένων, καθώς και τις αποκρίσεις προς αυτά.
- ✓ Υπάρχουν επίσης άλλες υπηρεσίες, όπως σταθμοί εξυπηρέτησης για δημιουργία αντιγράφων προστασίας δεδομένων, για αρχειοθέτηση, για αποστολή και λήψη fax, υπηρεσίες καταλόγου (*directory services*), υπηρεσίες πρόσβασης σε εκτυπωτές κτλ.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Σχεδίαση τοπικών δικτύων, διαχείριση τοπικών δικτύων, αρθρωτά λειτουργικά συστήματα.







## Μάθημα 10.3: Επιλογή τοπικού δικτύου και μονάδων διασύνδεσης

### 10.3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο μάθημα παρουσιάστηκαν τα μέσα που κατά περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση ενός τοπικού δικτύου σύμφωνα με τις ανάγκες του κατόχου του και τις υπηρεσίες που αυτό καλείται να προσφέρει στους χρήστες. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις, τα τοπικά δίκτυα πρέπει να ξεπεράσουν περιορισμούς που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένων τοπολογιών και μέσων μετάδοσης ή συγκεκριμένων τεχνικών μετάδοσης και πρόσβασης στο μέσο. Επίσης η ανάγκη διασύνδεσής τους με άλλα τοπικά δίκτυα αλλά και με το Διαδίκτυο είναι πολλές φορές επιτακτική. Τη λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα δίνουν οι μονάδες διασύνδεσης.

Γενικότερα, οι μονάδες διασύνδεσης επιλύουν προβλήματα που οφείλονται:

- ✓ Στην ανάγκη επέκτασης των τοπικών δικτύων πέρα από το γεωγραφικό χώρο που επιβάλλει η χρήση συγκεκριμένων μέσων μετάδοσης (π.χ. καλώδιο *UTP*).
- ✓ Στην ανάγκη διασύνδεσης των τοπικών δικτύων που χρησιμοποιούν διαφορετικό μέσο μετάδοσης (π.χ. ομοαξονικό καλώδιο και οπτική ίνα).
- ✓ Στην ανάγκη διασύνδεσης των τοπικών δικτύων που χρησιμοποιούν διαφορετική τεχνική πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης (π.χ. τοπικά δίκτυα *Ethernet*, *Token Ring*, *Token Bus* κτλ.).
- ✓ Στην ανάγκη διασύνδεσης των τοπικών δικτύων που δε διαθέτουν τα ίδια πρωτόκολλα επικοινωνίας στα υψηλότερα επίπεδά τους και ιδιαίτερα στο επίπεδο εφαρμογής.
- ✓ Στην ανάγκη διασύνδεσης των τοπικών δικτύων με άλλα δίκτυα, όπως είναι τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων, τα δίκτυα ευρείας περιοχής, καθώς και το Διαδίκτυο.

Υπενθυμίζεται ότι στα Μαθήματα 9.2 έως 9.5 έγινε η παρουσίαση των κυριότερων συσκευών διασύνδεσης, δηλαδή του επαναλήπτη, της γέφυρας και του δρομολογητή. Όμως, εκτός από αυτές τις μονάδες, υπάρχουν και άλλες με περισσότερες ή πιο εξειδικευμένες λειτουργίες, όπως είναι η **γέφυρα - δρομολογητής** (*routing bridge* - γέφυρα με λειτουργίες δρομολογητή) ή ο **δρομολογητής - γέφυρα** (*bridging router* - δρομολογητής με λειτουργίες γέφυρας για ορισμένα πρωτόκολλα που δεν μπορεί να δρομολογήσει), ο **μεταγωγός** (*switch* - ειδικού τύπου γέφυρα), η **πύλη** (*gateway* - ειδικού τύπου δρομολογητής) και άλλες.

Τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των παραπάνω συσκευών θα παρουσιαστούν αναλυτικά, όπου και όταν αυτό απαιτείται. Στο μάθημα αυτό θα καθοριστούν οι βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν για την επιλογή των καταλληλότερων συ-



σκευών διασύνδεσης, ανάλογα με την τοπολογία των τοπικών δικτύων που διασυνδέονται και τους άλλους περιορισμούς που ενδεχομένως να υπάρχουν. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο η τεχνολογία των δικτύων ωριμάζει, τόσο τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται στη διασύνδεση τοπικών δικτύων έχουν καλύτερη απόδοση, στοιχίζουν λιγότερο και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευελιξία στην υλοποίηση. Ωστόσο παραμένει ως ένας γενικός εμπειρικός κανόνας ότι η διασύνδεση διαφορετικού τύπου τοπικών δικτύων κοστίζει περισσότερο και έχει χαμηλότερη απόδοση από τη διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων ίδιου τύπου (π.χ. δύο τοπικών δικτύων *Ethernet*).

### 10.3.2 Διασύνδεση με χρήση επαναληπτών

Όπως είναι γνωστό (Μάθημα 9.3), ο επαναλήπτης είναι η συσκευή που διασυνδέει δύο ή περισσότερα τοπικά δίκτυα στο φυσικό επίπεδο. Αναπαράγει και ενδυναμώνει το εξασθενημένο σήμα, έτσι ώστε αυτό να φτάσει σωστά στον τελικό προορισμό του.

Ένας επαναλήπτης χρησιμοποιείται:

- ✓ Στη διασύνδεση δύο ή περισσότερων τοπικών δικτύων των οποίων οι περιορισμοί, είτε ως προς το μήκος του μέσου μετάδοσης είτε ως προς τον αριθμό των κόμβων που διασυνδέονται στο καλωδιακό τμήμα, δεν επιτρέπουν τη σύνδεση.
- ✓ Στην επέκταση ενός περιορισμένου τοπικού δικτύου με τη δημιουργία περισσότερων καλωδιακών τμημάτων, προκειμένου να διασυνδεθούν περισσότεροι κόμβοι.
- ✓ Στη διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων που μεταχειρίζονται διαφορετικό μέσο μετάδοσης, όπως είναι για παράδειγμα η διασύνδεση ενός τοπικού δικτύου *Ethernet* που μεταχειρίζεται ομοαξονικό καλώδιο με ένα τοπικό δίκτυο *Ethernet* που μεταχειρίζεται καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών. Ένας επαναλήπτης μπορεί να διασυνδέσει διαφορετικά μέσα μετάδοσης, όπως:
  - Ομοαξονικό καλώδιο με καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών.
  - Ομοαξονικό καλώδιο με οπτική ίνα.
  - Θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*UTP*) με αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*STP*).
  - Καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*UTP* ή *STP*) με οπτική ίνα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο επαναλήπτης δεν αρκείται μόνο στη διασύνδεση δικτύων με διαφορετικό μέσο μετάδοσης, εναλλάσσοντας τα σήματα από τη μια φυσική τους μορφή στην άλλη, αλλά δίνει και λύσεις που αφορούν τη λειτουργία του συστήματος. Για παράδειγμα, το σήμα σύγκρουσης (*jam signal*) που ειδοποιεί το σταθμό ενός δικτύου *Ethernet*, όταν υπάρξει σύγκρουση του πακέτου που έστειλε με το πακέτο ενός άλλου σταθμού, υλοποιείται με διαφορετικό τρόπο στην οπτική ίνα από ό,τι στα χάλκινα καλώδια. Είναι λοιπόν αρμοδιότητα του επαναλήπτη να μεταδώσει το σήμα της σύγκρουσης με το διαφορετικό τρόπο που επιβάλλουν τα μέσα καλωδίωσης.

Ορισμένοι από τους κανόνες διασύνδεσης των τοπικών δικτύων με επαναλήπτη είναι οι ακόλουθοι:



Τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται ευρέως στα τοπικά δίκτυα και κυρίως στα δίκτυα διαύλων που λειτουργούν είτε στη βασική είτε στην ευρεία ζώνη. Οι κύριοι τύποι καλωδίων που χρησιμοποιούνται στη βασική ζώνη είναι το λεπτό και το χοντρό καλώδιο, με 0,25 και 0,5 ίντσες διάμετρο αντίστοιχα. Κανονικά λειτουργούν και τα δύο στα 10 Mbps, αλλά το λεπτό καλώδιο έχει μεγαλύτερη εξασθένηση σήματος. Το μέγιστο μήκος του λεπτού καλωδίου μεταξύ δύο επαναληπτών είναι 200 m, ενώ του χοντρού καλωδίου είναι 500 m. Τα καλώδια αυτά είναι γνωστά ως *10Base-2* (10 Mbps βασική ζώνη, 200 m μέγιστο μήκος) και *10Base-5* αντίστοιχα.



Το λεπτό καλώδιο χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση σταθμών εργασίας στο ίδιο γραφείο ή εργαστήριο. Η φυσική σύνδεση του ομοαξονικού καλωδίου με την κάρτα διεπαφής του σταθμού εργασίας γίνεται απευθείας (σχήμα 10.2α).

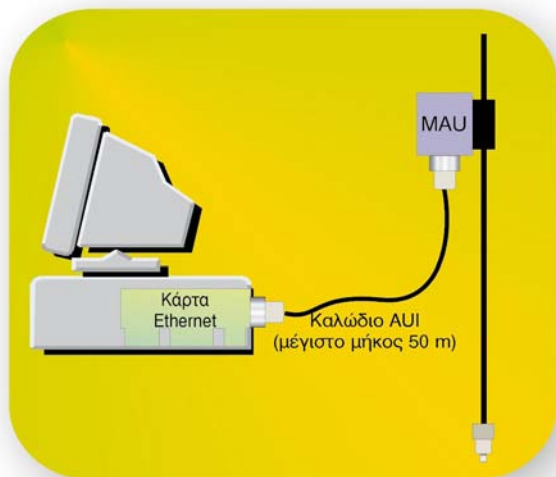


Το χοντρό καλώδιο εγκαθίσταται συνήθως σε κάποια απόσταση από το σταθμό εργασίας. Χρησιμοποιείται ένα πρόσθετο καλώδιο –γνωστό ως *drop cable*– καθώς και μια πρόσθετη συσκευή –γνωστή ως *tranceiver*– μεταξύ του σημείου σύνδεσης (*tapping*) του κυρίως ομοαξονικού καλωδίου –γνωστού ως *AUI*: *Attachment Unit Interface*– και του σημείου επαφής με το σταθμό εργασίας (σχήμα 10.2β).

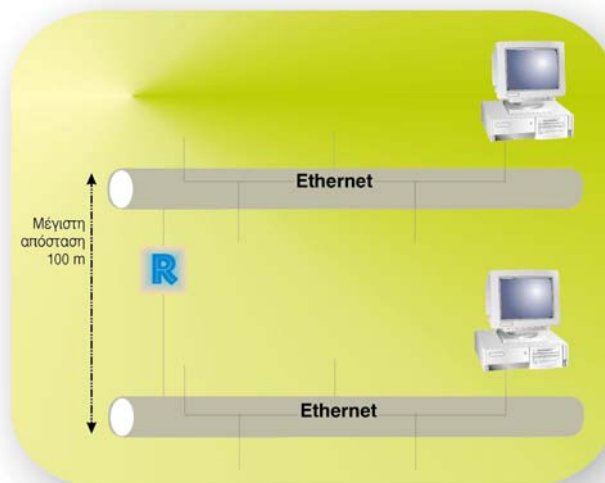
- ✓ Η συνολική αρχιτεκτονική δεν μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερα από τρία τοπικά δίκτυα *Ethernet*, με μέγιστο μήκος καλωδίου για το καθένα τα 500 m.
- ✓ Το συνολικό μήκος ενός τοπικού δικτύου *Ethernet* που χρησιμοποιεί επαναλήπτες, για να διασυνδέσει διάφορα τμήματά του ή άλλα μικρότερα τοπικά δίκτυα, δεν μπορεί να ξεπερνά τα 3 km.
- ✓ Όταν ο επαναλήπτης διασυνδέει τοπικά δίκτυα *10Base-5* και *10Base-2*, είναι καλό να χρησιμοποιούνται τερματικές αντιστάσεις των 50 Ω.
- ✓ Όταν το καλώδιο συνδέεται απευθείας στον επαναλήπτη, τότε εξαρτάται από αυτόν ο τερματισμός του καλωδίου. Μερικοί επαναλήπτες υποστηρίζουν εσωτερικά τον τερματισμό της ομοαξονικής καλωδίωσης, ενώ άλλοι όχι. Ανάλογα με τη συσκευή, ο τερματισμός μπορεί να γίνει είτε μέσω ενός συνδετήρα T και μιας τερματικής αντίστασης είτε μέσω ενός διακόπτη.
- ✓ Η μέγιστη απόσταση μεταξύ επαναληπτών που διασυνδέουν τοπικά δίκτυα με κουπόνι διέλευσης (*Token Ring* και *Token Bus*) μπορεί να είναι:
  - 300 m, όταν χρησιμοποιείται καλώδιο *UTP*.
  - 700 m, όταν χρησιμοποιείται καλώδιο *STP*.
  - 2.000 m, όταν χρησιμοποιείται οπτική ίνα.
- ✓ Ο μέγιστος αριθμός κόμβων και επαναληπτών που είναι δυνατόν να υποστηριχθούν από ένα τοπικό δίκτυο με κουπόνι διέλευσης, το οποίο χρησιμοποιεί καλώδιο *STP*, είναι 260.
- ✓ Ένας απομακρυσμένος επαναλήπτης θεωρείται διπλός. Επειδή δύο μόνο ζεύγη απομακρυσμένων επαναληπτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάθε φορά, τα πακέτα δεδομένων επιτρέπεται να περάσουν διαμέσου τεσσάρων το πολύ επαναληπτών.
- ✓ Η συνολική απόσταση μεταξύ δύο απομακρυσμένων επαναληπτών δεν πρέπει να ξεπερνά τα 1.000 m, εκτός αν χρησιμοποιείται οπτική ίνα, οπότε η μέγιστη απόσταση μπορεί να φτάσει τα 2.000 m.

## Παράδειγμα II

Ο επαναλήπτης τοπικής διασύνδεσης χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει δύο ίδιου τύπου τοπικά δίκτυα που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από το είδος του καλωδίου που χρησιμοποιείται και από τον τύπο των τοπικών δικτύων που διασυνδέονται. Για παράδειγμα, αν τα τοπικά δίκτυα είναι τύπου *Ethernet* και για τη διασύνδεση των κόμβων τους (σταθμών εργασίας) με το δίκτυο χρησιμοποιείται καλώδιο *AUI* (*Attachment Unit Interface*) –η μέγιστη απόσταση διασύνδεσης δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 50 m (σχήμα 10.2α)– τότε αυτά τα δίκτυα, που συνδέονται μέσω επαναλήπτη και χρησιμοποιούν για τη διασύνδεσή τους το συνηθισμένο αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*UTP*), θα έχουν μέγιστη απόσταση που δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 100 m (σχήμα 10.2β). Αν όμως τα δύο τοπικά δίκτυα είναι τύπου δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης και για τη διασύνδεσή τους χρησιμοποιείται θωρακισμένο κα-



Σχήμα 10.2α: Διασύνδεση με καλώδιο AUI



Σχήμα 10.2β: Διασύνδεση, μέσω επαναλήπτη, δύο τοπικών δικτύων τύπου Ethernet

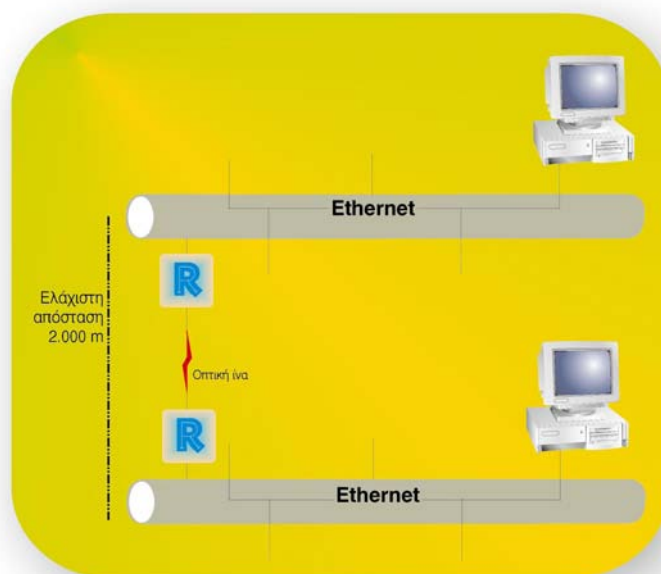
λώδιο συνεστραμμένων ζευγών (STP), τότε η μεταξύ τους μέγιστη απόσταση δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 200 m.

### Παράδειγμα III

Ο επαναλήπτης απομακρυσμένης διασύνδεσης χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει δύο ίδιου τύπου τοπικά δίκτυα που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Στο σχήμα 10.3 απεικονίζεται η διασύνδεση δύο δικτύων Ethernet των οποίων η μεταξύ τους απόσταση αγγίζει τα 2 km. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται δύο «μισοί» επαναλήπτες, που διασυνδέονται με οπτική ίνα.

### 10.3.3 Διασύνδεση με χρήση γεφυρών

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 9.4, η γέφυρα είναι, κατά την ορολογία του OSI, η συσκευή που διασυνδέει δύο ή περισσότερα τοπικά δίκτυα στο επίπεδο γραμμής δεδομένων. Επιπλέον, σε αντίθεση με τον επαναλήπτη που ενισχύει το σήμα και το περνά στην άλλη πλευρά, η γέφυρα λαμβάνει ένα πλαίσιο δεδομένων που προορίζεται για ένα άλλο τμήμα του δικτύου, το αποθηκεύει και το προωθεί στον προορισμό του. Σημειώνεται ότι πολλές φορές είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες μετατροπές στα πεδία του πλαισίου



Σχήμα 10.3: Διασύνδεση, μέσω επαναληπτών, δύο απομακρυσμένων τοπικών δικτύων τύπου Ethernet με καλώδιο οπτικής ίνας



που αποστέλλεται, ιδιαίτερα όταν οι προδιαγραφές των δικτύων που συνδέονται είναι διαφορετικές.

Μια γέφυρα χρησιμοποιείται:

- ✓ Στη σύνδεση δύο ή περισσότερων τύπων τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, η οποία δεν υπερβαίνει τα 20 km.
- ✓ Στον επιμερισμό ενός τοπικού δικτύου με πολλούς χρήστες σε μικρότερα τμήματα, ώστε να βελτιωθεί η απόδοσή του. Μια τέτοια τεχνική ευνοεί τα τοπικά δίκτυα *Ethernet*, στα οποία η σύνδεση πολλών κόμβων προκαλεί μεγάλη μείωση της απόδοσής τους. Επομένως η χρήση μίας ή περισσότερων γεφυρών έχει ως αποτέλεσμα τη δραστική αύξηση της απόδοσης των επιμέρους τμημάτων του αρχικού δικτύου. Για άριστα αποτελέσματα πρέπει να γίνει καλή ανάλυση της κίνησης στο αρχικό δίκτυο και πρόβλεψη, ώστε η κυκλοφορία των πλαισίων που μεταδίδονται να παραμένει, στο μεγαλύτερο ποσοστό της, εντός των νέων επιμέρους τμημάτων.
- ✓ Στη διασύνδεση δύο ή περισσότερων τοπικών δικτύων διαφορετικής τεχνικής πρόσβασης στο μέσο, όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαναλήπτης. Για παράδειγμα, μια γέφυρα μπορεί να διασυνδέσει ένα τοπικό δίκτυο *Ethernet* και ένα τοπικό δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι διέλευσης.
- ✓ Στον επιμερισμό ενός τοπικού δικτύου σε περισσότερα τμήματα λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στο μήκος του καλωδίου που χρησιμοποιείται.

### Παράδειγμα IV

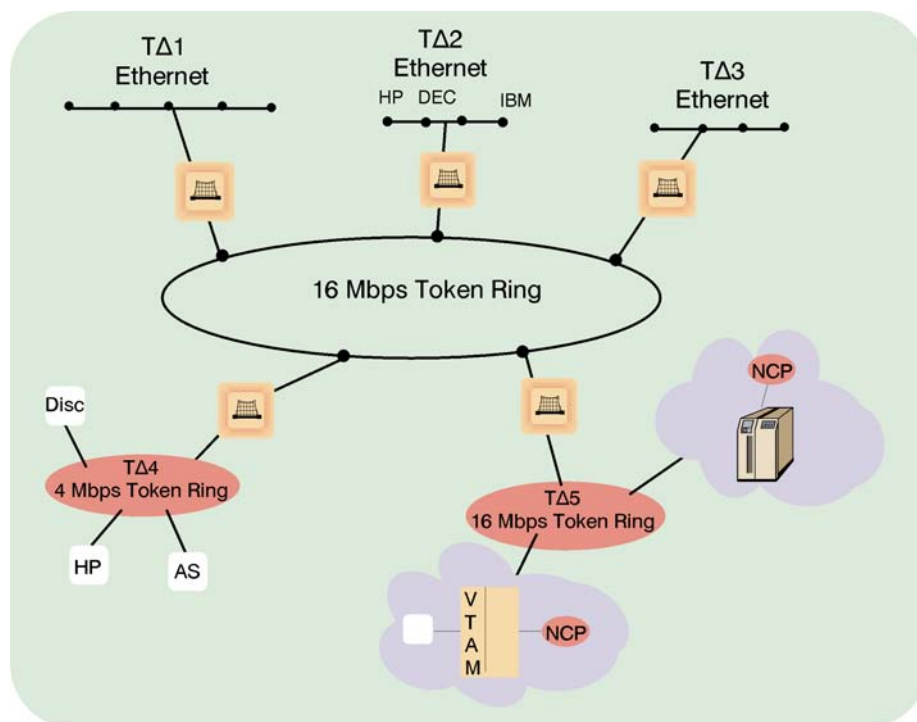
Αν μια γέφυρα διασυνδέει δύο τοπικά δίκτυα *Ethernet* 10 Mbps, τότε πρέπει να είναι ικανή να λαμβάνει δεδομένα με ρυθμό μετάδοσης 20 Mbps. Ο ρυθμός αυτός αντιστοιχεί, το ελάχιστο, σε 29.762 πλαίσια *Ethernet* το δευτερόλεπτο. Δηλαδή η γέφυρα πρέπει σε κάθε δευτερόλεπτο να είναι ικανή να αποφασίζει αν θα προωθήσει ή όχι, προς τη μία ή την άλλη πλευρά, το πολύ 29.762 πλαίσια. Στην περίπτωση των τοπικών δικτύων *Token Ring* 4 Mbps και 16 Mbps, η ικανότητα αυτή πρέπει να ανέρχεται, το ελάχιστο, σε 45.454 και 181.818 πλαίσια *Token Ring* αντίστοιχα. Επομένως, για να γνωρίζει κανείς την ικανότητα προώθησης πλαισίων από τη γέφυρα, δεν αρκεί η γνώση μόνο της συνολικής απόδοσής της ούτε η γνώση μόνο της απόδοσης κάθε θύρας ξεχωριστά, αλλά όλων των στοιχείων μαζί.

Η γέφυρα τοπικής διασύνδεσης χρησιμοποιείται στην περίπτωση δύο τοπικών δικτύων ίδιου ή διαφορετικού τύπου τα οποία βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους. Όπως και στην περίπτωση του τοπικού επαναλήπτη, η απόσταση αυτή εξαρτάται από το είδος του καλωδίου που χρησιμοποιείται και τον τύπο των τοπικών δικτύων που διασυνδέονται (Παράδειγμα II).



### Παράδειγμα V

Οι γέφυρες εξασφαλίζουν τη διασύνδεση διαφορετικού τύπου παραδοσιακών τοπικών δικτύων. Γέφυρες που διασυνδέουν τοπικά δίκτυα *Ethernet* και *Token Ring* λειτουργούν και προς τις δύο κατευθύνσεις. Στο σχήμα 10.4 παρουσιάζονται τρία τοπικά δίκτυα *Ethernet* πολλών κόμβων, δύο τοπικά δίκτυα *Token Ring* 16 Mbps και 4 Mbps, καθώς και δύο μεγάλα *SNA* δίκτυα τα οποία συνδέονται σε ένα άλλο τοπικό δίκτυο *Token Ring* 16 Mbps. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ όλων των κόμβων του δικτύου είναι εφικτή με την προϋπόθεση ότι το απαιτούμενο λογισμικό είναι διαθέσιμο σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Σήμερα οι γέφυρες υποστηρίζουν αρκετά πρωτόκολλα τοπικών δικτύων.

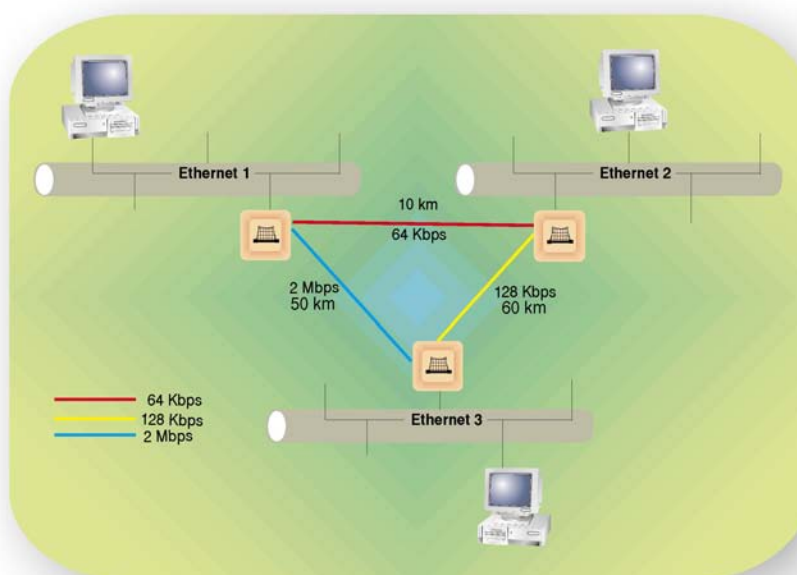


Σχήμα 10.4: Διασύνδεση διαφορετικού τύπου παραδοσιακών τοπικών δικτύων μέσω γεφυρών (multi-protocol bridging)



## Παράδειγμα VI

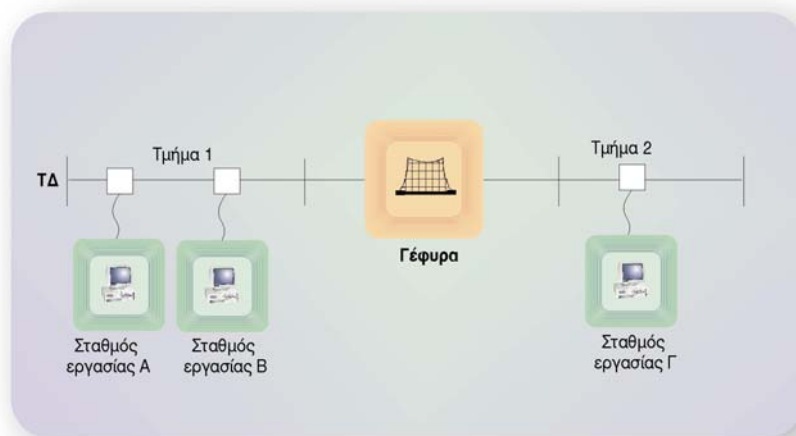
Η γέφυρα απομακρυσμένης διασύνδεσης χρησιμοποιείται για να διασυνδέσει δύο τοπικά δίκτυα που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους (σχήμα 10.5). Η απόσταση αυτή φθάνει σε μερικές περιπτώσεις τα 300 και πλέον Km. Κάθε τοπικό δίκτυο συνδέεται με μία γέφυρα και οι δύο γέφυρες συνδέονται με κάποιο μέσο μετάδοσης (οπτική ίνα, μόνιμη ή επιλογική γραμμή, δορυφορική ζεύξη), με ρυθμό μετάδοσης 56 Kbps ή και μεγαλύτερο. Σήμερα οι γέφυρες διασύνδεσης απομακρυσμένων τοπικών δικτύων υποστηρίζουν αρκετά πρωτόκολλα.



Σχήμα 10.5: Διασύνδεση τριών απομακρυσμένων τοπικών δικτύων Ethernet μέσω γεφυρών

## Παράδειγμα VII

Η γέφυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιμεριστεί ένα τοπικό δίκτυο, που έχει μεγαλώσει υπέρμετρα, σε δύο διαφορετικά τμήματα. Για παράδειγμα, με το φιλτράρισμα οι γέφυρες μπορούν να διασυνδέσουν αποτελεσματικά δύο τμήματα τοπικών δικτύων, περιορίζοντας την κίνηση των πλαισίων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε στα τμήματα των τοπικών δικτύων να κινούνται μόνο τα πλαίσια που έχουν προορισμό κάποιον κόμβο που τους ανήκει. Η δυνατότητα αυτή των γεφυρών είναι σημαντική, αφού συνεπάγεται τη μη προώθηση όλων των πακέτων στους κόμβους και επομένως τον περιορισμό της ροής των δεδομένων, ώστε να μην επιβαρύνεται η κυκλοφορία του δικτύου (σχήμα 10.6). Όπως είναι φανερό, κάθε τμήμα συνιστά ένα ξεχωριστό τοπικό δίκτυο, με αποτέλεσμα το συνολικό δίκτυο να μπορεί να υποστηρίξει το διπλάσιο εξοπλισμό από τον αρχικό και να διεκπεραιώνει σημαντικά μεγαλύτερη κίνηση δεδομένων.



Ορισμένοι κατασκευαστές γεφυρών απομακρυσμένης διασύνδεσης προσφέρουν υποστήριξη σε γραμμές επικοινωνίας, άλλοι προσφέρουν συμπίεση κατά τη μετάδοση (*on fly*), ενώ άλλοι προσφέρουν δικτυακή υποστήριξη στη διαχείριση των μονάδων διασύνδεσης.

*Σχήμα 10.6: Η γέφυρα φιλτράρει τα πακέτα που μεταδίδονται από το σταθμό εργασίας Α στο σταθμό εργασίας Β, εμποδίζοντας την άσκοπη μετάδοσή τους στο τμήμα 2. Ακολούθως η γέφυρα προωθεί μόνο τα πακέτα που μεταδίδονται από το σταθμό εργασίας Α στο σταθμό εργασίας Γ. Ανάλογα φιλτράρονται και τα πακέτα που μεταδίδονται από τον σταθμό εργασίας Β στο Γ ή από το σταθμό εργασίας Γ στον Α ή στο Β.*

Οι γέφυρες είναι κατάλληλες στις περιπτώσεις που ο αριθμός των τμημάτων των δικτύων που πρόκειται να διασυνδεθούν είναι σχετικά μικρός και τα δίκτυα που διασυνδέονται είναι ίδιου τύπου. Ένα σημαντικό μειονέκτημά τους είναι ότι δεν μπορούν να παρέχουν περισσότερα από δύο εναλλακτικά δρομολόγια μεταξύ δύο διαφορετικών κόμβων. Τέλος, σημειώνεται ότι κατά το σχεδιασμό διασύνδεσης τοπικών δικτύων με γέφυρες πρέπει να αποφεύγεται η ταυτόχρονη χρησιμοποίηση μεγάλου αριθμού γεφυρών (περίπου επτά). Πρέπει επίσης το μέγιστο μήκος του δικτύου που σχηματίζεται να μην υπερβαίνει τα 20 km, με εξαίρεση βέβαια την περίπτωση των γεφυρών που διασυνδέουν απομακρυσμένα τοπικά δίκτυα.

### 10.3.4 Διασύνδεση με χρήση δρομολογητών

Ο δρομολογητής, όπως και η γέφυρα, είναι μια συσκευή που διασυνδέει δύο ή περισσότερα τοπικά δίκτυα, διαθέτει όμως περισσότερες δυνατότητες σε θέματα δρομολόγησης δεδομένων. Η δρομολόγηση γίνεται μέσω πληροφοριών που υπάρχουν στο επίπεδο δικτύου του μοντέλου αναφοράς OSI (επίπεδο 3), με αποτέλεσμα ο δρομολογητής, ανάλογα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί, να έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει τις διευθύνσεις αυτού του επιπέδου. Οι δρομολογητές, ανάλογα με τον τύπο των πακέτων που χρησιμοποιούν, μπορούν να φιλτράρουν τα δεδομένα ενός συγκεκριμένου τύπου πακέτων, αποτρέποντας, για λόγους ασφάλειας, σε συγκεκριμένους χρήστες την πρόσβαση σε ορισμένες περιοχές του δικτύου.

Οι δρομολογητές υποστηρίζουν συνδέσεις πολλών γνωστών μέσων μετάδοσης, όπως

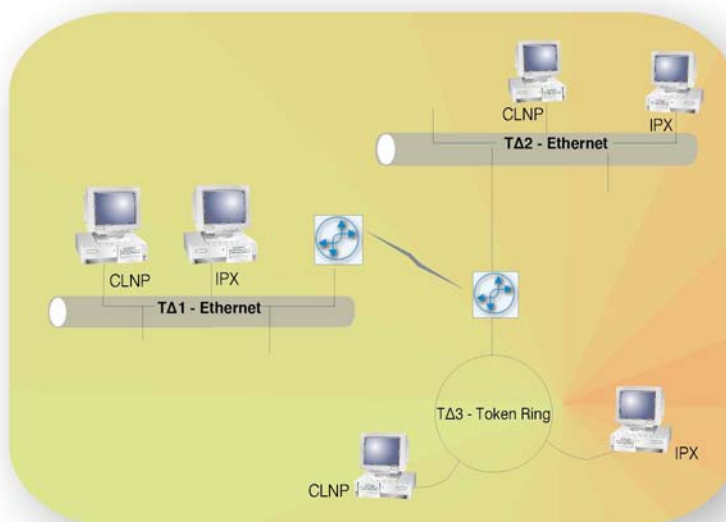


είναι για παράδειγμα τα καλώδια *UTP* και η οπτική ίνα. Πρόκειται για συσκευές πολλών θυρών, οι οποίες διασυνδέουν δίκτυα των πιο γνωστών τύπων. Οι σύγχρονοι δρομολογητές είναι συσκευές που υποστηρίζουν ταυτόχρονες συνδέσεις με διάφορους τύπους τοπικών δικτύων (*Ethernet* 10Base-5 και 10Base-2, *Token Ring* 4 Mbps και 16 Mbps), καθώς και πολλές άλλες συνδέσεις με τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων (*ISDN*, *Fast Ethernet*, *FDDI* κτλ.) ή με δίκτυα ευρείας περιοχής (*Frame Relay*, *IP*, *ATM* κτλ.) και τέλος με το Διαδίκτυο.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι προκειμένου να είναι δυνατή η σύνδεση δύο τοπικών δικτύων με χρήση δρομολογητή θα πρέπει αυτά να χρησιμοποιούν το ίδιο πρωτόκολλο επιπέδου δικτύου, όπως για παράδειγμα το *IP*, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα και κάποιο άλλο.

### Παράδειγμα VIII

Οι δρομολογητές είναι οι πιο συνηθισμένες συσκευές διασύνδεσης μεταξύ δικτύων *Ethernet* και δικτύων *Token Ring*. Μια τυπική αρχιτεκτονική διασύνδεσης τοπικών δικτύων με δρομολογητές είναι αυτή του σχήματος 10.7, όπου δύο τοπικά δίκτυα *Ethernet* διασυνδέονται μέσω δύο δρομολογητών με ένα τοπικό δίκτυο *Token Ring*. Τα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου που χρησιμοποιούνται από τους υπολογιστές των τριών δικτύων μπορούμε να υποθέσουμε ότι είναι το *CLNP* και το *IPX*, οπότε οι αντίστοιχοι δρομολογητές οφείλουν να υποστηρίζουν και τα δύο αυτά πρωτόκολλα.



Σχήμα 10.7: Διασύνδεση δύο τοπικών δικτύων *Ethernet* με ένα τοπικό δίκτυο *Token Ring* μέσω δρομολογητών



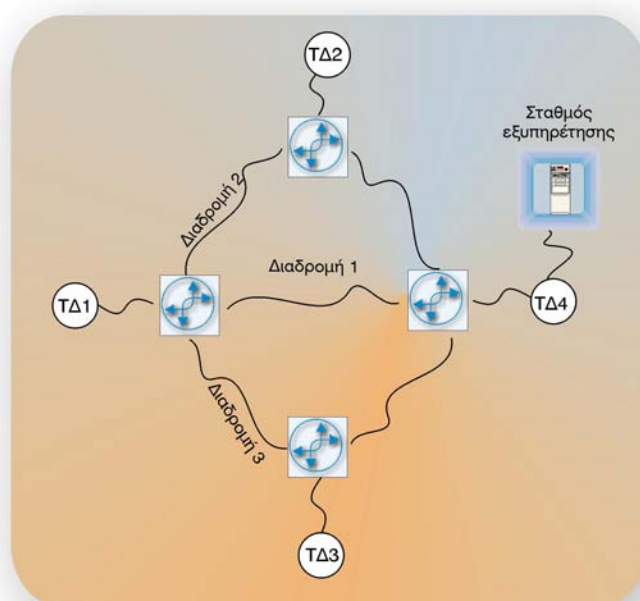
Όπως αναφέρθηκε, το επίπεδο δικτύου παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού ενός δρομολογίου διαμέσου ενός πλήθους ανεξάρτητων συνδέσεων. Παράλληλα παρέχει μία μοναδική διεύθυνση σε κάθε συσκευή, η οποία μπορεί να συμμετέχει σε ανταλλαγή δεδομένων, όπως για παράδειγμα να περιγράφει τη διαδρομή τους από έναν κόμβο που βρίσκεται σε ένα τοπικό δίκτυο *Ethernet* σε έναν άλλο που βρίσκεται σε ένα τοπικό δίκτυο *Token Ring*.

## Παράδειγμα IX

Στα μεγάλα δίκτυα η δυνατότητα του δρομολογητή να επιλέξει μεταξύ πολλών διαδρομών σημαίνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να βρεθεί ένα δρομολόγιο, όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο. Το σχήμα 10.8 δείχνει πώς μπορεί να συμβεί αυτό. Υπάρχουν τρεις διαδρομές μεταξύ του σταθμού εξυπηρέτησης στο τοπικό δίκτυο 1 και του σταθμού εξυπηρέτησης στο τοπικό δίκτυο 4. Ο δρομολογητής στο τοπικό δίκτυο 1 έχει τρεις επιλογές. Προφανώς, αν η άμεση διαδρομή δεν είναι για κάποιον λόγο εφικτή, ο δρομολογητής θα διαλέξει μία από τις άλλες δύο. Όμως — κάτι που είναι λιγότερο προφανές — αν μία από τις άλλες δύο λιγότερο άμεσες διαδρομές προσφέρει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, είναι ενδεχόμενο να προτιμηθεί αυτή για τη μετάδοση μεγάλων αρχείων.

Η επιλογή του κατάλληλου δρομολογητή γίνεται με βάση τις ανάγκες των δικτύων που διασυνδέει και ιδιαίτερα με βάση τα πρωτόκολλα δικτύου που υποστηρίζει. Αν χρησιμοποιηθεί ένα μόνο πρωτόκολλο, τότε απαιτείται **δρομολογητής ενός πρωτοκόλλου** (*single protocol router*). Όμως, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι δρομολογητές υποστηρίζουν περισσότερα του ενός πρωτόκολλα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι δρομολογητές υποστηρίζουν πολύπλοκες τοπολογίες και οργανώσεις δικτύων (δικτυωτά), όπου υπάρχουν πολλές συνδέσεις ανάμεσα σε κάθε ζεύγος από τμήματα δικτύων. Για το λόγο αυτό η συμβολή τους θα μελετηθεί και πάλι στις επόμενες ενότητες.



Σχήμα 10.8: Ο δρομολογητής μπορεί να προσφέρει επιλογή διαδρομών μεταξύ του σταθμού εξυπηρέτησης στο TΔ1 και του σταθμού εξυπηρέτησης στο TΔ4.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Γέφυρα - δρομολογητής, δρομολογητής - γέφυρα, μεταγωγός, πύλη, διασύνδεση παραδοσιακών τοπικών δικτύων με χρήση επαναληπτών, διασύνδεση παραδοσιακών τοπικών δικτύων με χρήση γεφυρών, διασύνδεση παραδοσιακών τοπικών δικτύων με χρήση δρομολογητών.







## Ενότητα Δ: Τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων

### Περιεχόμενα

## Κεφάλαιο 11: Εισαγωγή στα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων

<b>Μάθημα 11.1:</b>	<b>Γενικά στοιχεία .....</b>	<b>129</b>
11.1.1	Βασικές έννοιες .....	129
11.1.2	Υπηρεσίες και επιλογές μετάδοσης .....	130
11.1.3	Ταξινόμηση .....	133
11.1.4	Χρήσεις .....	133
<b>Μάθημα 11.2:</b>	<b>Αρχιτεκτονική .....</b>	<b>135</b>
11.2.1	Εισαγωγή .....	135
11.2.2	Μέσα μετάδοσης .....	135
11.2.3	Τοπολογίες .....	137
11.2.4	Μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης .....	138
11.2.5	Τυποποιήσεις IEEE .....	139
<b>Μάθημα 11.3:</b>	<b>Ενδοδίκτυα .....</b>	<b>140</b>
11.3.1	Εισαγωγή .....	140
11.3.2	Ανάγκες που εξυπηρετούν τα ενδοδίκτυα .....	142
11.3.3	Δομικά στοιχεία ενδοδικτύων .....	142
11.3.3.1	Δυνατότητα διασύνδεσης .....	142
11.3.3.2	Σταθμοί εξυπηρέτησης ενδοδικτύων .....	142
11.3.3.3	Βάσεις δεδομένων .....	143
11.3.3.4	Ασφάλεια .....	143
11.3.3.5	Διαλειτουργικότητα .....	144
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>145</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>146</b>



## Κεφάλαιο 12: Πρότυπα

<b>Μάθημα 12.1:</b>	<b>Πρότυπα FDDI-I και FDDI-II .....</b>	<b>149</b>
12.1.1	Εισαγωγή .....	149
12.1.2	Τοπολογία - φυσικό μέσο μετάδοσης .....	149
12.1.3	Προδιαγραφές του FDDI-I .....	152
12.1.4	Λειτουργία του FDDI-I .....	153
12.1.5	Περιγραφή του FDDI-II .....	155
12.1.6	Προδιαγραφές του FDDI-II .....	156
12.1.7	Λειτουργία του FDDI-II .....	156
<b>Μάθημα 12.2:</b>	<b>Πρότυπο 100 Mbps Ethernet .....</b>	<b>158</b>
12.2.1	Εισαγωγή .....	158
12.2.2	Φυσικά μέσα μετάδοσης στο 100 Mbps Ethernet ..	158
12.2.3	Αυτόματη διαπραγμάτευση .....	159
12.2.4	Full Duplex Ethernet .....	160
12.2.5	Σύνδεση στο σύστημα 100 Mbps Ethernet .....	160
12.2.6	Επαναλήπτες .....	162
<b>Μάθημα 12.3:</b>	<b>Πρότυπο 100Base-VGAnyLAN .....</b>	<b>165</b>
12.3.1	Το πρότυπο 100Base-VGAnyLAN .....	165
12.3.2	Πρωτόκολλο με αίτημα προτεραιότητας .....	166
<b>Μάθημα 12.4:</b>	<b>Πρότυπο Gigabit Ethernet .....</b>	<b>168</b>
12.4.1	Εισαγωγή .....	168
12.4.2	Περιγραφή .....	168
12.4.3	Αρχιτεκτονική .....	169
12.4.3.1	Το φυσικό μέσο .....	169
12.4.3.2	Κωδικοποίηση 8B/10B .....	170
12.4.3.3	Το περιβάλλον διεπαφής .....	171
12.4.3.4	Το επίπεδο MAC .....	172
12.4.4	Ημίπλευρη μετάδοση .....	172
<b>Μάθημα 12.5:</b>	<b>Πρότυπο LATM .....</b>	<b>173</b>
12.5.1	Χαρακτηριστικά τοπικών δικτύων ATM .....	173
12.5.2	Υπηρεσίες με σύνδεση και υπηρεσίες χωρίς σύνδεση .....	175
12.5.2.1	Άμεση προσέγγιση .....	175
12.5.2.2	Έμμεση προσέγγιση .....	175
12.5.3	Ανάλυση διεύθυνσης .....	176
12.5.4	Συμπεράσματα .....	176



Ανακεφαλαίωση .....	177
Ερωτήσεις .....	178

## Κεφάλαιο 13: Λογισμικό - Υλικό

<b>Μάθημα 13.1:</b>	<b>Λειτουργικό σύστημα υποστήριξης δικτύου .....</b>	<b>181</b>
13.1.1	Εισαγωγή .....	181
13.1.2	Βασικά χαρακτηριστικά .....	181
13.1.2.1	Σταθμός εξυπηρέτησης MS NT .....	181
13.1.2.2	Σταθμός εξυπηρέτησης NetWare της Novell .....	185
13.1.2.3	Λειτουργικό σύστημα δικτύου VINES .....	189
<b>Μάθημα 13.2:</b>	<b>Διαδικτυακός εξοπλισμός .....</b>	<b>192</b>
13.2.1	Εισαγωγή .....	192
13.2.2	Διαδικτυακός εξοπλισμός για το 100 Mbps Ethernet .....	192
13.2.3	Διαδικτυακός εξοπλισμός για το FDDI .....	196
13.2.4	Διαδικτυακός εξοπλισμός για το LATM .....	196
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>199</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>199</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>.....</b>	<b>200</b>
<b>Διευθύνσεις Διαδικτύου (URLs)</b>	<b>.....</b>	<b>200</b>



## Μάθημα 11.1: Γενικά στοιχεία

### 11.1.1 Βασικές έννοιες

Τα τελευταία χρόνια τα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα είχαν φτάσει στα όριά τους. Η αύξηση των κόμβων αλλά και των ενεργών χρηστών είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του φόρτου κυκλοφορίας αυτών των δικτύων. Σ' αυτό συνέτεινε η ευρεία χρήση γραφικών και εργαλείων λογισμικού για την υποστήριξη εφαρμογών οι οποίες απαιτούν από το δίκτυο ικανό εύρος ζώνης, καθώς επίσης και η εξασφάλιση πρόσθετων ποιοτικών χαρακτηριστικών τα οποία σχετίζονται με χρονικούς περιορισμούς για την αποδεκτή παράδοση του τεράστιου όγκου δεδομένων που διακινούνται. Για παράδειγμα, τα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των εργαλείων και εφαρμογών συνεργασίας για μετάδοση φωνής, εικόνας και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως είναι μια συνεργατική εφαρμογή για την πραγματοποίηση τηλεδιάσκεψης. Στον πίνακα 11.1 δίνονται οι ρυθμοί μετάδοσης για εκπομπή και λήψη βίντεο σε σχέση με την ποιότητά του.

Κακή ποιότητα βίντεο	64-200 Kbps
Καλή ποιότητα βίντεο	0,5-3 Mbps
Υψηλή ποιότητα βίντεο	2-8 Mbps

Πίνακας 11.1: Ρυθμοί μετάδοσης βίντεο διαφορετικής ποιότητας

Γενικά, τα παραδοσιακά δίκτυα δεν μπορούν να καλύψουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες και εφαρμογές, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για δίκτυα με πολλούς χρήστες. Επιπλέον οι χρήστες γίνονταν με τον καιρό περισσότερο ανυπόμονοι, απαιτώντας από το τοπικό δίκτυο μικρότερους χρόνους απόκρισης και καλύτερη ποιότητα. Για την κάλυψη των παραπάνω απαιτήσεων δημιουργήθηκαν τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων, που σήμερα παρέχουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων από 100 Mbps έως και 1 Gbps.

Στον πίνακα 11.2 δίνονται ορισμένα συγκριτικά στοιχεία που αφορούν τους χρόνους που απαιτούνται για τη μετάδοση δεδομένων συγκεκριμένου όγκου (25 Kbits, 2,5 Mbits, 213 Mbits, 961 Mbits και 25 Tbits) και ρυθμού μετάδοσης (28,8 Kbps, 10 Mbps και 1 Gbps). Για παράδειγμα, τα 213 Mbits με ρυθμό μετάδοσης 10 Mbps απαιτούν περίπου 0,4 min ή 24 sec για να μεταδοθούν. Για μικρό όγκο δεδομένων, κάτω των 2,5 Mbits, η διαφορά στο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση είναι αμελητέα και δε γίνεται αντιληπτή από το χρήστη. Για μεγαλύτερο όμως όγκο δεδομένων, όπως αποδεικνύεται από τα στοιχεία του πίνακα, η διαφορά είναι συντριπτική. Αυτή ακριβώς η διαφορά αποτέλεσε το έναυσμα για την υλοποίηση δικτυακών εφαρμογών που ανταλλάσσουν μεγάλο όγκο δεδομένων.

Στην αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων συνέβαλε αποφασιστικά η χρήση της οπτικής ίνας ως φυσικού μέσου μετάδοσης. Οι τεχνικές μετάδοσης μέσω οπτικών



		Ρυθμός μετάδοσης		
Όγκος δεδομένων	Χρόνος	28,8 Kbps	10 Mbps	1 Gbps
	25 Kbits	0,9 sec	0,002 sec	0,0002 sec
	2,5 Mbits	88,9 sec	0,25 sec	0,002 sec
	213 Mbits	2,1 hrs	0,4 min	0,2 sec
	961 Mbits	9,5 hrs	1,6 min	0,9 sec
	25 Tbits	240 years	243 days	57 hrs

Πίνακας 11.2: Συγκριτικοί χρόνοι ρυθμού μετάδοσης και όγκου δεδομένων

ινών με τα γνωστά χαρακτηριστικά τους (μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων σε πολύ μικρό χρόνο και με μικρό ποσοστό λάθους) έφτασαν σε ικανοποιητικό επίπεδο ωρίμανσης, έγιναν οικονομικά προσιτές και έκαναν έτσι δυνατή την υλοποίηση προτύπων για δίκτυα υψηλών επιδόσεων.

## 11.1.2 Υπηρεσίες και επιλογές μετάδοσης

Όπως είναι γνωστό, με τον όρο υπηρεσία (*service*) εννοούμε κάποια δυνατότητα που παρέχεται από ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στους χρήστες του. Επομένως είναι φυσικό η υπηρεσία να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες υπηρεσιών που παρέχονται από ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, οι οποίες εξαρτώνται από το είδος της κυκλοφορίας που μεταδίδεται και δρουν συμπληρωματικά.

- ✓ **Υπηρεσία μη πραγματικού χρόνου (*non-real time service*)**. Προϋποθέτει τη μετάδοση μιας ακανόνιστης ή καταιγιστικής (*bursty*) ροής πληροφοριών. Για παράδειγμα, ένας χρήστης τερματικού που στέλνει εντολές σε ένα απομακρυσμένο σύστημα απαιτεί μια μη πραγματικού χρόνου υπηρεσία.

Επειδή η μετάδοση αυτής της μορφής είναι ασυγχρόνιστη, η υπηρεσία λέγεται και **υπηρεσία ασυγχρόνιστης μετάδοσης**. Σημειώνεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα δεδομένα που μεταδίδονται δεν είναι επείγοντα, με το νόημα ότι μια μικρή καθυστέρηση δεν προκαλεί απώλεια πληροφορίας. Συχνά είναι χρήσιμο να τίθενται προτεραιότητες στα δεδομένα μιας ασυγχρόνιστης μετάδοσης. Το *FDDI*, για παράδειγμα, θέτει οκτώ επίπεδα προτεραιότητας.

- ✓ **Υπηρεσία πραγματικού χρόνου (*real time service*)**. Παρέχει εγγυημένα μέγιστη χωρητικότητα και μέγιστη καθυστέρηση πρόσβασης. Η περίπτωση αυτή καλύπτει μεταδόσεις από κόμβους που παράγουν δεδομένα με σταθερό ρυθμό (π.χ. φωνή και βίντεο). Όταν οι κόμβοι συνδεθούν στο δίκτυο, πρέπει να εγγυώνται ότι θα μεταδίδουν με σταθερό ρυθμό (συγχρονισμένη μετάδοση). Η χωρητικότητα διατίθεται σε όλους τους κόμβους που πρόκειται να μεταδώσουν συγχρονισμένα τα δεδομένα τους και το δίκτυο εγγυάται την πρόσβαση των κόμβων μέσα σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Οι κόμβοι μπορούν πάντα να μεταδίδουν τα δεδομένα τους συγχρονισμένα, ενώ είναι πιθανόν να μην τους



Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο όρος του συγχρονισμού δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για την περιγραφή μιας υπηρεσίας αλλά για την περιγραφή του μηχανισμού μετάδοσης στα χαμηλότερα επίπεδα ενός δικτύου, όταν ανταλλάσσονται πληροφορίες. Συγχρονισμένη μετάδοση σημαίνει ότι ο δέκτης και ο πομπός είναι συγχρονισμένοι μέσω ενός κοινού ρολογιού. Τα περισσότερα συστήματα υψηλών ρυθμών μετάδοσης είναι συγχρονισμένα.





επιτρέπεται να μεταδίδουν τα δεδομένα τους ασυγχρόνιστα. Η απουσία συγχρονισμένης κυκλοφορίας μπορεί να θεωρηθεί και ως πλεονέκτημα, αφού τότε είναι δυνατή η χρησιμοποίηση της υπηρεσίας πραγματικού χρόνου για τη διέλευση μηνυμάτων. Λόγω του συγχρονισμένου τρόπου μετάδοσης των δεδομένων η υπηρεσία αυτή λέγεται και **υπηρεσία συγχρονισμένης μετάδοσης**.

- ✓ **Υπηρεσία ισόχρονης μετάδοσης** (*isochronous transmission service*). Είναι μια περίπτωση της υπηρεσίας πραγματικού χρόνου. Συγκεκριμένα, εκτός από την εγγύηση μέγιστης χωρητικότητας που παρέχεται από την υπηρεσία πραγματικού χρόνου, παρέχονται επιπλέον και εγγυήσεις σταθερής καθυστέρησης μεταξύ δύο διαδοχικών ευκαιριών πρόσβασης, όπως επίσης και σταθερή χρονική διάρκεια μετάδοσης. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές, όπως είναι η φωνή, το βίντεο και τα πολυμέσα, που απαιτούν υπηρεσίες ισόχρονης μετάδοσης. Παραδείγματα ισόχρονης μετάδοσης είναι ένα κανάλι σταθερού ρυθμού μετάδοσης 64 Kbps που προορίζεται για PCM ψηφιοποίηση φωνής – δειγματοληψίας 8 KHz με 8 bits ανά δείγμα – ή οι δίσκοι CD που δημιουργούν 32 bits στη συχνότητα των 44,1 KHz για συνολικό ρυθμό 1,4 Mbps.

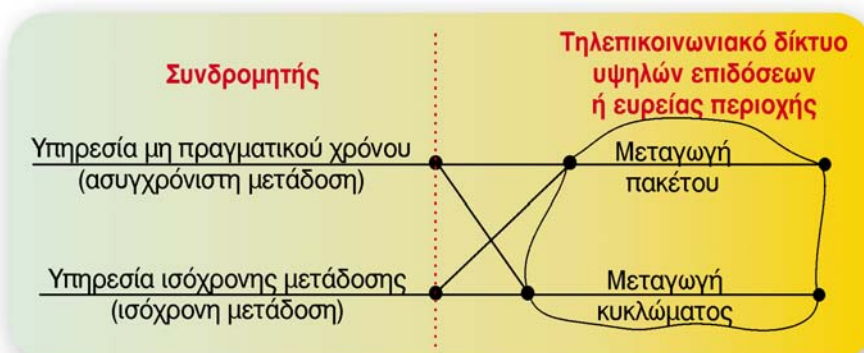
Όπως είναι γνωστό, οι δυνατότητες των υψηλότερων επιπέδων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των πληροφοριών διαμέσου του δικτύου εξαρτώνται από το αν το δίκτυο χρησιμοποιεί τεχνική μεταγωγής κυκλώματος ή τεχνική μεταγωγής πακέτου (Μαθήματα 6.2, 6.3). Γενικά:

- ✓ Αν ο χρήστης απαιτεί κάποια υπηρεσία μη πραγματικού χρόνου (ασυγχρόνιστη μετάδοση), τότε αυτή μπορεί να παρασχεθεί μέσω κάποιου δικτύου που χρησιμοποιεί τεχνικές μεταγωγής πακέτου ή, εναλλακτικά, μεταγωγής κυκλώματος σταθερής χωρητικότητας (σχήμα 11.1).
- ✓ Αν ο χρήστης απαιτεί κάποια υπηρεσία πραγματικού χρόνου (συγχρονισμένη μετάδοση), τότε αυτή μπορεί να παρασχεθεί μέσω κάποιου δικτύου μεταγωγής πακέτου.
- ✓ Αν ο χρήστης απαιτεί κάποια υπηρεσία ισόχρονης μετάδοσης, τότε αυτή μπορεί να παρασχεθεί από κάποιο δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Ισόχρονη κυκλοφορία μπορεί να παρασχεθεί, σε περιορισμένη όμως κλίμακα, και από ορισμένα δίκτυα μεταγωγής πακέτου (σχήμα 11.1).

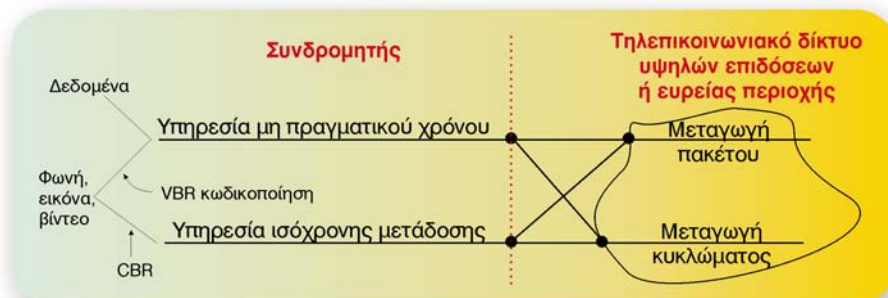
Γενικά, υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις συνδυασμού των απαιτήσεων των χρηστών για τις παρεχόμενες από το δίκτυο υπηρεσίες με τις δυνατότητες μεταφοράς των πληροφοριών, οι οποίες απεικονίζονται στο σχήμα 11.2.

Οι δυνατότητες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Υπηρεσία μη πραγματικού χρόνου (δεδομένα χωρίς κωδικοποίηση) σε κύκλω-



Σχήμα 11.1: Χρησιμοποίηση εναλλακτικών μηχανισμών μετάδοσης για την παροχή διαφορετικών υπηρεσιών



Σχήμα 11.2: Χρήση σχημάτων κωδικοποίησης σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα υψηλών επιδόσεων ή ευρείας περιοχής

μα μεταγωγής σταθερής χωρητικότητας. Στην απλούστερη των περιπτώσεων αφορά τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ των πιο απομακρυσμένων τερματικών κάποιου μεγάλου υπολογιστικού συστήματος μέσω 9,6 Kbps κυκλώματος μεταγωγής. Επομένως πρόκειται για ασυγχρόνιστη κυκλοφορία που μεταδίδεται σε κύκλωμα μεταγωγής. Η περίπτωση αυτή δεν απαιτεί κάποιο σχήμα κωδικοποίησης.

- ✓ Υπηρεσία μη πραγματικού χρόνου (VBR κωδικοποίηση) σε κύκλωμα μεταγωγής σταθερής χωρητικότητας. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι η φωνή και το βίντεο επιδέχονται πολύ καλύτερα τη **μεταβλητού ρυθμού κωδικοποίησης** (VBR: *Variable Bit Rate coding*) λόγω των φυσικών μεταβολών που χαρακτηρίζουν την ομιλία και την κίνηση. Άλλες περιπτώσεις στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί VBR σχήμα κωδικοποίησης είναι η τηλεομοιοτυπία ή μια οθόνη εικόνων, τα γραφικά κτλ.
- ✓ Υπηρεσία μη πραγματικού χρόνου (VBR κωδικοποίηση, δεδομένα χωρίς κωδικοποίηση) σε δίκτυο μεταγωγής πακέτων. Η περίπτωση αυτή παρέχει τη δυνατότητα για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη μετάδοση δεδομένων, προσφέροντας υψηλότερη ποιότητα υπηρεσιών, αφού γίνεται χρήση σχημάτων κωδικοποίησης που ανταποκρίνονται στις φυσικές μεταβολές τις οποίες παρουσιάζουν τα αρχικά σήματα που μεταδίδονται (φωνή, βίντεο κτλ.). Η υπηρεσία αυτή είναι γενική και ως εκ τούτου συμπεριλαμβάνει και τη μετάδοση δεδομένων που είναι ασυγχρόνιστα και δεν απαιτούν σχήμα κωδικοποίησης.
- ✓ Ισόχρονη υπηρεσία (CBR κωδικοποίηση) σε δίκτυο μεταγωγής πακέτου. Η ισόχρονη κυκλοφορία ενός δικτύου μεταγωγής πακέτου λέγεται **προσομοίωση κυκλώματος** (*circuit emulation*). Όπως θα δούμε και στην Ενότητα Ε, η προσομοίωση κυκλώματος αποτελεί ένα μεγάλο θέμα, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται η τεχνική *ATM*. Σ' αυτή την περίπτωση το δίκτυο μπορεί να εξασφαλίσει στο συνδρομητή ένα κύκλωμα σταθερής χωρητικότητας, ακόμη και αν το δίκτυο είναι τύπου μεταγωγής πακέτων *ATM*. Σημειώνεται επίσης ότι η φωνή και το βίντεο είναι παραδείγματα ισόχρονων υπηρεσιών, μόνο αν χρησιμοποιούν σχήματα **σταθερού ρυθμού κωδικοποίησης** (CBR: *Constant Bit Rate coding*). Πριν από την ανάπτυξη των δικτύων ευρείας ζώνης (*B-ISDN*, *ATM*, *SONET* κτλ.) και ορισμένων δικτύων υψηλών ρυθμών μετάδοσης (π.χ. *N-ISDN*, *FDDI-II*, *LATM*) όλα τα σχήματα κωδικοποίησης για τη φωνή και το βίντεο ήταν σταθερού ρυθμού, επειδή αυτά έπρεπε να ταιριάζουν με τις δυνατότητες των δικτύων (κυκλώματα σταθερής χωρητικότητας). Επομένως τα σχήματα κωδικοποίησης ήταν καθορισμένα από το μηχανισμό μετάδοσης του δικτύου.
- ✓ Ισόχρονη υπηρεσία (CBR κωδικοποίηση) σε κύκλωμα σταθερού ρυθμού μετάδοσης. Τέτοια κυκλώματα μπορούν να παρασχεθούν χρησιμοποιώντας αρκετά είδη δικτύων, όπως είναι τα *SONET DQDB*, *ATM*, *ISDN* κτλ.



### 11.1.3 Ταξινόμηση

Τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων τα οποία πρόκειται να αναφερθούν στη συνέχεια είναι τα ακόλουθα:

- ✓ **δίκτυο οπτικής διασύνδεσης κατανεμημένων δεδομένων** (*FDDI: Fiber Distributed Data Interface* ή *FDDI-I* και *FDDI-II*),
- ✓ **Switching Ethernet** (*Μεταγωγικό Ethernet*),
- ✓ **100 Mbps Ethernet** (*Fast Ethernet*),
- ✓ **Gigabit Ethernet** και
- ✓ **τοπικό δίκτυο ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*LATM: Local Asynchronous Transfer Mode*).

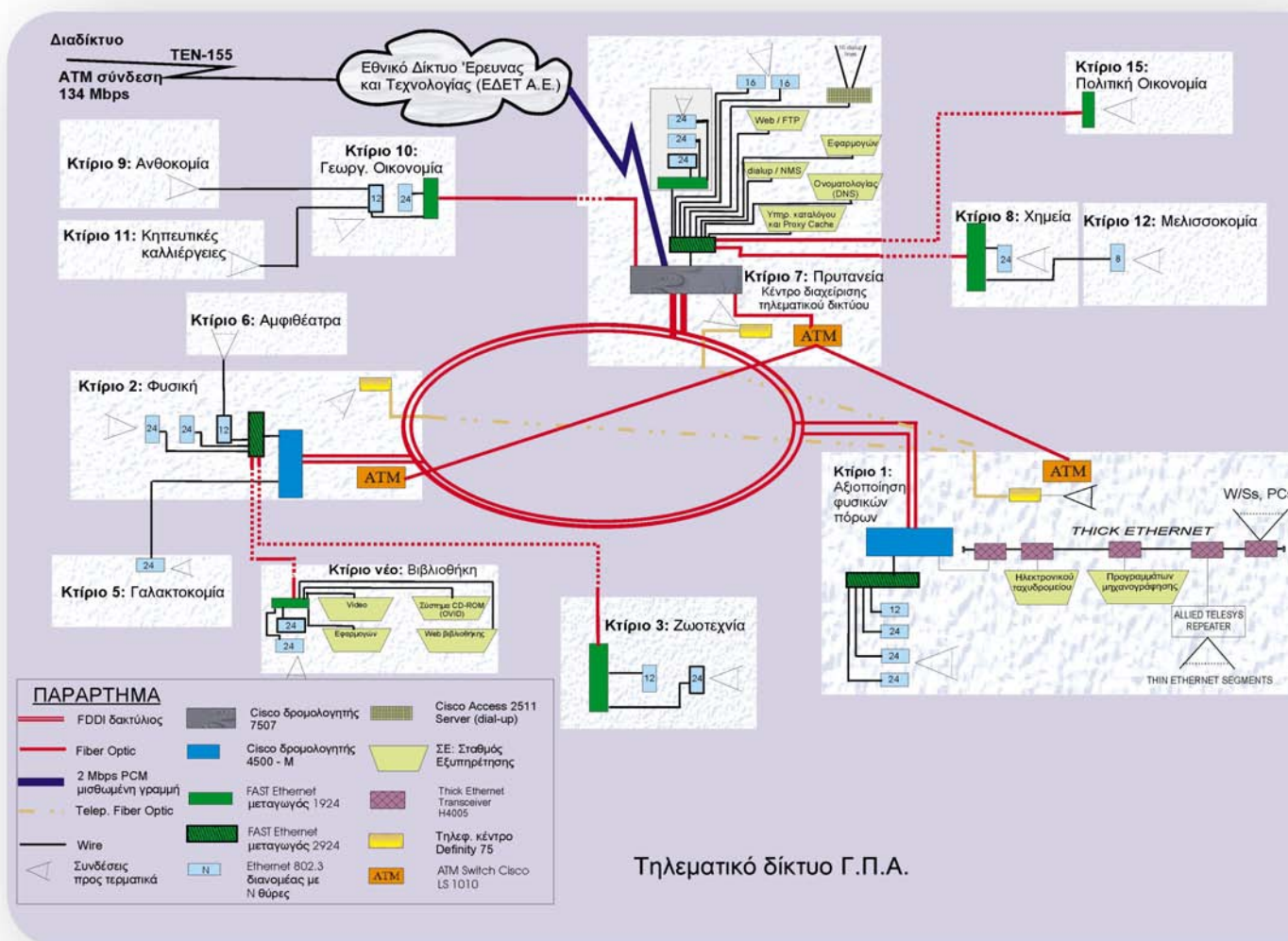
Η ανάπτυξη του *Switching Ethernet*, του *100 Mbps Ethernet*, καθώς και του *Gigabit Ethernet* στηρίχτηκε στο κλασικό *Ethernet*, ακολουθεί τη βασική φιλοσοφία του και διατηρεί κατά ένα μεγάλο μέρος την ίδια αρχιτεκτονική. Με δεδομένο ότι το πρότυπο *Ethernet* είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο των τοπικών δικτύων, η νέα αρχιτεκτονική των δικτύων υψηλών επιδόσεων διατήρησε μια συμβατότητα με τα ήδη εγκατεστημένα τοπικά δίκτυα που ακολουθούν το πρότυπο *Ethernet*, διασφαλίζοντας έτσι την επένδυση της ήδη εγκατεστημένης υποδομής.

Το *100Base-VGAnyLAN* είναι ένα υβριδικό σχήμα του προτύπου *Ethernet* και των μεθόδων πρόσβασης στο φυσικό μέσο που χρησιμοποιεί ο δακτύλιος με κουπόνι διέλευσης (*Token Ring*), ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως επέκταση των δύο αρχικών προτύπων των τοπικών δικτύων. Τέλος, το *LATM* είναι εφαρμογή του γνωστού προτύπου *ATM* για δίκτυα ευρείας περιοχής στα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων.

### 11.1.4 Χρήσεις

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή αυτού του μαθήματος, τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων δημιουργήθηκαν για να καλύψουν ανάγκες εφαρμογών στις οποίες ο ρυθμός μετάδοσης και η αξιοπιστία είναι βασικοί λειτουργικοί παράγοντες. Πρόκειται για εφαρμογές που απαιτούν τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων με αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς, όπως είναι η περίπτωση ενός πλαισίου βίντεο το οποίο θα πρέπει να φτάσει στον προορισμό του, πριν ολοκληρωθεί η απεικόνιση του προηγούμενου πλαισίου. Άλλες περιπτώσεις τέτοιων εφαρμογών είναι η τηλεδιάσκεψη, όπου απαιτείται συγχρονισμένη μετάδοση φωνής, εικόνας, κειμένου και άλλων μορφών πληροφορίας, τα πολυμέσα, καθώς και τα **ενδοδίκτυα** (*intranets*).

Μία άλλη σημαντική εφαρμογή των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων είναι η χρησιμοποίησή τους ως **δικτύων κορμού** (*backbone networks*) για τη διασύνδεση ετερογενών τοπικών δικτύων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης. Τα διασυνδεδεμένα τοπικά δίκτυα σ' αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι χαμηλότερων, ίσων ή και υψηλότερων επιδόσεων από το δίκτυο κορμού. Σημειώνεται ότι το κόστος εγκατάστασης ενός τοπικού δικτύου υψηλών επιδόσεων είναι συνήθως αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος ενός παραδοσιακού τοπικού δικτύου. Στο σχήμα 11.3 φαίνεται ένα τέτοιο δίκτυο κορμού.



Σχήμα 11.3: Παράδειγμα τοπικού δικτύου υψηλών επιδόσεων (δίκτυο Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών)



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων, υπηρεσία μη πραγματικού χρόνου, υπηρεσία πραγματικού χρόνου, υπηρεσία ισόχρονης μετάδοσης, μεταβλητού ρυθμού κωδικοποίηση, σταθερού ρυθμού κωδικοποίηση, προσομοίωση κυκλώματος, *FDDI*, *Switching Ethernet*, *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*, *LATM*, ενδοδίκτυα, δίκτυα κορμού.





## Μάθημα 11.2: Αρχιτεκτονική

### 11.2.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό και από την ανάλυση της αρχιτεκτονικής των παραδοσιακών τοπικών δικτύων, που έγινε στα Μαθήματα 7.2, 7.3 και 7.4, αυτή συμπεριλαμβάνει τα φυσικά μέσα, την τοπολογία του δικτύου και τις τεχνικές πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης. Όμως, παρά το γεγονός ότι σε γενικές γραμμές τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων ακολουθούν ή επεκτείνουν τις παραδοσιακές αρχιτεκτονικές, οι ιδιαιτερότητές τους είναι τέτοιες, που επιβάλλουν την επιμέρους ανάλυση κάθε προτύπου. Στο μάθημα αυτό θα γίνει μια προσπάθεια καταγραφής των κοινών χαρακτηριστικών που εμφανίζουν οι αρχιτεκτονικές αυτές ως προς τα φυσικά μέσα που χρησιμοποιούν, τις τοπολογίες που υιοθετούν και τις μεθόδους πρόσβασης που εφαρμόζουν.

### 11.2.2 Μέσα μετάδοσης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων αποτελούν εξέλιξη των τοπικών δικτύων πρώτης γενιάς. Όλα τα μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα αυτά είναι ενσύρματα και έχουν αναπτυχθεί λεπτομερώς στο Μάθημα 1.2. Εδώ θα γίνει μια απλή αναφορά των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων, καθώς και της ειδικότερης συμβολής τους στα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων που εξετάζονται σ' αυτή την ενότητα. Τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης είναι τα ακόλουθα:

- ✓ **Καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών.** Πρόκειται για ένα από τα παλαιότερα και πιο συνηθισμένα μέσα μετάδοσης, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στο τηλεφωνικό δίκτυο. Όπως είναι γνωστό, ένα καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους αποτελείται από δύο μονωμένα σύρματα (πάχους 1 mm περίπου το καθένα) στριμμένα το ένα γύρω από το άλλο σε ένα ελικοειδές σχήμα, προκειμένου να μειωθούν οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε κοντινά όμοια ζεύγη. Στα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων χρησιμοποιούνται τόσο τα θωρακισμένα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών (*STP*), τα οποία προσφέρουν μεγαλύτερη ανοχή στο θόρυβο, όσο και τα αθωράκιστα (*UTP*), τα οποία είναι φθηνότερα και εγκαθίστανται με μεγαλύτερη ευκολία από τα θωρακισμένα. Ειδικότερα, τα καλώδια *UTP* προσφέρονται σε 8 κατηγορίες (1 έως 5, που εξετάστηκαν στο Μάθημα 1.2, 5E, 6 και 7), έχουν ρυθμούς μετάδοσης που φθάνουν, ανάλογα με την κατηγορία, έως 1 Gbps και χρησιμοποιούνται για αποστάσεις έως 100 μέτρα. Στα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται κυρίως οι κατηγορίες 3, 4 και 5 για την υλοποίηση της οριζόντιας καλωδίωσης σε συστήματα δομημένης καλωδίωσης (*EIA/TIA T568-A*), ενώ στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων χρησιμοποιείται μόνο η κατηγορία 5.
- ✓ **Ομοαξονικό καλώδιο βασικής ζώνης.** Το καλώδιο αυτό, λόγω της κατασκευής του, δίνει έναν καλό συνδυασμό υψηλού εύρους ζώνης και εξαιρετικής ανοχής





στο θόρυβο. Το εύρος ζώνης εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου. Για καλώδια του 1 km, για παράδειγμα, είναι εφικτός ένας ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 10 Mbps. Τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται στα τοπικά δίκτυα υψηλών επιδόσεων, αν το απαιτούμενο μήκος της καλωδίωσης είναι μικρό, οπότε είναι δυνατό να επιτευχθούν υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων.

Στα ομοαξονικά καλώδια εφαρμόζεται η τεχνική κωδικοποίησης *Manchester* ή μια παραλλαγή της, που ονομάζεται διαφορική κωδικοποίηση *Manchester*. Και στις δύο τεχνικές, οι οποίες σχολιάστηκαν στο Μάθημα 1.6, υπάρχει μεταβολή της κατάστασης στο μέσο. Ένα μειονέκτημα της κωδικοποίησης *Manchester* είναι ότι απαιτεί το διπλάσιο εύρος ζώνης της άμεσης δυαδικής κωδικοποίησης, επειδή οι παλμοί έχουν το μισό πλάτος. Η διαφορική κωδικοποίηση *Manchester* απαιτεί σύνθετο εξοπλισμό, αλλά προσφέρει καλύτερη ανοχή στο θόρυβο.

- ✓ **Ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης.** Το καλώδιο αυτό είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή συχνότητα, μεγάλο εύρος συχνοτήτων και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Γενικά, υποστηρίζει όλες τις τοπολογίες δικτύων, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης και η ανοχή στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο είναι υψηλότεροι από το αντίστοιχο καλώδιο βασικής ζώνης. Το ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης επηρεάζεται από θόρυβο χαμηλών συχνοτήτων, ο οποίος εξαρτάται από τη μέθοδο υλοποίησης και τη θέση εγκατάστασης του τοπικού δικτύου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλον στο οποίο δε συνιστάται η χρήση καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών ή άλλων μη θωρακισμένων καλωδίων. Το κόστος του είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο καλώδιο βασικής ζώνης, γι' αυτό και αποτελεί ασύμφορη λύση για μικρά δίκτυα.

- ✓ **Καλώδιο οπτικών ινών.** Η χρησιμοποίηση καλωδίου οπτικής ίνας ως μέσου μετάδοσης στο χώρο των τοπικών δικτύων αυξάνεται ραγδαία. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσα από μία ίνα από γυαλί ή πλαστικό, χρησιμοποιώντας κατάλληλες τεχνικές διαμόρφωσης. Μία κλασική οπτική ίνα (*fiber*) αποτελείται από τον πυρήνα (*core*), την επίστρωση (*cladding*) και το προστατευτικό κάλυμμα. Ως πηγή φωτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια **δίοδος εκπομπής φωτός** (**LED**: *Light Emitting Diode*) ή μια **δίοδος λέιζερ** (**LD**: *Laser Diode*). Ως λήπτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου ακίδας **pin FET** (*pin Field Effect Transistor*). Οι οπτικές ίνες είναι πολύτροπες (*multi-mode*) – κλιμακωτού ή βαθμιαίου δείκτη διάθλασης – ή μονότροπες (*mono-mode* ή *single-mode*). Οι πιο κοινές διαμέτροι ίνας είναι οι 50/125, 62,5/125, 100/140 (διάμετρος πυρήνα / επίστρωσης), από τις οποίες η πιο διαδεδομένη είναι η 62,5/125. Η χρήση των οπτικών ινών είναι ιδιαίτερα ελκυστική σε συστήματα τα οποία απαιτούν μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις και με πολύ υψηλούς ρυθμούς (από 100 έως 625 Mbps για υπάρχοντα δίκτυα και πάνω από 10 Gbps για εργαστηριακές διατάξεις). Οι οπτικές ίνες είναι αξιόπιστες, δεν επηρεάζονται από το θόρυβο και προσφέρουν μεγάλη ασφάλεια. Ως μειονεκτήματά τους θεωρούνται:

- Η διαδικασία εγκατάστασής τους, η οποία απαιτεί μεγάλη εξειδίκευση και ειδικό εξοπλισμό.



- Η δυσκολία σύνδεσης πολλών χρηστών, καθώς και η δυσκολία διαχωρισμού ενός ζεύγους ινών από ένα καλώδιο πολλών ινών, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες κυρίως για συνδέσεις σημείου προς σημείο.
- Το σχετικά υψηλό κόστος των υπόλοιπων στοιχείων που απαιτούνται για τη σύνδεση των οπτικών ινών του δικτύου, γεγονός που τις αποκλείει από τα μικρά τοπικά δίκτυα και γενικότερα από δίκτυα στα οποία το κόστος αποτελεί βασική παράμετρο επιλογής.

### 11.2.3 Τοπολογίες

Όπως είναι γνωστό, με τον όρο τοπολογία δικτύου εννοούμε το σχεδιάγραμμα των διασυνδέσεων που χρησιμοποιούνται ανάμεσα στους διάφορους κόμβους ενός δικτύου. Σήμερα η επιλογή της τοπολογίας έρχεται σε δεύτερη μοίρα σε σχέση με την επιλογή της καλωδίωσης και του λειτουργικού συστήματος ενός τοπικού δικτύου, όμως είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει ένα σχεδιάγραμμα της τοπολογίας του δικτύου, ώστε να μπορεί κάποιος να έχει μια συνολική εικόνα του δικτύου. Οι πιο γνωστές τοπολογίες τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων είναι ο δίαυλος, ο δακτύλιος και το άστρο, που μελετήθηκαν και στο Μάθημα 7.3.

- ✓ **Τοπολογία διαύλου.** Είναι η πιο απλή μορφή διασύνδεσης και αποτελείται από ένα καλώδιο επάνω στο οποίο συνδέονται όλοι οι κόμβοι του δικτύου, οι οποίοι παρακολουθούν την κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το καλώδιο είναι παθητικό, με την έννοια ότι απαιτείται μόνο η λειτουργία των κόμβων εκπομπής (Tx) και λήψης (Rx), για να ολοκληρωθεί η μετάδοση.
- ✓ **Τοπολογία δακτυλίου.** Η τοπολογία αυτή σχηματίζεται με τη διασύνδεση των κόμβων κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματίζουν έναν κλειστό βρόχο. Κάθε κόμβος συνδέεται νοητά (και όχι απαραίτητα σε επίπεδο φυσικής διάταξης) με δύο γειτονικούς του κόμβους, έναν πριν από αυτόν και ένα μετά, ενώ η ροή των μηνυμάτων στο δίκτυο γίνεται προς τη μία κατεύθυνση. Τα μηνύματα κινούνται μέσα στο δακτύλιο από τον κόμβο - αποστολέα προς τον κόμβο - παραλήπτη, με τους ενδιάμεσους κόμβους να παίζουν το ρόλο του αναμεταδότη. Ένα μήνυμα κυκλοφορεί μέσα στο δακτύλιο, μέχρι να φθάσει στον παραλήπτη του ή να επιστρέψει στον αποστολέα του, οπότε και αποσύρεται από το δακτύλιο. Η τοπολογία δακτυλίου απαιτεί τη λειτουργία όλων των κόμβων του δικτύου. Σε περίπτωση που κάποιος κόμβος ή κάποια από τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων δε λειτουργεί, ο βρόχος δεν υφίσταται και έτσι δεν υπάρχει μονοπάτι επικοινωνίας προς όλους τους κόμβους του δικτύου. Γι' αυτό το λόγο ή πρέπει να υπάρχουν εφεδρικές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων ή, αν ένας κόμβος βγει εκτός λειτουργίας, πρέπει η είσοδός του να συνδεθεί με ένα διακόπτη απευθείας στην έξοδό του, ώστε το δίκτυο να συνεχίσει να λειτουργεί.
- ✓ **Τοπολογία άστρου.** Η τοπολογία αυτή μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύνολο από κόμβους οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω ενός ενεργού **διανομέα - ελεγκτή** (*hub - controller*). Η διάταξη αυτή είναι υπεύθυνη για τη διανομή όλων των μηνυμάτων που φθάνουν σ' αυτήν από τους κόμβους του δικτύου.

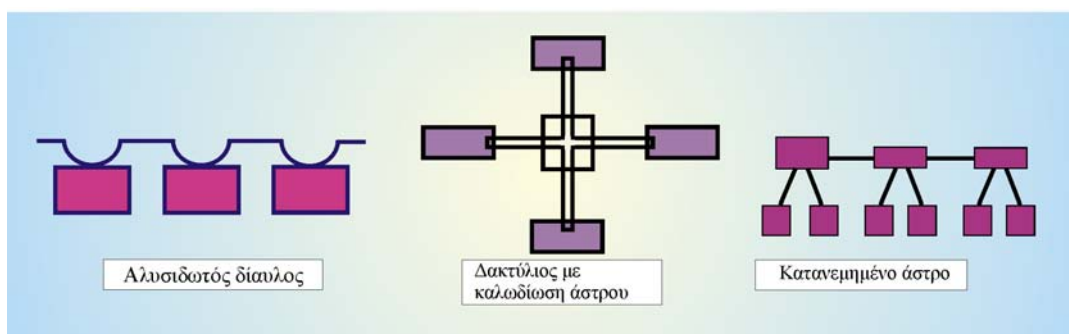


Ενεργό στοιχείο του δικτύου είναι κάθε στοιχείο που προσθέτει ενέργεια στο σήμα μετάδοσης, όπως είναι ο ενισχυτής, ο αναμεταδότης κτλ.

Παθητικό στοιχείο του δικτύου είναι κάθε στοιχείο που μειώνει (εξασθενίζει) το πλάτος του σήματος μετάδοσης, όπως είναι ένα καλώδιο μεγάλου μήκους κτλ.

Αυτός ο τρόπος σύνδεσης απλοποιεί τη μορφή των κόμβων του δικτύου, αλλά δημιουργεί και την ανάγκη για χρήση εξειδικευμένου ενεργού εξοπλισμού στον κεντρικό κόμβο. Επίσης στην τοπολογία αυτή είναι σχετικά εύκολο να ενταχθούν και άλλοι κόμβοι στο δίκτυο. Η χρήση όμως ενός κεντρικού διανομέα - ελεγκτή επιβάλλει ένα ανώτατο όριο στην προσθήκη νέων κόμβων, αφού η διάταξη μπορεί να υποστηρίξει ένα συγκεκριμένο και σχετικά μικρό αριθμό συνδέσεων. Σε περίπτωση που ο διανομέας - ελεγκτής τεθεί εκτός λειτουργίας, δεν υπάρχει τρόπος να επικοινωνήσουν μεταξύ τους οι κόμβοι του δικτύου και έτσι όλο το δίκτυο καθίσταται ανενεργό.

- ✓ Τέλος, έχουν αναπτυχθεί και υβριδικές τοπολογίες, οι οποίες αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω, όπως είναι ο αλυσιδωτός δίαυλος, ο δακτύλιος με καλωδίωση άστρου και το κατανεμημένο άστρο (σχήμα 11.4).



Σχήμα 11.4: Υβριδικές τοπολογίες διαύλου - δακτυλίου - άστρου

## 11.2.4 Μέθοδοι ελέγχου πρόσβασης

Όλα τα τοπικά δίκτυα υπολογιστών, επομένως και τα δίκτυα υψηλών επιδόσεων που εξετάζονται σ' αυτή την ενότητα, δομούνται ως σύνολα διατάξεων οι οποίες πρέπει να μοιραστούν το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Έτσι είναι προφανές ότι απαιτείται η ύπαρξη ενός μηχανισμού πρόσβασης, ο οποίος θα εξασφαλίζει την καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης που παρέχεται από το μέσο μετάδοσης. Ο μηχανισμός αυτός υλοποιείται από τα λεγόμενα πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC: *Medium Access Control*) του επιπέδου 2 του μοντέλου αναφοράς OSI. Τα πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο περιγράφουν τις τεχνικές που επιτρέπουν στους σταθμούς ενός δικτύου να εκπέμπουν και να λαμβάνουν πληροφορίες, διαμοιράζοντας το κοινό επικοινωνιακό μέσο. Αποτελούν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του τοπικού δικτύου, γιατί έχουν άμεση επίδραση στην απόδοσή του, καθώς και στις εφαρμογές που αυτό μπορεί να υποστηρίξει. Στην περίπτωση των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων τα πρωτόκολλα MAC είναι παρόμοια με αυτά των τοπικών δικτύων, που εξετάστηκαν στην Ενότητα Γ.



## 11.2.5 Τυποποιήσεις IEEE

Η λίστα των προτύπων που έχει κατά καιρούς εκδώσει το *IEEE* και αφορά τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα είναι διαθέσιμη και μέσω του Διαδικτύου στη διεύθυνση:

[http://standards.ieee.org/catalog/it\\_toc.html](http://standards.ieee.org/catalog/it_toc.html).

Οι τυποποιήσεις των προτύπων αυτών έχουν ως ακολούθως:

- ✓ Το κλασικό *Ethernet* ορίζεται από το πρότυπο **IEEE 802.3**, το οποίο περιγράφει και τη μέθοδο πρόσβασης *CSMA/CD*.
- ✓ Το *100 Mbps Ethernet* ορίζεται από το πρότυπο **IEEE 802.3u**, το οποίο αποτελεί παραλλαγή του 802.3 και δημοσιεύτηκε τον Ιούλιο του 1994.
- ✓ Το *100Base-VGAnyLAN* ορίζεται από το πρότυπο **IEEE 802.12**, στο οποίο περιγράφεται η **μέθοδος πρόσβασης με αίτημα προτεραιότητας** (*DPAM: Demand Priority Access Method*). Οριστικοποιήθηκε το 1998.
- ✓ Το *Gigabit Ethernet* ορίζεται από τα πρότυπα **IEEE 802.3z** και **IEEE 802.3ab**, ανάλογα με τον τύπο του φυσικού μέσου που χρησιμοποιείται. Τα πρότυπα αυτά δημοσιεύτηκαν το 1997 και το 1999 αντίστοιχα.
- ✓ Για τα *FDDI-I*, *FDDI-II* και *LATM* το *IEEE* δεν έχει δημοσιεύσει πρότυπα.



Πληροφορίες για τα ίδια τα πρότυπα δε διατίθενται δωρεάν. Κάθε ενδιαφερόμενος θα πρέπει να καταβάλει κάποιο ποσό (εφάπαξ ή σε τακτά χρονικά διαστήματα) προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση στην περιγραφή του προτύπου που τον ενδιαφέρει.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Φυσικά μέσα μετάδοσης, καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών, ομαξονικό καλώδιο, οπτική ίνα, τοπολογίες δικτύων, τυποποιήσεις *IEEE*.





## Μάθημα 11.3: Ενδοδίκτυα

### 11.3.1 Εισαγωγή

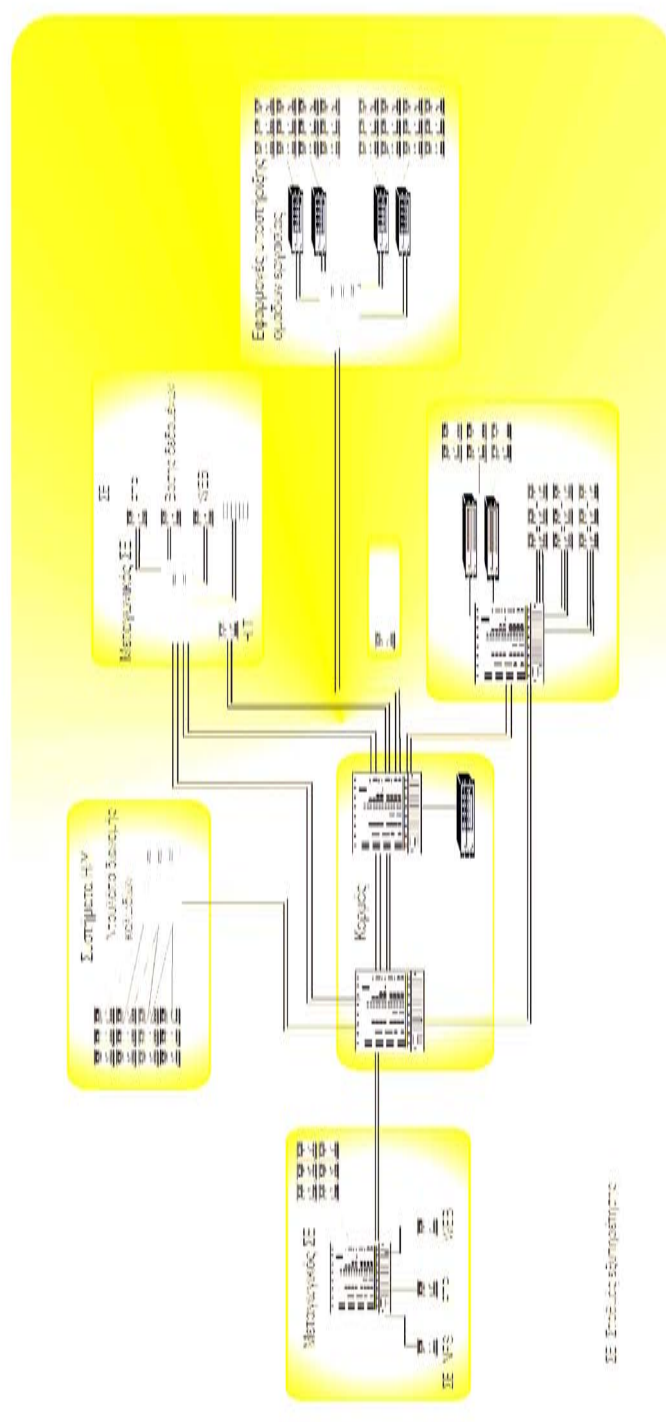
Η άμεση, έγκαιρη και έγκυρη ανταλλαγή και χρήση πληροφοριών γίνονται ολοένα και περισσότερο απαραίτητες προκειμένου οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις να λειτουργήσουν και να πετύχουν τους βασικούς στόχους τους. Οι τεχνολογίες για τη διαχείριση και τη διακίνηση των πληροφοριών μέσα σε μια επιχείρηση ή έναν οργανισμό αλλάζουν με το χρόνο, όμως οι βασικές λειτουργίες τους παραμένουν σχετικά αμετάβλητες. Λειτουργίες που αφορούν την ασφαλή μετάδοση των πληροφοριών, τη συνέπεια, την πληρότητα και τη δυνατότητα πρόσβασης σ' αυτές τη στιγμή που είναι αναγκαίες εξακολουθούν να προβληματίζουν τις διοικήσεις των επιχειρήσεων, οι οποίες οδηγούνται τα τελευταία χρόνια στην αποδοχή πιο εξελιγμένων και ευέλικτων μοντέλων διαχείρισης των πληροφοριών. Τα νέα πληροφοριακά συστήματα, βασισμένα στις δυνατότητες των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων, καθώς και σε δικτυακές **εφαρμογές υποστήριξης ομάδων εργασίας** (*workgroup applications*), προσφέρουν νέα δυναμική στην ανάπτυξη των επιχειρήσεων και των οργανισμών. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι παράμετροι αυτών των ήδη αναπτυσσόμενων πληροφοριακών συστημάτων χρειάζονται περαιτέρω μελέτη, αφού ο ακριβής ρόλος τους και οι κοινωνικές επιπτώσεις τους δεν έχουν πλήρως διευκρινιστεί.

Μία από τις τελευταίες εξελίξεις της τεχνολογίας υπολογιστών για τη διαχείριση και τη διακίνηση των πληροφοριών μέσα σε μια επιχείρηση ή έναν οργανισμό είναι και τα ενδοδίκτυα. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 11.5, ένα **ενδοδίκτυο** (*intranet*) είναι ένα τοπικό δίκτυο που βασίζεται στα πρότυπα επικοινωνίας του Διαδικτύου και στα πρότυπα περιεχομένων του **παγκόσμιου ιστού** (*world-wide web*). Γι' αυτό το λόγο τα εργαλεία ανάπτυξης ενός ενδοδικτύου είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη εφαρμογών του Διαδικτύου και του παγκόσμιου ιστού. Η βασική διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι στα ενδοδίκτυα η πρόσβαση στις πληροφορίες γίνεται εσωτερικά, δηλαδή στο χώρο μιας επιχείρησης ή ενός οργανισμού.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των ενδοδικτύων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Δίνουν τη δυνατότητα γρήγορης ανάπτυξης του πρωτοτύπου μιας εφαρμογής, λόγω χρησιμοποίησης τεχνικών στις οποίες υπάρχει μεγάλη εγκατεστημένη βάση και ανεπτυγμένη τεχνογνωσία.
- ✓ Μπορούν εύκολα να επεκταθούν ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού.
- ✓ Δίνουν στους χρήστες τη δυνατότητα εύκολης πρόσβασης, πλοήγησης και χρησιμοποίησης των πληροφοριών ενός οργανισμού μέσω δημοφιλών **φυλλομετρητών** (*browsers*) του παγκόσμιου ιστού.
- ✓ Είναι προσπελάσιμα από όλα τα διαδεδομένα υπολογιστικά συστήματα.
- ✓ Δίνουν τη δυνατότητα κατανεμημένης επεξεργασίας των πληροφοριών στο τοπικό δίκτυο ενός οργανισμού.
- ✓ Μπορούν να ενσωματώσουν εύκολα τις ήδη υπάρχουσες πηγές πληροφοριών ενός οργανισμού, αφού οι τεχνολογίες *Web* (όπως *CGI* και *Java*), καθώς και





Σχήμα 11.5: Παράδειγμα ενδοδικτύου



αυτές του Διαδικτύου (όπως το *TCP/IP*), προσφέρουν τρόπους για τη μετάδοση δεδομένων και την εκτέλεση προγραμμάτων μεταξύ ετερογενών υπολογιστικών συστημάτων.

- ✓ Υποστηρίζουν τη διακίνηση πολλών τύπων πληροφορίας, όπως ήχου, βίντεο, αλληλεπιδραστικών εφαρμογών κτλ.

### 11.3.2 Ανάγκες που εξυπηρετούν τα ενδοδίκτυα

Οι τεχνολογίες που είχαν μέχρι πρόσφατα αναπτυχθεί παρουσίαζαν το μειονέκτημα της συσσώρευσης πληροφοριών για την περίπτωση που ο χρήστης του συστήματος τις χρειαστεί, κάνοντας έτσι την ανάκτηση και τη διαχείρισή τους δύσκολη. Σε αντίθεση τα ενδοδίκτυα, που ακολουθούν την τεχνική υπερκειμένου του παγκόσμιου ιστού, βασίζονται στην ανάκτηση της πληροφορίας μετά από αίτημα. Έτσι ο χρήστης παίρνει την πληροφορία εύκολα και γρήγορα, τη στιγμή που τη χρειάζεται, ενώ τη διαχείρισή της την αναλαμβάνει αυτός που τη δημιουργεί. Προφανώς η κατανεμημένη διαχείριση της πληροφορίας και η εύκολη ανάκτησή της κάνει τα ενδοδίκτυα έναν ιδιαίτερα ελκυστικό τρόπο επικοινωνίας.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των ενδοδικτύων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ μικρό κόστος ανάπτυξης και παράδοσης,
- ✓ εύκολη εγκατάσταση, χρήση και συντήρηση,
- ✓ δυνατότητα συνεργασίας με παραδοσιακές εφαρμογές και βάσεις δεδομένων,
- ✓ ανοιχτή αρχιτεκτονική - ανεξαρτησία από τις λύσεις ενός κατασκευαστή.

### 11.3.3 Δομικά στοιχεία ενδοδικτύων

#### 11.3.3.1 Δυνατότητα διασύνδεσης

Εκ των πραγμάτων τα ενδοδίκτυα οφείλουν την ύπαρξή τους στη **δυνατότητα διασύνδεσης** (*connectivity*) των τοπικών δικτύων. Επομένως ένα ενδοδίκτυο έχει τη δυνατότητα να διασυνδέει όλα τα τοπικά δίκτυα ενός οργανισμού σε ένα κλειστό σύνολο χρηστών. Η διασύνδεση μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

- ✓ με μια μισθωμένη γραμμή από ένα τοπικό δίκτυο σε ένα άλλο τοπικό δίκτυο του ενδοδικτύου ενός οργανισμού,
- ✓ μέσω **ασφαλούς διασύνδεσης του Διαδικτύου** (*Internet secure link*).

#### 11.3.3.2 Σταθμοί εξυπηρέτησης ενδοδικτύων

Οι **σταθμοί εξυπηρέτησης ενδοδικτύων** (*intranet servers*) είναι εξειδικευμένα υπολογιστικά συστήματα με αυξημένη ισχύ επεξεργασίας, μεγάλο χώρο αποθήκευσης



δεδομένων και διασφάλιση συνεχούς λειτουργίας. Αυτοί οι σταθμοί εξυπηρέτησης βασίζονται παραδοσιακά σε λειτουργικά συστήματα *Unix*. Για το λόγο αυτό τα λειτουργικά συστήματα *Unix* θεωρούνται τα καταλληλότερα και τα πιο ευέλικτα συστήματα για διαδικτυακές εφαρμογές. Οποσδήποτε πρέπει να σημειωθεί η ραγδαία ανάπτυξη των *Windows NT* της Microsoft στο συγκεκριμένο πεδίο.

### 11.3.3.3 Βάσεις δεδομένων

Ίσως το βασικότερο χαρακτηριστικό ενός συστήματος ενδοδικτύου είναι η αποθήκευση και η οργάνωση των απαραίτητων πληροφοριών από το φορέα - κάτοχο του συστήματος. Ένα ενδοδίκτυο πρέπει να έχει τη δυνατότητα να συνδυάζει και να ολοκληρώνει συστήματα βάσεων δεδομένων διαφορετικών τεχνολογιών κάτω από την υπηρεσία του παγκόσμιου ιστού και του Διαδικτύου, χρησιμοποιώντας ένα φυλλομετρητή ως περιβάλλον αλληλεπίδρασης με το χρήστη. Ασφαλώς η ιδιότητα αυτή του ενδοδικτύου ως ενδιάμεσου για το διαμοιρασμό βάσεων δεδομένων μπορεί να γίνει πανίσχυρο εργαλείο στη διαχείριση κρίσιμων επιχειρησιακών συναλλαγών.

### 11.3.3.4 Ασφάλεια

Η **ασφάλεια** (*security*) της επικοινωνίας δεδομένων που παρέχουν τα δίκτυα και οι σταθμοί εξυπηρέτησης είναι ένας πάρα πολύ κρίσιμος παράγοντας σε ένα περιβάλλον ενδοδικτύου. Μέσω της χρήσης των *firewalls*, της **κρυπτογράφησης** (*encryption*) και διάφορων μορφών πιστοποίησης **αυθεντικότητας** (*authentication*) του χρήστη, τα ενδοδίκτυα είναι ικανά να διαχειριστούν θέματα ασφάλειας και αξιοπιστίας.

Στην περίπτωση που ο παγκόσμιος ιστός χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή κρίσιμων δεδομένων τα οποία δεν πρέπει να υποκλαπούν, όπως είναι για παράδειγμα ο αριθμός της πιστωτικής κάρτας ενός χρήστη σε μια διαδικασία χρέωσης, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας μηχανισμός ασφαλούς ανταλλαγής δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά κρυπτογραφούνται συνήθως με κάποια ασφαλή μέθοδο. Μέχρι σήμερα υπάρχουν δύο διαδεδομένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν κρυπτογράφηση με τη χρήση κλειδιού, το **SSL** (*Secure Sockets Layer*) και το **S-HTTP** (*Secure HTTP*). Το SSL προτάθηκε από την εταιρεία Netscape και υποστηρίζεται από όλα τα προϊόντα της (σταθμούς εξυπηρέτησης και φυλλομετρητές). Το πρωτόκολλο αυτό ακολουθεί την **RSA** (*Rivest-Shamir-Adleman*) τεχνική ασφάλειας δεδομένων και λειτουργεί ανάμεσα στα πρωτόκολλα *TCP/IP* και *HTTP*. Αποτελεί δηλαδή έναν ενδιάμεσο μεταξύ του *TCP/IP*, που εξασφαλίζει τη σύνδεση, και του *HTTP*, που πραγματοποιεί την επικοινωνία του σταθμού εξυπηρέτησης με τον πελάτη του παγκόσμιου ιστού.

Το πρωτόκολλο *S-HTTP* επινοήθηκε για να διευκολύνει τις εμπορικές συναλλαγές στο Διαδίκτυο στις οποίες προκύπτουν προβλήματα αυθεντικότητας των σταθμών εξυπηρέτησης και ασφάλειας των δεδομένων που μεταδίδουν οι πελάτες. Οι πελάτες που χρησιμοποιούν το *S-HTTP* μεταδίδουν με ασφάλεια δεδομένα σε σταθμούς εξυπηρέτησης όμοιων προδιαγραφών και οι λήπτες αποκρίνονται με κρυπτογραφημένο μήνυμα που περιλαμβάνει και την ψηφιακή υπογραφή τους. Η αυθεντικότητα



Για την υλοποίηση ενός ασφαλούς ενδοδικτύου –και γενικότερα ενός δικτύου– σημαντική συμβολή έχουν οι **ψηφιακές υπογραφές** (*digital signatures*) οι οποίες χρησιμοποιούνται για να επαληθεύσουν το φορέα αποστολής δεδομένων, καθώς και για να επιβεβαιώσουν ότι τα δεδομένα που στάλθηκαν δεν έχουν τροποποιηθεί. Επίσης σημαντικός είναι και ο ρόλος της κρυπτογράφησης, η οποία χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα είναι εμπιστευτικά.



Η απλούστερη μέθοδος για την επιβεβαίωση της ηλεκτρονικής υπογραφής ενός χρήστη είναι η εισαγωγή μέσω σαρωτή της χειρόγραφης εικόνας της υπογραφής του στο τέλος του κειμένου.



Όπως είναι γνωστό, το κύριο χαρακτηριστικό των ψηφιακών υπογραφών είναι ότι στηρίζονται σε κρυπτογράφηση με δημόσιο κλειδί. Όμως η επαλήθευση του φορέα αποστολής και η ακεραιότητα των δεδομένων (μη τροποποίησή τους) δεν αποτελούν πάντοτε επαρκή στοιχεία για την αναγνώριση του κατόχου του δημόσιου κλειδιού.

της υπογραφής αυτής είναι δυνατόν να αναγνωριστεί από τους πελάτες με βάση κάποιους μηχανισμούς του πρωτοκόλλου.

Ένας ακόμη μηχανισμός που έχει προταθεί είναι η σύσταση X.509 για την έκδοση πιστοποιητικού εγκυρότητας της ψηφιακής υπογραφής, το οποίο θα χρησιμοποιείται για επιβεβαίωση της ταυτότητας του χρήστη. Τα πιστοποιητικά εγκυρότητας εκδίδονται από εξειδικευμένους Φορείς Ηλεκτρονικής Πιστοποίησης (ΦΗΠ) (για παράδειγμα, επισκεφθείτε την ιστοσελίδα [www.verisign.com](http://www.verisign.com)). Πρωταρχικός ρόλος κάθε ΦΗΠ είναι να επιβεβαιώνει την ορθότητα των χαρακτηριστικών ενός δημόσιου κλειδιού και την ταυτότητα του ιδιοκτήτη του. Έτσι αυτός καθίσταται αξιόπιστος και ο ΦΗΠ μπορεί να εκδώσει πιστοποιητικό εγκυρότητας, το οποίο υπογράφεται και αυτό ψηφιακά με το ιδιωτικό κλειδί του ΦΗΠ.

### 11.3.3.5 Διαλειτουργικότητα

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός ενδοδικτύου είναι η δυνατότητα συνεργασίας του με άλλα συστήματα (βάσεις δεδομένων, συστήματα αυτοματισμού γραφείου), ίδιας ή διαφορετικής αρχιτεκτονικής, σε ετερογενές υπολογιστικό περιβάλλον. Η δυνατότητα αυτή του ενδοδικτύου λέγεται **διαλειτουργικότητα** (*interoperability*) και διακρίνεται στα ακόλουθα τρία επίπεδα:

- ✓ **Επίπεδο δικτύου.** Υποστηρίζεται ένα μεγάλο φάσμα πρωτοκόλλων (*TCP/IP*, *IPX/SPX* και *SNA*) για πρόσβαση σε όλα τα διαδεδομένα συστήματα τοπικών δικτύων. Επίσης υποστηρίζονται τα πρωτόκολλα **DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*) και **DNS** (*Domain Name System*) για χρήση των υπηρεσιών ονοματολογίας και διευθυνσιοδότησης του Διαδικτύου, καθώς και πρωτόκολλα πληροφοριών δρομολόγησης, όπως το **RIP** (*Router Information Protocol*), για τη διασύνδεση τοπικών δικτύων σε δίκτυα ευρείας περιοχής.
- ✓ **Επίπεδο δεδομένων.** Στο επίπεδο αυτό υποστηρίζεται η πρόσβαση σε συστήματα αρχείων με χρήση των πρωτοκόλλων *IPX/SPX*, *NCP* και *NFS*. Σχετικά με τις βάσεις δεδομένων η διαλειτουργικότητα εξασφαλίζεται μέσα από τεχνικές όπως οι *ODBC*, *ADO* και *OLEDB*. Όσον αφορά την πρόσβαση σε συστήματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, υποστηρίζονται τα πρωτόκολλα *SMTP*, *IMAP4*, και *POP3*, ενώ, όσον αφορά τη διασύνδεση με άλλα συστήματα υποστηρίζονται πρωτόκολλα όπως το *OfficeVision*.
- ✓ **Επίπεδο εφαρμογών.** Στο επίπεδο αυτό η διαλειτουργικότητα εξασφαλίζεται υποστηρίζοντας το κλασικό μοντέλο πελάτη - σταθμός εξυπηρέτησης και ορισμένες ιδιαίτερες αρχιτεκτονικές, όπως είναι οι *3-tier* και *n-tier* (τεχνολογίες καταμεμημένων αντικειμένων όπως οι *DCOM*, *CORBA* και *EJBs*).



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Ενδοδίκτυο, εφαρμογές υποστήριξης ομάδων εργασίας, παγκόσμιος ιστός, φυλλομετρητής, βάσεις δεδομένων, ασφάλεια, κρυπτογράφηση, αυθεντικότητα, ψηφιακή υπογραφή, διαλειτουργικότητα.



## Μάθημα 12.1: Πρότυπα FDDI-I και FDDI-II

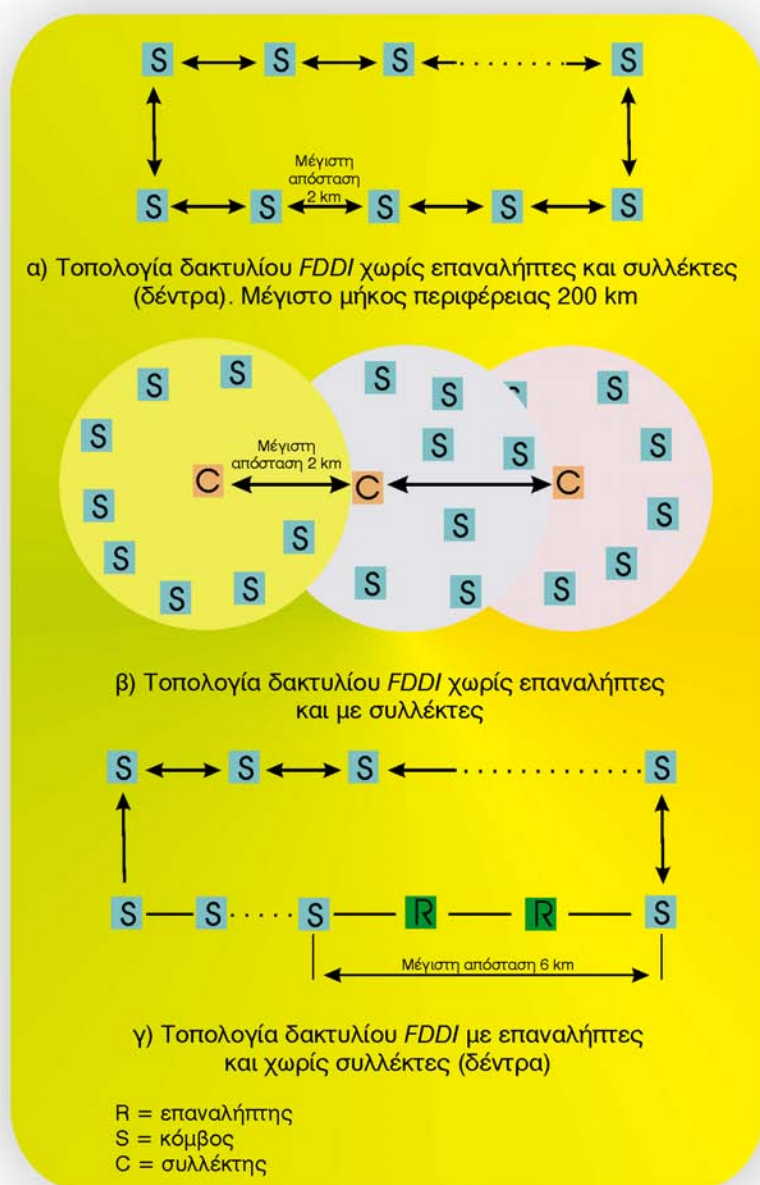
### 12.1.1 Εισαγωγή

Το **δίκτυο οπτικής διασύνδεσης κατανεμημένων δεδομένων (FDDI: Fiber Distributed Data Interface**, γνωστό και ως *FDDI-I*) αναπτύχθηκε από την επιτροπή προτύπων του Εθνικού Αμερικανικού Ινστιτούτου Προτύπων (ANSI) στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Ήταν η εποχή που οι σταθμοί εργασίας είχαν εξαντλήσει το εύρος ζώνης των υπάρχοντων τοπικών δικτύων που βασιζόταν στο *Ethernet* και στο δακτύλιο με κουπόνι διέλευσης (*Token Ring*). Προέκυψε έτσι η ανάγκη δημιουργίας ενός καινούριου μέσου, που θα μπορούσε εύκολα να υποστηρίξει αυτούς τους σταθμούς εργασίας και τις νέες κατανεμημένες εφαρμογές τους. Ταυτόχρονα η αξιοπιστία του δικτύου έπαιζε όλο και πιο σημαντικό ρόλο, καθώς οι διαχειριστές συστημάτων εκτελούσαν πλέον κρίσιμες δικτυακές εφαρμογές (κατανεμημένα συστήματα), αποστασιοποιούμενοι από τη λογική του ενός ισχυρού υπολογιστικού συστήματος που εκτελεί μόνο του όλη την εργασία. Το *FDDI* αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει αυτές τις ανάγκες. Σημειώνεται ότι το ANSI, αφού ολοκλήρωσε τον καθορισμό του *FDDI*, το υπέβαλε στο Διεθνή Οργανισμό Προτύπων (ISO), ο οποίος δημιούργησε μια διεθνή έκδοση του *FDDI* που είναι απολύτως συμβατή με την έκδοση του ANSI.

### 12.1.2 Τοπολογία - φυσικό μέσο μετάδοσης

Το *FDDI* είναι ένα υψηλών επιδόσεων τοπικό δίκτυο που χρησιμοποιεί ως φυσικό μέσο μετάδοσης τις πολύτροπες (*multi-mode*) οπτικές ίνες, τοπολογία διπλού δακτυλίου (Μάθημα 7.3) και μέθοδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο το κουπόνι διέλευσης (*Token Passing*). Η ικανότητα μετάδοσης δεδομένων φτάνει τα 100 Mbps (ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν μέχρι και 200 Mbps). Η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων (επαναληπτών) του δικτύου είναι 2 km. Το πρότυπο μπορεί να επιτρέψει τη σύνδεση μέχρι και 1.000 κόμβων σε μια μέγιστη απόσταση 200 km (σχήμα 12.1). Εξαιτίας του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων που διαθέτει χρησιμοποιείται συνήθως ως κορμός διασύνδεσης άλλων τοπικών δικτύων με μικρότερη ικανότητα μετάδοσης. Το *FDDI* χρησιμοποιεί, αντί για λείζερ, πηγές φωτός με διόδους φωτοεκπομπής (*LEDs*) λόγω του χαμηλότερου κόστους τους (Μάθημα 11.2). Τα χαρακτηριστικά σχεδίασης του *FDDI* απαιτούν λιγότερο από ένα σφάλμα στα  $2,5 \cdot 10^{10}$  bits. Λειτουργεί με αποδεκτή απώλεια ισχύος 11 dB μεταξύ δύο κόμβων, γεγονός που σημαίνει ότι το 92% περίπου της ισχύος του σήματος μπορεί να χαθεί ανάμεσα σε δύο κόμβους. Το σήμα αναπαράγεται μερικώς στον πομποδέκτη (*transceiver*) κάθε κόμβου.





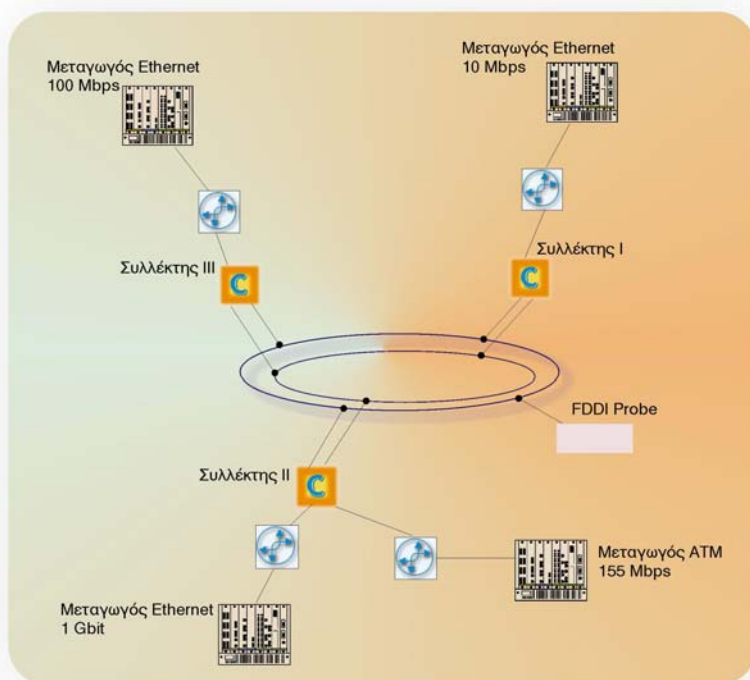
Σχήμα 12.1: Σε τοπολογία δακτυλίου χωρίς συλλέκτες ένας κόμβος απέχει από τον επόμενο του 2 km το πολύ, με αποτέλεσμα ο πρώτος να απέχει, για παράδειγμα, από τον πέμπτο 10 km. Σε τοπολογία δακτυλίου με συλλέκτες όσοι κόμβοι δε βρίσκονται επάνω στον κύριο δακτύλιο θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους απόσταση 2 km.

λίου και προφανώς αποτελούν οικονομικότερη λύση. Για την εγκατάσταση ενός δικτύου μπορούν να επιλεγούν κόμβοι από την κλάση Α ή τη Β ή και από τις δύο κλάσεις, ανάλογα με το πόσο σημαντική είναι η ανοχή σφαλμάτων για το συγκεκριμένο δίκτυο.

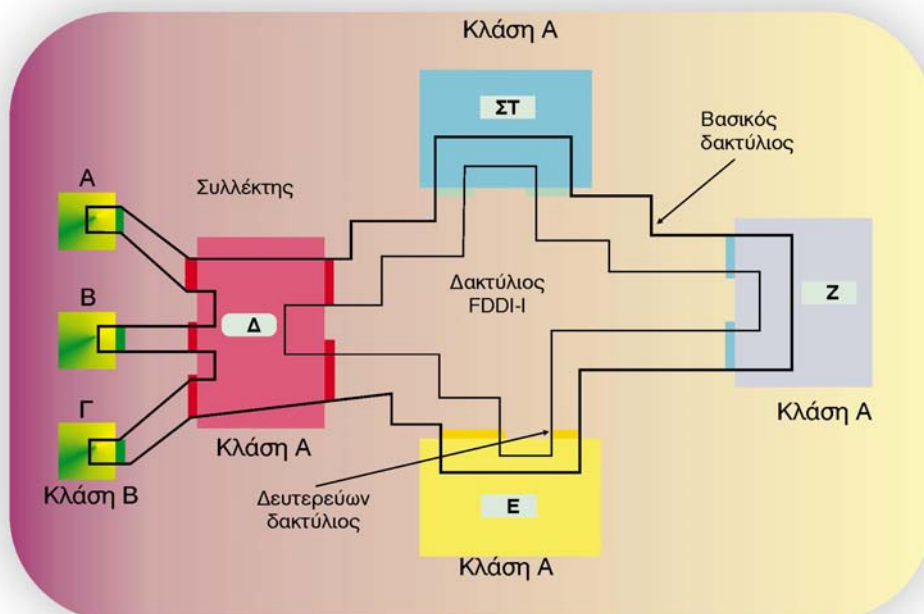
Τα πλεονεκτήματα του FDDI μπορούν να επεκταθούν και σε σταθμούς εργασίας διαμέσου ενός ή περισσότερων συλλεκτών (*concentrators*) οι οποίοι επιτυγχάνουν τη διαδικασία της φωτολεκτρικής μετατροπής για πολλές προσαρτημένες συσκευές. Η σύνδεση του συλλέκτη με τους σταθμούς εργασίας επιτυγχάνεται μέσω καλωδίωσης UTP για αποστάσεις μικρότερες από 100 m και βασίζεται στο πρότυπο που γενικά είναι γνωστό ως CDDI (*Cable Distributed Data Interface*) ή TPDDI (*Twisted-Pair Distributed Data Interface*). Η παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας του FDDI γίνεται με τη βοήθεια μιας διάταξης που λέγεται FDDI Probe (σχήμα 12.2).

Η καλωδίωση του FDDI αποτελείται από δύο δακτυλίους οπτικών ινών. Ο ένας από αυτούς λέγεται **βασικός δακτύλιος** (*primary ring*) και μεταδίδει με τη φορά των δεικτών του ρολογιού (αριστερόστροφα), ενώ ο άλλος λέγεται **δευτερεύων δακτύλιος** (*secondary ring*) και μεταδίδει αντίστροφα (δεξιόστροφα). Στην περίπτωση που κάποιος από τους δύο δακτυλίους σπάσει, ο δευτερεύων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρικός, ενώ στην περίπτωση που σπάσουν και οι δύο στο ίδιο περίπου σημείο, μπορούν να ενωθούν σχηματίζοντας ένα νέο δακτύλιο διπλάσιου σχεδόν μήκους. Κάθε κόμβος έχει διακόπτες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ένωση των δύο δακτυλίων ή ακόμη και για την παράκαμψη του κόμβου ο οποίος θα παρουσιάσει προβλήματα. Ένα τυπικό δίκτυο FDDI φαίνεται στο σχήμα 12.3.

Στο FDDI υπάρχουν δύο κατηγορίες κόμβων, οι κόμβοι **κλάσης Α** και οι κόμβοι **κλάσης Β**. Οι κόμβοι που ανήκουν στην κλάση Α έχουν δύο φυσικές συνδέσεις (*DAS: Dual Attach Station*) και συνδέονται και με τους δύο δακτυλίους, ενώ οι κόμβοι που ανήκουν στην κλάση Β έχουν μία φυσική σύνδεση (*SAS: Single Attach Station*), συνδέονται μόνο με τον έναν από τους δύο δακτυλίους.



Σχήμα 12.2: Τυπική διάταξη δακτυλίου FDDI-I σε δίκτυο κορμού, συνδεδεμένων με διάφορα υποδίκτυα Ethernet (10, 100, 1.000 Mbps) και ATM



Σχήμα 12.3: Τα στοιχεία ενός δικτύου FDDI-I



### 12.1.3 Προδιαγραφές του FDDI-I

Το *FDDI-I* έχει σχέση με εκείνα τα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI* που αφορούν το φυσικό μέσο και τον τρόπο πρόσβασης σ' αυτό. Το *FDDI-I* είναι στην πραγματικότητα μια συλλογή από τέσσερις διαφορετικές προδιαγραφές –καθεμία με συγκεκριμένη λειτουργία– οι οποίες, όταν συνδυαστούν, παρέχουν συνδέσεις υψηλού ρυθμού μετάδοσης μεταξύ των πρωτοκόλλων των ανώτερων επιπέδων (όπως το *TCP/IP* και το *IPX*) και μέσων (όπως η οπτική ίνα).

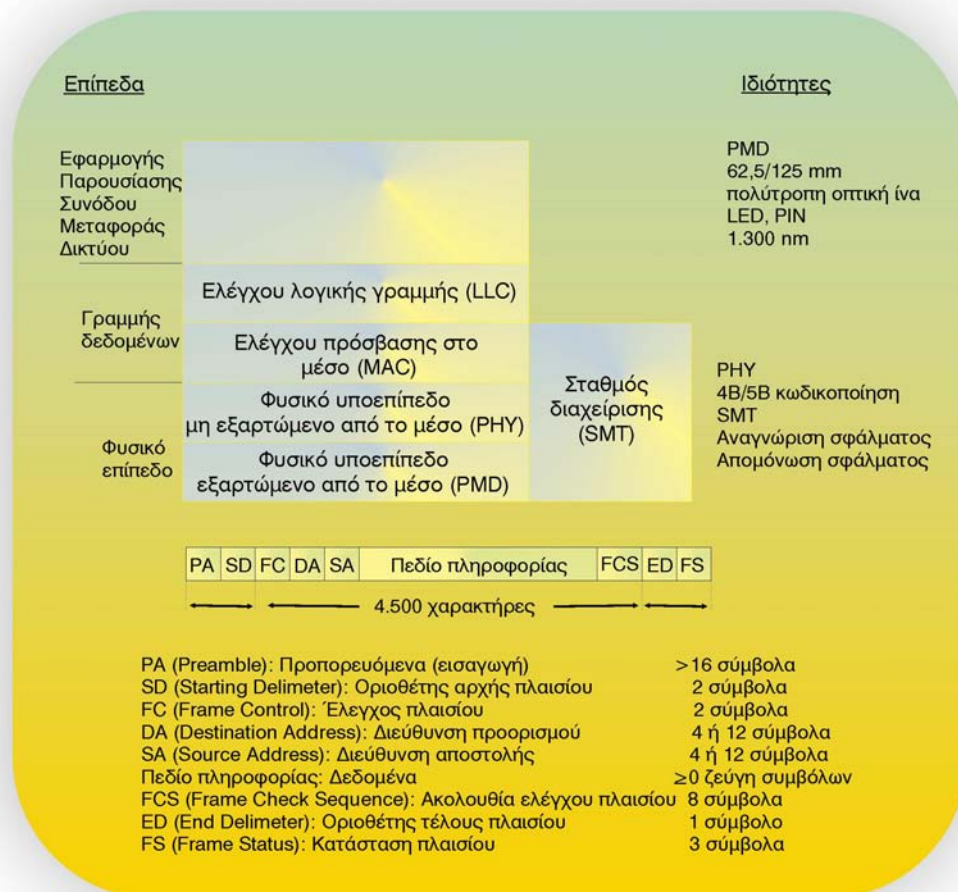
Οι τέσσερις προδιαγραφές του *FDDI-I* καθορίζουν τις λειτουργίες τμημάτων του επιπέδου γραμμής δεδομένων και του φυσικού επιπέδου ως ακολούθως:

- ✓ Προδιαγραφή του **υποεπιπέδου ελέγχου πρόσβασης στο μέσο** (*MAC: Media Access Control sublayer*). Το υποεπίπεδο *MAC* αποτελεί τμήμα του επιπέδου γραμμής δεδομένων. Η προδιαγραφή του υποεπιπέδου *MAC* καθορίζει τον τρόπο πρόσβασης στο μέσο, την τυποποίηση του πλαισίου, το χειρισμό του κουπονιού, τη διευθυνσιοδότηση, τους αλγορίθμους για τον υπολογισμό της τιμής του **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*) και το μηχανισμό ανάκαμψης από λάθη.
- ✓ Προδιαγραφή του **φυσικού υποεπιπέδου που είναι ανεξάρτητο από το μέσο** (*PHY: PHYSical sublayer medium independent*). Το υποεπίπεδο *PHY* αποτελεί τμήμα του φυσικού επιπέδου. Η προδιαγραφή του υποεπιπέδου *PHY* καθορίζει τις διαδικασίες κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης των δεδομένων, τις απαιτήσεις χρονισμού και τη λειτουργία **δημιουργίας πλαισίων** (*framing*).
- ✓ Προδιαγραφή του **φυσικού υποεπιπέδου που είναι εξαρτώμενο από το μέσο** (*PMD: Physical sublayer Medium Dependent*). Το υποεπίπεδο *PMD* αποτελεί τμήμα του φυσικού επιπέδου. Η προδιαγραφή του υποεπιπέδου *PMD* καθορίζει τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης – συμπεριλαμβανομένων των συνδέσμων των οπτικών ινών – τα επίπεδα ισχύος, το ρυθμό λαθών (*bit-error*), τα οπτικά στοιχεία και τους συνδέσμους.
- ✓ Προδιαγραφή του **σταθμού διαχείρισης** (*SMT: Station Management*). Η προδιαγραφή *SMT* καθορίζει τη διαμόρφωση ενός σταθμού *FDDI-I*, τη διαμόρφωση και τα χαρακτηριστικά ελέγχου του δακτυλίου – συμπεριλαμβανομένων της εισαγωγής και της αφαίρεσης ενός σταθμού – την καταχώριση, την απομόνωση λάθους και την ανάκαμψη, τη δρομολόγηση και τη συλλογή στατιστικών στοιχείων.

Ο κύριος σκοπός του *FDDI-I* είναι να παρέχει σύνδεση μεταξύ των πρωτοκόλλων των υψηλότερων επιπέδων του *OSI* και του μέσου που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των συσκευών του δικτύου. Στο σχήμα 12.4 απεικονίζονται οι τέσσερις προδιαγραφές του *FDDI-I*, οι μεταξύ τους σχέσεις, καθώς και η σχέση τους με το υποεπίπεδο *LLC* (*Logical Link Control*) του *IEEE*. Το υποεπίπεδο *LLC* είναι συστατικό του δεύτερου επιπέδου, δηλαδή του *MAC*, στο μοντέλο αναφοράς *OSI*.



Τα πλεονεκτήματα του *FDDI* είναι δυνατόν να επεκταθούν σε σταθμούς εργασίας διαμέσου ενός ή περισσότερων **συλλεκτών** (*concentrators*), οι οποίοι εκτελούν τη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής για πολλές προσαρτημένες συσκευές. Η σύνδεση του συλλέκτη με τους σταθμούς εργασίας επιτυγχάνεται μέσω καλωδίωσης *UTP* (για αποστάσεις μικρότερες από 100 m) και βασίζεται στο πρότυπο που γενικά είναι γνωστό ως **CDDI** (*Cable Distributed Data Interface*) ή **TPDDI** (*Twisted-Pair Distributed Data Interface*). Η παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας του *FDDI* γίνεται με τη βοήθεια μιας διάταξης που λέγεται *FDDI Probe*.



Σχήμα 12.4: Αρχιτεκτονική του FDDI-I

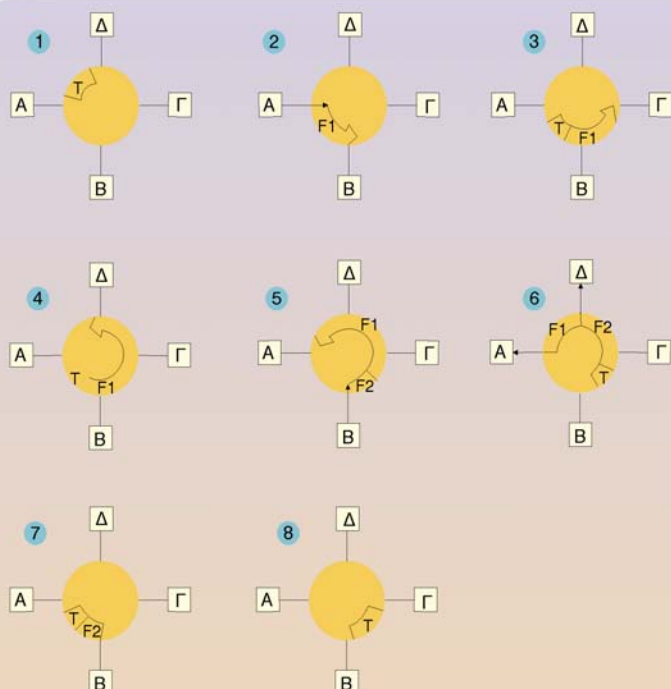
### 12.1.4 Λειτουργία του FDDI-I

Στο φυσικό επίπεδο δε χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση *Manchester* (Μάθημα 1.6), αφού για τα 100 Mbps απαιτεί 200 megabaud, κάτι που είναι πολύ δαπανηρό. Αντί γι' αυτή χρησιμοποιείται η **κωδικοποίηση τέσσερα από τα πέντε** (*4B/5B: four out of five*), σύμφωνα με την οποία κάθε ομάδα από 4 σύμβολα του MAC (τα 0, 1, καθώς και ορισμένα σύμβολα που δεν παριστάνουν δεδομένα, όπως για παράδειγμα η έναρξη πλαισίου) κωδικοποιείται (παριστάνεται) με ένα σύμβολο που αποτελείται από πέντε κυψελίδες. Κάθε κυψελίδα περιέχει ένα στοιχείο σήματος (παρουσία ή απουσία φωτός). Με τον τρόπο αυτό η απόδοση ανεβαίνει στο 80%. Από τους 32 συνδυασμούς ( $2^5=32$ ) που μπορούν να γίνουν, η κωδικοποίηση των συμβόλων περιλαμβάνει 16 συνδυασμούς για τα δεδομένα, 3 για τους οριοθέτες, 2 για τον έλεγχο, 3 για τη σηματοδότηση του υλικού, ενώ 8 παραμένουν αχρησιμοποίητοι. Το σχήμα αυτό εξασφαλί-



Εάν όλοι οι κόμβοι στο δακτύλιο είναι κόμβοι *FDDI-II*, τότε ο δακτύλιος μπορεί να επιτελέσει και την υβριδική λειτουργία, η οποία παρέχει και ισόχρονη υπηρεσία εκτός από τις υπηρεσίες που προσφέρει η βασική λειτουργία. Στη βασική λειτουργία του *FDDI-II* το συγχρονισμένο και το ασυγχρόνιστο φορτίο μεταδίδονται όπως και στο *FDDI-I*.





1. Ο κόμβος Α αναμένει την άφιξη του κουπονιού.
2. Ο κόμβος Α δεσμεύει το κουπόνι και αρχίζει τη μετάδοση του πλαισίου F1 που απευθύνεται στον κόμβο Γ.
3. Ο κόμβος Α προσθέτει το κουπόνι στο τέλος του πλαισίου F1.
4. Ο κόμβος Γ αντιγράφει το πλαίσιο F1 που απευθύνεται σ' αυτόν.
5. Ενώ ο κόμβος Γ συνεχίζει να αντιγράφει το πλαίσιο F1, ο κόμβος Β δεσμεύει το κουπόνι από το δακτύλιο και αρχίζει τη μετάδοση του πλαισίου F2 που απευθύνεται στον κόμβο Δ.
6. Ο κόμβος Β αποδεσμεύει το κουπόνι. Ο κόμβος Δ αντιγράφει το πλαίσιο F2 το οποίο απευθύνεται σ' αυτόν και ο κόμβος Α αποσύρει από το δακτύλιο το πλαίσιο F1 που έστειλε.
7. Ο κόμβος Α αποσύρει πλήρως το πλαίσιο F1 και αφήνει να περάσει το πλαίσιο F2 που δεν απευθύνεται σ' αυτόν, καθώς και το κουπόνι, αφού δεν έχει πλαίσιο για μετάδοση.
8. Ο κόμβος Β αποσύρει πλήρως το πλαίσιο F2 που έστειλε και αφήνει το κουπόνι να περάσει, αφού δεν έχει άλλο πλαίσιο για μετάδοση.

Σχήμα 12.5: Κυκλοφορία του κουπονιού σύμφωνα με το πρότυπο FDDI-I

το πλαίσιο του να κάνει το γύρο του δακτυλίου και να επιστρέψει. Σε ένα FDDI-I με 1.000 κόμβους και 200 km καλωδίωσης οπτικής ίνας ο χρόνος που χάνεται περιμένοντας το πλαίσιο να κάνει το γύρο του δακτυλίου είναι σημαντικός. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να επιτρέπεται στον κόμβο να βάλει ξανά ένα νέο κουπόνι επάνω στο δακτύλιο, μόλις μεταδώσει τα πλαίσιά του. Επομένως, αν ο δακτύλιος είναι μεγάλος, μπορούν να υπάρχουν ταυτόχρονα πολλά πλαίσια επάνω του (σχήμα 12.5).

Το FDDI-I επιτρέπει τη μετάδοση πλαισίων παρόμοιων με αυτά του προτύπου IEEE 802.5, τα οποία συμπεριλαμβάνουν τα δυαδικά ψηφία επιβεβαίωσης λήψης στο πεδίο κατάστασης πλαισίου. Επίσης επιτρέπει σε ειδικά συγχρονισμένα πλαίσια δεδομένων PCM (Pulse Code Modulation) να μεταδίδονται με κυκλώματα ή δεδομένα ISDN (Integrated Services Digital Network). Τα συγχρονισμένα πλαίσια δημιουργούνται κάθε

ζει τη δυνατότητα συγχρονισμού και την αύξηση της αξιοπιστίας στη λήψη.

Το πλεονέκτημα αυτού του σχήματος είναι η εξοικονόμηση εύρους ζώνης, ενώ το μειονέκτημα είναι η απώλεια της δυνατότητας του αυτο-χρονισμού της κωδικοποίησης Manchester. Για την αναπλήρωση αυτής της δυνατότητας χρησιμοποιείται μια μεγάλη σειρά δυαδικών ψηφίων η οποία συγχρονίζει το ρολόι του δέκτη με το ρολόι του πομπού. Επιπλέον όλα τα ρολόγια πρέπει να έχουν απόκλιση το πολύ 0,005%, ώστε πλαίσια 4.500 χαρακτήρων, το πολύ, να μπορούν να σταλούν –χωρίς κίνδυνο μετατόπισης του ρολογιού του δέκτη– μακριά από το συγχρονισμό μετάδοσης της σειράς δεδομένων.

Το FDDI-I βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.5. Για τη μετάδοση ενός πλαισίου δεδομένων ένας κόμβος πρέπει πρώτα να πάρει στην κατοχή του το κουπόνι, το οποίο απομακρύνει από το δίκτυο, όταν αυτό ολοκληρώσει τον κύκλο του μέσα στο δακτύλιο. Μία διαφορά ανάμεσα στο IEEE 802.5 και στο FDDI-I είναι ότι στο IEEE 802.5 ένας κόμβος μπορεί να μη δημιουργήσει ένα νέο κουπόνι, μέχρι





125  $\mu\text{sec}$  από έναν κύριο κόμβο, για να δώσουν 8.000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο τα οποία απαιτούνται από τα συστήματα *PCM*. Καθένα από αυτά τα πλαίσια έχει μία επικεφαλίδα, δεδομένα των 16 χαρακτήρων που δε χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος, καθώς και δεδομένα 96 χαρακτήρων, το πολύ, που χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος, δηλαδή 96, το πολύ, κανάλια *PCM* ανά πλαίσιο.

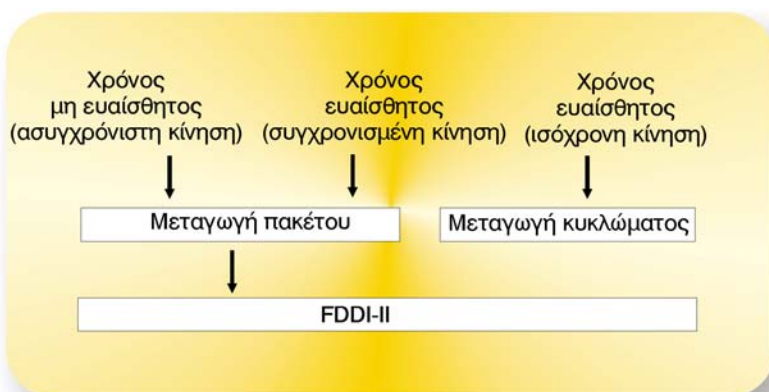
Ένας κόμβος μπορεί να αποκτήσει μία ή περισσότερες χρονοθυρίδες σε ένα συγχρονισμένο πλαίσιο, οι οποίες φυλάσσονται σ' αυτό, μέχρι να αποδεσμευτούν με συγκεκριμένη εντολή. Το συνολικό εύρος ζώνης που δε χρησιμοποιείται από τα συγχρονισμένα πλαίσια κατανέμεται ανάλογα με τη ζήτηση. Οι χρονοθυρίδες που είναι διαθέσιμες να εκχωρηθούν σε κάθε πλαίσιο είναι διακριτές μέσω μιας **μάσκας** (*mask*) δυαδικών ψηφίων του ίδιου του πλαισίου. Η ασυγχρόνιστη κυκλοφορία διαιρείται σε κατηγορίες προτεραιοτήτων, με την υψηλότερη προτεραιότητα να έχει τον πρώτο λόγο στο εύρος ζώνης που απομένει.

Το πρωτόκολλο *MAC* απαιτεί κάθε κόμβος να έχει ένα μετρητή χρόνου για την περιφορά του κουπονιού, ώστε να κρατάει στοιχεία σχετικά με το χρόνο που πέρασε από την τελευταία εμφάνισή του. Ένας αλγόριθμος προτεραιότητας, παρόμοιος με αυτόν του *IEEE 802.4*, χρησιμοποιείται για να καθορίζει ποιες κατηγορίες προτεραιοτήτων μπορούν να μεταδοθούν σε ένα συγκεκριμένο πέρασμα του κουπονιού. Εάν το κουπόνι προπορεύεται του προγραμματισμένου χρόνου, μπορούν να μεταδοθούν όλες οι προτεραιότητες, εάν όμως βρίσκεται πίσω από τον προγραμματισμένο χρόνο, μπορεί να μεταδοθεί μόνο η υψηλότερη προτεραιότητα.

Ο αριθμός 96 προτιμήθηκε, διότι επιτρέπει 4 κανάλια *T 1* ( $4 * 24$ ) στα 1,544 Mbps (Αμερικής) ή 3 κανάλια *E 1* ( $3 * 32$ ) στα 2,048 Mbps (Ευρώπης) να ταιριάζουν σε ένα πλαίσιο, κάνοντάς το έτσι κατάλληλο για χρήση σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Ένα συγχρονισμένο πλαίσιο δεσμεύει ανά 125  $\mu\text{sec}$  6,144 Mbps εύρους ζώνης για τα 96 κανάλια που μεταδίδονται με κυκλώματα. Επομένως 16, το πολύ, συγχρονισμένα πλαίσια ανά 125  $\mu\text{sec}$  χρησιμοποιούν μέχρι 1.536 κανάλια *PCM* που δεσμεύουν μέχρι 98,3 Mbps.

## 12.1.5 Περιγραφή του FDDI-II

Ένας κόμβος *FDDI-II* λειτουργεί είτε στη βασική είτε στην υβριδική μορφή, ανάλογα με την παρουσία ισόχρονης κίνησης, δηλαδή κίνησης σταθερού ρυθμού μετάδοσης (Μάθημα 11.1). Η βασική μορφή λειτουργεί όπως και στην περίπτωση του *FDDI-I*. Όταν ο χρήστης ζητάει από τον *SMT* να μεταδώσει ισόχρονη κίνηση μέσω κατάλληλης σηματοδότησης, ο *SMT* μεταφέρει το δακτύλιο στην υβριδική μορφή. Επομένως το *FDDI-II*, εκτός από τις συγχρονισμένες και τις ασυγχρόνιστες υπηρεσίες που παρέχει — υπηρεσίες που παρέχονται με τον ίδιο τρόπο και από το *FDDI-I* — παρέχει και ισόχρονες υπηρεσίες (*GBR* κωδικοποίηση) σε κυκλώματα μεταγωγής για φωνή και βίντεο (κυκλώματα με σύνδεση). Επίσης σημειώνεται ότι το *FDDI-II* επιτρέπει στα πρωτόκολλα να εφαρμόζουν μηχανισμούς που δίνουν τη δυνατότητα σε μια σύνδεσή του να παρέχει ισόχρονη υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων σε κυκλώματα μεταγωγής. Μ' αυτό τον τρόπο το *FDDI-II* έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται τη φωνή, το βίντεο, καθώς και τα δεδομένα (σχήμα 12.6).



Σχήμα 12.6: Υπηρεσίες παρεχόμενες από το *FDDI-II*



Οποιαδήποτε εφαρμογή χρησιμοποιεί για τη μετάδοση των δεδομένων της μόνιμο κύκλωμα μπορεί να υλοποιηθεί μέσω της υβριδικής λειτουργίας του *FDDI-II*, αρκεί να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για το εύρος ζώνης.

## 12.1.6 Προδιαγραφές του FDDI-II

Στο σχήμα 12.7 παρουσιάζονται τα στοιχεία των πρωτοκόλλων του *FDDI-II*. Στο φυσικό επίπεδο η διαχείριση του σταθμού εργασίας γίνεται όπως και στο απλό *FDDI-I*. Στο επίπεδο *MAC* προστέθηκαν δύο νέα στοιχεία, τα *I-MAC* και *H-MUX*. Το *I-MAC* (*Isochronous Media Access Control*) καθορίζει τους κανόνες διαμοιρασμού των καναλιών που δεσμεύονται για μεταγωγή κυκλώματος. Το *H-MUX* (*Hybrid MULTipleXer*) συνδυάζει το φορτίο μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου από το σταθμό εκπομπής στο φυσικό μέσο. Οι προδιαγραφές για τα *H-MUX* και *I-MAC* συνδυάζονται σε ένα πρότυπο που ονομάζεται **HRC** (*Hybrid Ring Control*).

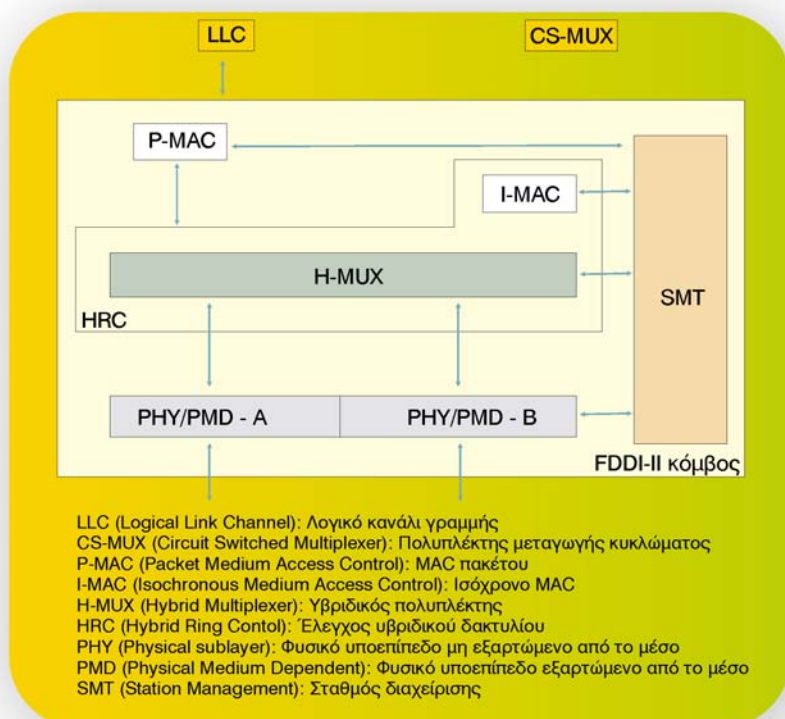
## 12.1.7 Λειτουργία του FDDI-II

Ένα δίκτυο *FDDI-II* αρχίζει τυπικά τη λειτουργία του από τη βασική μορφή, θέτοντας αρχικές τιμές στα ρολόγια και στις παραμέτρους που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου χρονικού κουπονιού, και κατόπιν μεταπίπτει στην υβριδική λειτουργία.

Προκειμένου να επιτευχθεί η μεταγωγή κυκλώματος και επομένως να διευθετηθεί η ισόχρονη μετάδοση, το *FDDI-II* αναπτύσσει ένα ειδικό πλαίσιο που ονομάζεται κύριος

κύκλος (σχήμα 12.8). Ο κύριος κύκλος είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία μη κύριων κύκλων με ρυθμό 8 KHz (125 μsec), καθώς και για την καθυστέρηση που είναι απαραίτητη προκειμένου να διατηρείται ακέραιο το πλήθος τους μέσα στο δακτύλιο. Στα 100 Mbps μπορούν να μεταδοθούν 1262,5 χαρακτήρες σε 125 μsec. Οι χαρακτήρες των κύκλων ανατίθενται εκ των προτέρων σε διάφορα κανάλια του δακτυλίου, με αποτέλεσμα οι 1.560 χαρακτήρες κάθε κύκλου να μοιράζονται σε 16 κανάλια ευρείας ζώνης (*WBCs: Wide Band Channels*), τα οποία μπορούν να χειριστούν φορτίο μεταγωγής πακέτου ή μεταγωγής κυκλώματος (σχήμα 12.7). Όλα τα κανάλια μεταγωγής πακέτου ενώνονται, για να σχηματίσουν ένα κανάλι το οποίο διαχειρίζεται το **πρωτόκολλο χρονικού κουπονιού** (*timed token protocol*).

Όταν ένας κύκλος ολοκληρώσει την περιφορά του στο δακτύλιο, διαγράφεται από τον κύριο κύκλο. Το υποεπίπεδο *I-MAC*, σε συνεργασία με το *HRC*, ελέγχει τα κανάλια ευρείας ζώνης (*WBCs*) που χρησιμοποιού-



Σχήμα 12.7: Αρχιτεκτονική του FDDI-II





## Μάθημα 12.2: Πρότυπο 100 Mbps Ethernet

### 12.2.1 Εισαγωγή

Όταν η επιτροπή προτυποποίησης του *IEEE* άρχισε να προωθεί την ιδέα ενός ταχύτερου *Ethernet*, το οποίο θα μπορούσε να μεταδώσει πλαίσια τύπου *Ethernet* στα 100 Mbps, παρουσιάστηκαν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη στηρίχτηκε στο *CSMA/CD*, που επιτάχυνε το αρχικό *Ethernet* στα 100 Mbps, και οδήγησε στην καθιέρωση του προτύπου **100Base-T Fast Ethernet** ή, όπως απλούστερα ονομάζεται, **100 Mbps Ethernet** ή **Fast (Γρήγορο) Ethernet**. Η δεύτερη προσέγγιση του θέματος αφορούσε τη δημιουργία ενός καινούριου μηχανισμού ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, ο οποίος θα βασιζόταν σε διανομείς που λειτουργούν με βάση το αίτημα προτεραιότητας (*demand priority*). Έτσι δημιουργήθηκε ένα νέο πρότυπο που επιτρέπει τη μετάδοση πλαισίων *Ethernet* σύμφωνα με τον καινούριο μηχανισμό πρόσβασης στο φυσικό μέσο. Το σύστημα αυτό επεκτάθηκε περαιτέρω, για να επιτρέπει και τη μετάδοση πλαισίων δακτυλίου με κουπόνι, και το νέο πρότυπο ονομάστηκε **100Base-VGAnyLAN**.

Σ' αυτό το μάθημα παρουσιάζεται το πρωτόκολλο *100Base-T Fast Ethernet*, που είναι μέρος του πρωτότυπου προτύπου *IEEE 802.3* και ορίζεται από το πρότυπο **IEEE 802.3u**. Το σύστημα *100Base-VGAnyLAN* καθορίστηκε ως πρότυπο του **IEEE 802.12** και θα αποτελέσει αντικείμενο ανάλυσης του επόμενου μαθήματος.

### 12.2.2 Φυσικά μέσα μετάδοσης στο 100 Mbps Ethernet

Σε σύγκριση με τις προδιαγραφές για τα πρότυπα των 10 Mbps, το πρότυπο των *100 Mbps Ethernet* μειώνει κατά 10 φορές το **χρόνο bit**, δηλαδή το χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση ενός δυαδικού ψηφίου σε ένα κανάλι *Ethernet*, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα το δεκαπλάσιασμό του ρυθμού μετάδοσης με τον οποίο αποστέλλονται πακέτα στο φυσικό μέσο. Εκτός όμως από αυτό, τα υπόλοιπα σημαντικά θέματα του συστήματος *Ethernet*, συμπεριλαμβανομένων της τυποποίησης του πλαισίου, της ποσότητας των δεδομένων που μπορεί να μεταδώσει ένα πλαίσιο, καθώς και του μηχανισμού ελέγχου πρόσβασης στο φυσικό μέσο, παραμένουν αναλλοίωτα.

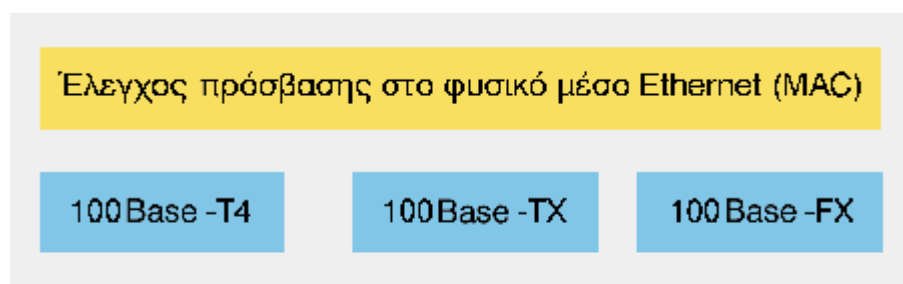
Οι προδιαγραφές του *100 Mbps Ethernet* περιλαμβάνουν μηχανισμούς για αυτόματη διαχείριση του ρυθμού μετάδοσης στο μέσο. Αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές να παρέχουν διπλό περιβάλλον αλληλεπίδρασης για το ρυθμό μετάδοσης του συστήματος *Ethernet*, το οποίο έτσι μπορεί να εγκατασταθεί και να λειτουργήσει αυτόματα είτε στα 10 Mbps είτε στα 100 Mbps.

Υπάρχουν τρεις τύποι φυσικού μέσου (καλωδίου) που έχουν προδιαγραφεί από το





πρότυπο *100 Mbps Ethernet* για την εκπομπή σημάτων (σχήμα 12.9). Αυτοί οι τρεις τύποι αποδίδονται με τα σύμβολα που έχουν προταθεί από το *IEEE*. Όπως έχει αναφερθεί και στο Μάθημα 7.5, ο συμβολισμός αυτών των τύπων περιλαμβάνει τρεις πληροφορίες. Η πρώτη πληροφορία, δηλαδή το «100», δηλώνει το ρυθμό μετάδοσης (100 Mbps). Η δεύτερη πληροφορία, δηλαδή το «Base», δηλώνει το **βασικό εύρος** (*baseband*), που είναι η μορφή σηματοδότησης. **Σηματοδότηση βασικού εύρους** σημαίνει απλώς ότι τα σήματα *Ethernet* μεταδίδονται μόνο στο επίπεδο του φυσικού μέσου. Το τρίτο μέρος του συμβολισμού παρέχει πληροφορία για τον τύπο του φυσικού μέσου μετάδοσης (τύπος καλωδίου). Ο τύπος **T4** παριστάνει ένα καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (*UTP*, κατηγορίας 3 τουλάχιστον), το οποίο όμως μειονεκτεί στο ότι επιβάλλει τη χρήση και των τεσσάρων ζευγών του, όταν υπάρχουν εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν μόνο τα δύο. Ο τύπος **TX** παριστάνει ένα καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών που αποτελείται από δύο ζεύγη συρμάτων και βασίζεται στο πρότυπο του *ANSI* για μετάδοση δεδομένων. Ο τύπος **FX** παριστάνει ένα σύνδεσμο οπτικής ίνας ο οποίος βασίζεται στο πρότυπο που έχει αναπτυχθεί από το *ANSI* και χρησιμοποιεί δύο καλώδια οπτικής ίνας. Τα πρότυπα φυσικού μέσου *TX* και *FX* είναι γνωστά και ως *100Base-X*.



Σχήμα 12.9: Οι τρεις τύποι φυσικού μέσου για το πρότυπο *100 Mbps Ethernet*

### 12.2.3 Αυτόματη διαπραγμάτευση

Η λειτουργία της **αυτόματης διαπραγμάτευσης** (*auto-negotiation*) είναι ένα προαιρετικό στοιχείο του προτύπου *Ethernet*, που επιτρέπει στις συσκευές να ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τις δυνατότητές τους επάνω σε μια συγκεκριμένη σύνδεση.

Πιο αναλυτικά, η αυτόματη διαπραγμάτευση είναι ένας μηχανισμός που ελέγχει το φυσικό μέσο, όταν εγκαθίσταται μια νέα σύνδεση κάποιας δικτυακής συσκευής. Ανιχνεύει τις δυνατότητες που παρέχει η συσκευή στο άλλο άκρο της σύνδεσης και της γνωστοποιεί τις δικές της, ώστε αυτή να επιλέξει και να διαμορφώσει αυτόματα τον υψηλότερης απόδοσης συνδυασμό δυνατοτήτων και αλληλεπίδρασης. Η αυτόματη διαπραγμάτευση επιτρέπει την απλή, αυτόματη σύνδεση συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές και υλοποιούν ένα πλήθος συνδυασμών.

Η αυτόματη διαπραγμάτευση δρα σαν περιστροφικός διακόπτης που επιλέγει αυ-





τόματα τον κατάλληλο τύπο φυσικού μέσου (όπως *10Base-T*, *100Base-TX*, *100Base-T4*) ανάλογα με τις δυνατότητες καθενός. Από τη στιγμή που θα επιλεγεί ο υψηλότερης απόδοσης συνδυασμός των δυνατοτήτων τους (πίνακας 12.2), ο μηχανισμός της αυτόματης διαπραγμάτευσης επαναφέρει τον έλεγχο του καναλιού στην κατάλληλη τεχνολογία και γίνεται διαφανής, μέχρι να διακοπεί η σύνδεση.

A	100Base-TX Full Duplex Ethernet
B	100Base-T4
C	100Base-TX
D	10Base-T Full Duplex Ethernet
E	10Base-T

Πίνακας 12.2: Πίνακας επίλυσης προτεραιοτήτων στην αυτόματη διαπραγμάτευση

## 12.2.4 Full Duplex Ethernet

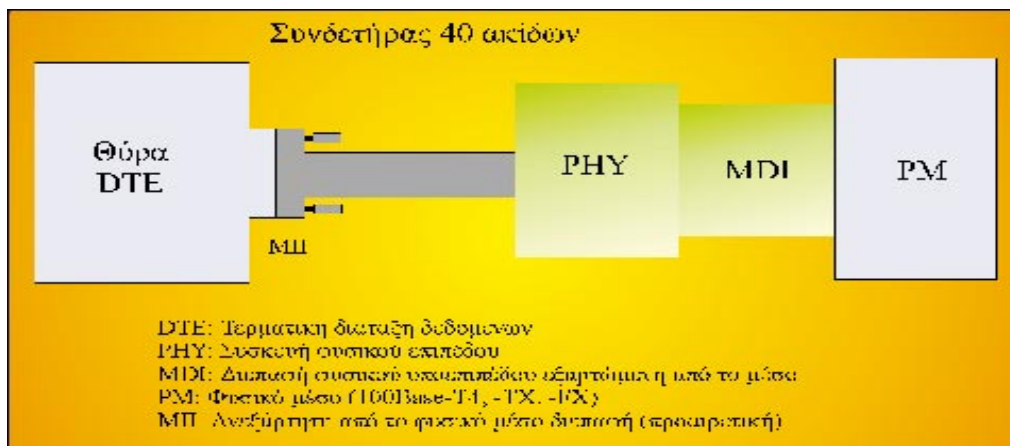
Το **Full Duplex Ethernet** (Πλήρως Αμφίπλευρο Ethernet) είναι μια παραλλαγή της τεχνολογίας *Ethernet*, που αυτή τη στιγμή βρίσκεται σε διαδικασία προτυποποίησης από το *IEEE*. Λόγω της απουσίας ενός επίσημου προτύπου οι κανόνες για το μήκος μιας πλήρως αμφίπλευρης σύνδεσης μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον κατασκευαστή. Μέχρι να ολοκληρωθεί, να κατασκευαστεί και να δοκιμαστεί στην πράξη το πρότυπο αυτό, δεν είναι βέβαιο ότι ο εξοπλισμός ενός κατασκευαστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με τον εξοπλισμό κάποιου άλλου κατασκευαστή.

Η πλήρως αμφίπλευρη λειτουργία είναι αρκετά απλή σε σύγκριση με το αρχικό *Ethernet*, αφού οι συσκευές σε κάθε άκρο μιας πλήρως αμφίπλευρης σύνδεσης μπορούν να αποστέλλουν και ταυτοχρόνως να λαμβάνουν δεδομένα. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι ένας πλήρως αμφίπλευρος σύνδεσμος μπορεί θεωρητικά να προσφέρει διπλάσιο ρυθμό μετάδοσης σε σχέση με την κανονική μορφή του *100 Mbps Ethernet*. Το *Full Duplex Ethernet* επιτρέπει τη σύνδεση μίας μόνο συσκευής σε κάθε άκρο του συνδέσμου, όπως είναι για παράδειγμα ένας σταθμός εργασίας ή μία θύρα μεταγωγής διανομέα.

## 12.2.5 Σύνδεση στο σύστημα 100 Mbps Ethernet

Στο σχήμα 12.10 παρουσιάζονται τα τμήματα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση μιας σύνδεσης σε ένα σύστημα φυσικού μέσου 100 Mbps, όπως αυτά ορίζονται στο πρότυπο του *IEEE*. Αναλυτικά, τα τμήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η σύνδεση με το φυσικό μέσο γίνεται μέσω της **εξαρτώμενης από το μέσο διεπαφής** (*MDI: Medium Dependent Interface*). Στη δεξιά πλευρά του σχήματος 12.10 φαίνεται το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ση-



Σχήμα 12.10: Σχεδιάγραμμα μιας 100 Mbps δικτυακής σύνδεσης

μάτων τύπου *Ethernet*. Αυτό μπορεί να ανήκει σε οποιονδήποτε από τους τρεις τύπους φυσικών μέσων που ορίστηκαν προηγουμένως.

- ✓ **Η συσκευή φυσικού επιπέδου (PHY: Physical Layer Device)** εκτελεί την ίδια λειτουργία με έναν πομποδέκτη του συστήματος *10 Mbps Ethernet*. Μπορεί να είναι ένα σύνολο από ολοκληρωμένα κυκλώματα επάνω στη θύρα *Ethernet* ή μια δικτυακή συσκευή ή ακόμη και ένα μικρό κουτί εφοδιασμένο με ένα καλώδιο *MII*, όπως ο εξωτερικός πομποδέκτης και το καλώδιο που χρησιμοποιείται στο *10 Mbps Ethernet*.
- ✓ **Η ανεξάρτητη από το φυσικό μέσο διεπαφή (MII: Media Independent Interface)** είναι μια προαιρετική ηλεκτρονική συσκευή. Παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης των λειτουργιών ελέγχου πρόσβασης στο μέσο που εκτελούνται στη δικτυακή συσκευή με την *PHY* που στέλνει μηνύματα στο φυσικό μέσο. Μια *MII* μπορεί επιλεκτικά να υποστηρίξει λειτουργία στα 10 Mbps και στα 100 Mbps, επιτρέποντας έτσι σε δικτυακές συσκευές να συνδέονται σε *10Base-T* και σε *100Base-T* τμήματα του δικτύου.

Η *MII* έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να κάνει εμφανείς τις διαφορές του σήματος ανάμεσα στα διαφορετικού μέσου (*T4*, *FX*, *TX*) τμήματα του δικτύου. Κύριο έργο της συσκευής είναι η μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων που λαμβάνονται από τα διαφορετικά φυσικά μέσα των τμημάτων του δικτύου σε ψηφιακά, τα οποία το δίκτυο στέλνει με τη σειρά του στη συσκευή. Η ηλεκτρονική πλακέτα της *MII* μπορεί να συνδεθεί με έναν εξωτερικό πομποδέκτη μέσω ενός συνδετήρα *MII* 40 ακίδων και ενός μικρού καλωδίου *MII*. Το καλώδιο *MII* που χρησιμοποιείται για σύνδεση με εξωτερικούς πομποδέκτες των 100 Mbps ορίζεται ως ένα καλώδιο 40 ακίδων, με βύσμα 40 ακίδων στο ένα άκρο του, εξοπλισμένο με αρσενικές βίδες τύπου *jack*, οι οποίες βιδώνουν στις αντίστοιχες θηλυκές υποδοχές. Το καλώδιο έχει μέγιστο μήκος 0,5 m. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ο εξωτερικός πομποδέκτης να συνδέεται απευθείας με το σύνδεσμο *MII* επάνω στη συσκευή, χωρίς την παρέμβαση καλωδίου, όταν το επιτρέ-



πει η σχεδίαση του πομποδέκτη.

- ✓ Η δικτυακή συσκευή ορίζεται στο πρότυπο του *IEEE* ως **τερματική διάταξη δεδομένων** (*DTE: Data Terminal Equipment*). Κάθε *DTE* που συνδέεται σε ένα σύστημα *Ethernet* είναι εξοπλισμένη με μια **διεπαφή Ethernet** (*Ethernet interface*). Η διεπαφή αυτή παρέχει τη σύνδεση με το φυσικό μέσο του *Ethernet* και περιέχει το απαραίτητο υλικό και λογισμικό για την εκτέλεση των λειτουργιών ελέγχου πρόσβασης στο μέσο προκειμένου να αποσταλεί ένα πλαίσιο σε κάποιο κανάλι *Ethernet*.

## 12.2.6 Επαναλήπτες

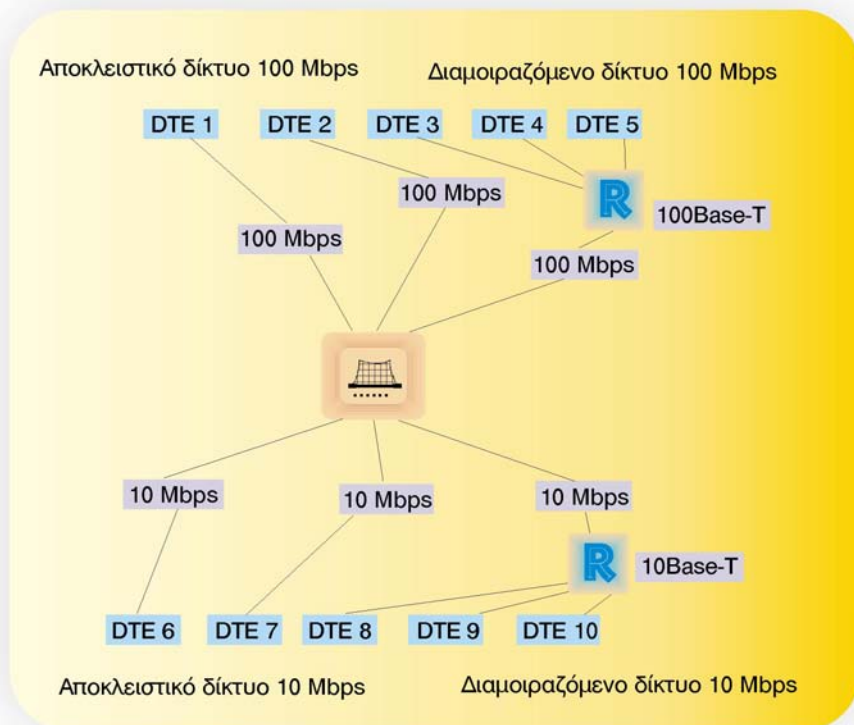
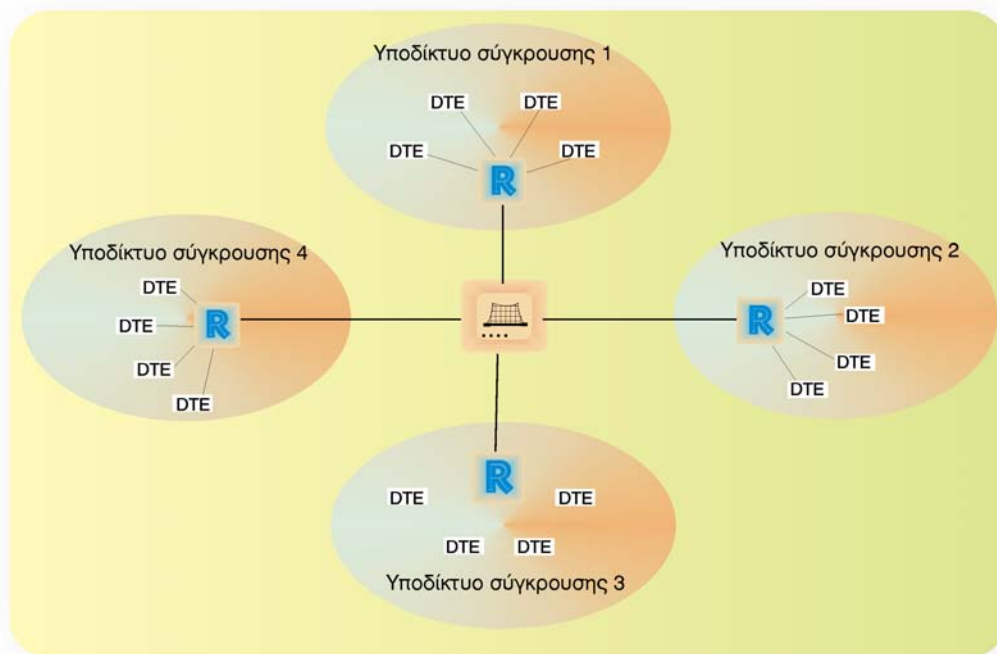
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι θύρες *Ethernet* των επαναληπτών δε χρησιμοποιούν διεπαφές *Ethernet*. Μια θύρα επαναλήπτη συνδέεται με το *100 Mbps Ethernet* χρησιμοποιώντας τον ίδιο *PHY* και *MDI* εξοπλισμό. Όμως για τα σήματα *Ethernet* οι θύρες επαναλήπτη δε λειτουργούν σε επίπεδο πλαισίου *Ethernet*, αλλά σε επίπεδο δυαδικού ψηφίου, μεταφέροντας τα σήματα από τμήμα σε τμήμα. Από την άλλη πλευρά, ένας διανομέας - επαναλήπτης μπορεί να είναι εξοπλισμένος με μια διεπαφή *Ethernet*, ώστε να εξασφαλίζεται ένας τρόπος επικοινωνίας με το δίκτυο. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να εφοδιάζουν με λειτουργίες διαχείρισης το διανομέα, ο οποίος μπορεί πλέον να επικοινωνεί με έναν απομακρυσμένο σταθμό χρησιμοποιώντας το απλό πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου (*SNMP*). Οι διανομείς παρέχουν τη δυνατότητα στο διαχειριστή του δικτύου να καταγράφει από απόσταση τα επίπεδα κυκλοφορίας και τα λάθη στις θύρες του διανομέα, αλλά και να διακόπτει τη λειτουργία των θυρών για τον εντοπισμό και τη διόρθωση των βλαβών.

Υπάρχουν δύο είδη επαναληπτών στο σύστημα *100Base-T*, ο επαναλήπτης *Class I* και ο επαναλήπτης *Class II*. Ένας **επαναλήπτης Class I**, ο οποίος επιτρέπεται να έχει μεγαλύτερες καθυστερήσεις συγχρονισμού, λειτουργεί μετατρέποντας τα ηλεκτρικά σήματα από μία θύρα εισόδου σε ψηφιακά, ενώ στη συνέχεια τα επαναφέρει σε ηλεκτρικά, όταν τα αποστέλλει σε άλλες θύρες. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα επαναμετάδοσης των σημάτων σε τμήματα του δικτύου που χρησιμοποιούν διαφορετική σηματοδότηση, όπως είναι τα τμήματα τύπου *100Base-TX/FX* και τύπου *100Base-T4*, επιτρέποντας σ' αυτούς τους τύπους τμημάτων να ενώνονται μέσα σε ένα διανομέα - επαναλήπτη. Η διαδικασία μετατροπής των σημάτων στους επαναλήπτες *Class I* χρησιμοποιεί έναν αριθμό από παλμούς ρολογιού, έτσι ώστε μόνο ένας επαναλήπτης *Class I* να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα δεδομένο υποδίκτυο, όταν αυτό έχει το μέγιστο επιτρεπτό μήκος καλωδίωσης (σχήμα 12.11). Ένα τέτοιο υποδίκτυο ορίζεται επίσημα ως δίκτυο *CSMA/CD*, στο οποίο θα συμβεί σύγκρουση, αν δύο υπολογιστές που συνδέονται με το σύστημα επιχειρήσουν να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή.

Ένας **επαναλήπτης Class II** περιορίζεται σε μικρότερες καθυστερήσεις συγχρονισμού και επαναμεταδίδει αμέσως το εισερχόμενο σήμα σε όλες τις υπόλοιπες θύρες χωρίς τη διαδικασία μετατροπής του σε ψηφιακό. Για την επίτευξη μικρότερων καθυστερήσεων συγχρονισμού οι επαναλήπτες *Class II* συνδέονται με τμήματα του δικτύου που χρησιμοποιούν την ίδια τεχνική σηματοδότησης, όπως είναι τα τμήματα



Το πρότυπο *100 Mbps Ethernet* απαιτεί από τους επαναλήπτες να αναγράφουν το λατινικό αριθμό I ή II στο κέντρο μέσα σε έναν κύκλο.



Σχήμα 12.11: Υποδίκτυα σύγκρουσης, επαναλήπτες και γέφυρες πολλών θυρών



τύπου *100Base-TX* και τύπου *100Base-FX*. Ο μέγιστος αριθμός επαναληπτών Class II που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα δεδομένο πεδίο, όταν αυτό έχει το μέγιστο επιτρεπτό μήκος καλωδίωσης, είναι δύο.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

*100 Mbps Ethernet*, βασικό εύρος, σηματοδότηση βασικού εύρους, αυτόματη διαπραγμάτευση, *Full Duplex Ethernet*, εξαρτώμενη από το φυσικό μέσο διεπαφή (MDI), συσκευή φυσικού επιπέδου (PHY), ανεξάρτητη από το φυσικό μέσο διεπαφή (MII), διεπαφή *Ethernet*, επαναλήπτης Class I, επαναλήπτης Class II.





## Μάθημα 12.4: Πρότυπο Gigabit Ethernet

### 12.4.1 Εισαγωγή

Μία πολλά υποσχόμενη λύση στον τομέα των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων είναι το πρότυπο **Gigabit Ethernet**. Το πρότυπο αυτό παρέχει εύρος ζώνης της τάξης του 1 Gbps και έχει πολύ χαμηλό κόστος σε σύγκριση με τεχνολογίες ανάλογου ρυθμού μετάδοσης. Παρέχει επίσης τη δυνατότητα εύκολης αναβάθμισης των παραδοσιακών συστημάτων *Ethernet* χρησιμοποιώντας τους υπάρχοντες κόμβους και τα εργαλεία διαχείρισης.

Το *Gigabit Ethernet* βασίζεται στο πρωτόκολλο *Ethernet* και, όπως και οι «πρόγονοί» του, χρησιμοποιεί το ίδιο πρωτόκολλο πρόσβασης στο φυσικό μέσο (*CSMA/CD*), την ίδια τυποποίηση πλαισίου και το ίδιο μέγεθος πλαισίου. Αυτό για την πλειονότητα των επιχειρήσεων και των οργανισμών που έχουν επενδύσει σε δικτυακή υποδομή σημαίνει ότι μπορούν να αυξήσουν το ρυθμό μετάδοσης του δικτύου τους με ένα λογικό κόστος, χωρίς να χρειάζεται να επανεκπαιδεύσουν το τεχνικό προσωπικό τους ή τους χρήστες του δικτύου σε νέους χειρισμούς και χωρίς την ανάγκη να επενδύσουν σε επιπλέον λογισμικό.

### 12.4.2 Περιγραφή

Το *Gigabit Ethernet* βρίσκεται σε διαδικασία τυποποίησης εδώ και καιρό. Τον Ιούλιο του 1996 η επιτροπή 802.3 του *IEEE* δημιούργησε την ομάδα 802.3z *Gigabit Ethernet*. Κύριος στόχος αυτής της ομάδας είναι η ανάπτυξη ενός προτύπου για το *Gigabit Ethernet* το οποίο:

- ✓ Θα υποστηρίζει ημίπλευρη (*half duplex*) και αμφίπλευρη (*full duplex*) λειτουργία στα 1.000 Mbps.
- ✓ Θα χρησιμοποιεί την 802.3 τυποποίηση πλαισίου *Ethernet*.
- ✓ Θα χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο *CSMA/CD* για την πρόσβαση στο φυσικό μέσο, όπου θα υποστηρίζεται ένας επαναλήπτης για κάθε πεδίο σύγκρουσης.
- ✓ Θα είναι συμβατό προς τα προηγούμενα πρότυπα όσον αφορά τη διευθυνσιοδότηση των συστημάτων *10Base-T* και *100Base-T*.

Η ομάδα εργασίας καθόρισε τρεις συγκεκριμένους στόχους όσον αφορά τις αποστάσεις των καλωδίων: ένα καλώδιο πολύτροπης οπτικής ίνας με μέγιστο επιτρεπτό μήκος τα 550 m, ένα καλώδιο μονότροπης οπτικής ίνας με μέγιστο επιτρεπτό μήκος τα 3.000 m και ένα χάλκινο καλώδιο με μέγιστο επιτρεπτό μήκος τα 25 m. Η ομάδα



διερεύνησε επίσης τεχνικές που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν αποστάσεις μέχρι 100 m χρησιμοποιώντας καλώδιο *UTP* κατηγορίας 5. Για το σκοπό αυτό αποφάσισε να προδιαγράψει ένα προαιρετικό περιβάλλον *Gigabit* με **ανεξάρτητη από το φυσικό μέσο διεπαφή** (*MMI: Media Independent Interface*). Η προδιαγραφή αυτή έγινε αντικείμενο μελέτης μιας ξεχωριστής ομάδας του *IEEE*, η οποία ονομάστηκε 802.3ab και εξέδωσε το πρότυπο **IEEE 802.3ab**. Η πρώτη πρόχειρη περιγραφή του προτύπου 802.3ab εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 1997, ενώ το τελικό πρότυπο εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 1998.

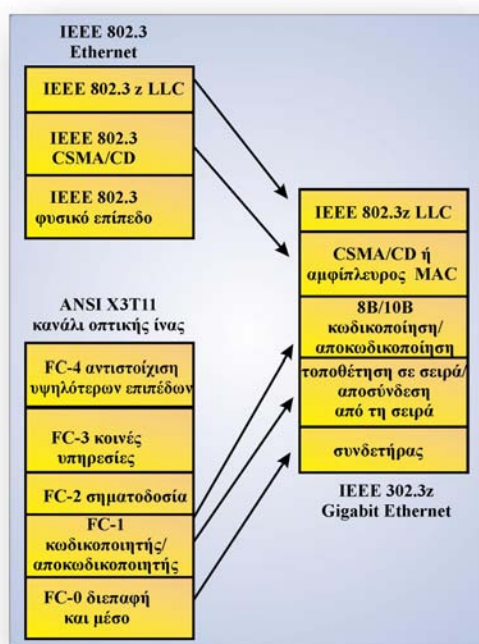
Το *Gigabit Ethernet* υποστηρίζει καινούριες καταστάσεις αμφίπλευρης λειτουργίας για συνδέσεις από μεταγωγό σε μεταγωγό και από μεταγωγό σε κόμβο, καθώς και καταστάσεις ημίπλευρης λειτουργίας για διαμοιρασμένες συνδέσεις χρησιμοποιώντας επαναλήπτες και *CSMA/CD* πρόσβαση στο φυσικό μέσο. Το *Gigabit Ethernet* χρησιμοποιεί επίσης καλώδια οπτικών ινών, αλλά υποστηρίζει και καλώδια *UTP* κατηγορίας 5.

### 12.4.3 Αρχιτεκτονική

Προκειμένου να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης του νέου προτύπου από τα 100 Mbps

στο 1 Gbps έγιναν αρκετές αλλαγές στο περιβάλλον διεπαφής με το φυσικό μέσο. Αποφασίστηκε επίσης ότι από το επίπεδο γραμμής δεδομένων και πάνω το *Gigabit Ethernet* θα είναι το ίδιο με το απλό *Ethernet*. Η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης επιτεύχθηκε συνδυάζοντας δύο πρωτόκολλα, το *IEEE 802.3* και το *ANSI X3T11 Fibre Channel*. Το σχήμα 12.13 δείχνει τον τρόπο με τον οποίο θεμελιώδη στοιχεία κάθε πρωτοκόλλου συνδυάστηκαν, για να σχηματίσουν το *Gigabit Ethernet*.

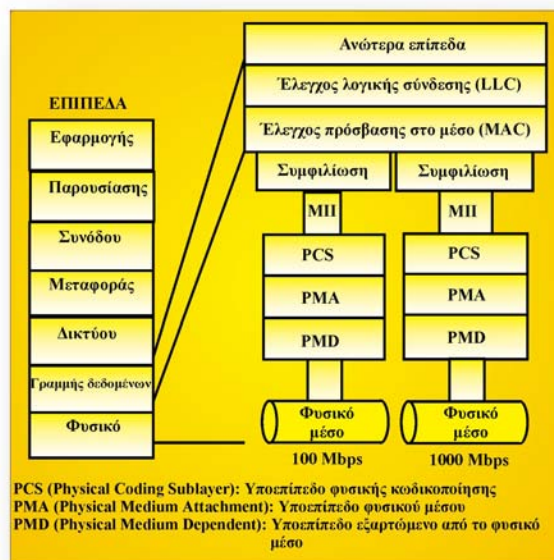
Ο συνδυασμός αυτών των δύο πρωτοκόλλων δίνει τη δυνατότητα στο πρότυπο του *Gigabit Ethernet* να αξιοποιήσει το υψηλού ρυθμού μετάδοσης περιβάλλον διεπαφής του *IEEE 802.3* και το φυσικό μέσο της τεχνολογίας *Fibre Channel* του *ANSI*. Παράλληλα το νέο πρότυπο διατηρεί τη συμβατότητά του με τα παλαιότερα πρό-



Σχήμα 12.13: Συνδυασμός των πρωτοκόλλων *IEEE 802.3* και οπτικό κανάλι του *ANSI* για τη δημιουργία του προτύπου *Gigabit Ethernet*



τυπα του *Ethernet*. Ένα μοντέλο του *Gigabit Ethernet* παρουσιάζεται στο σχήμα 12.14.



Σχήμα 12.14: Ένα μοντέλο του *Gigabit Ethernet*

### 12.4.3.1 Το φυσικό μέσο

Οι προδιαγραφές του *Gigabit Ethernet* ορίζουν τρεις μορφές φυσικού μέσου μετάδοσης:

- ✓ **1000Base-LX**: Ακτίνες λέιζερ των μακρών κυμάτων (*long wave*) μέσω μονότροπης και πολύτροπης οπτικής ίνας.
- ✓ **1000Base-SX**: Ακτίνες λέιζερ των βραχέων κυμάτων (*short wave*) μέσω πολύτροπης οπτικής ίνας.
- ✓ **1000Base-CX**: Μετάδοση μέσω «ισορροπημένου» θωρακισμένου καλωδίου χαλκού αντίστασης 150 Ohm.

Τέλος, η 802.3ab επιτροπή του *IEEE* εξετάζει το *1000Base-T* που χρησιμοποιεί *UTP* κατηγορίας 5.

Το υποεπίπεδο *PMA* (*Physical Media Attachment*) του *Gigabit Ethernet* είναι το ίδιο με το *PMA* του *Fibre Channel*. Υποστηρίζονται πολλά σχήματα κωδικοποίησης, αφού δεδομένα που εισέρχονται στο *PHY* πρέπει πρώτα να περάσουν από το *PMD* και να υποστηρίξουν τα κατάλληλα σχήματα κωδικοποίησης για το συγκεκριμένο φυσικό μέσο. Το σχήμα κωδικοποίησης για το *Fibre Channel* είναι το *8B/10B*, το οποίο έχει σχεδιαστεί ειδικά για μετάδοση με καλώδιο οπτικής ίνας. Το *Gigabit Ethernet* χρησιμοποιεί ένα παρόμοιο σχήμα κωδικοποίησης.



### 12.4.3.2 Κωδικοποίηση 8B/10B

Το επίπεδο *FC1* του *Fibre Channel* περιγράφει τη διαδικασία συγχρονισμού και το σχήμα κωδικοποίησης *8B/10B*. Το *FC1* ορίζει το πρωτόκολλο μετάδοσης, συμπεριλαμβανομένων της σειραϊκής κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης από και προς το φυσικό επίπεδο, των ειδικών χαρακτήρων και του ελέγχου λαθών. Το *Gigabit Ethernet* χρησιμοποιεί το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης/αποκωδικοποίησης, δηλαδή το *8B/10B*, που είναι παρόμοιο με το *4B/5B* που χρησιμοποιείται στο *FDDI* (Μάθημα 12.1).

Η κωδικοποίηση των δεδομένων που μεταδίδονται με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης έχει ορισμένα πλεονεκτήματα, τα οποία είναι:

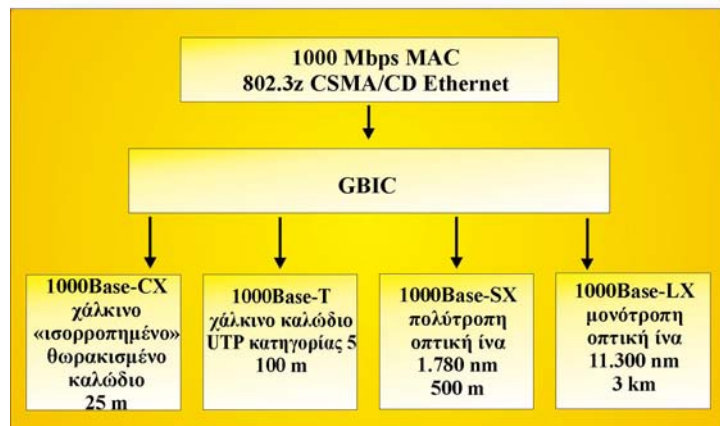
- ✓ Περιορίζει τους χαρακτήρες της μετάδοσης (για παράδειγμα, το πλήθος των 1 σε σχέση με το πλήθος των 0) που επηρεάζουν το ρυθμό σφαλμάτων.
- ✓ Βελτιώνει σημαντικά το συγχρονισμό του ρολογιού σε επίπεδο δυαδικού ψηφίου του παραλήπτη.
- ✓ Αυξάνει την πιθανότητα ο κόμβος - παραλήπτης να ανιχνεύσει και να διορθώσει λάθη στην εκπομπή ή στην παραλαβή των δεδομένων.
- ✓ Βοηθάει στο διαχωρισμό των δυαδικών ψηφίων ελέγχου από τα δυαδικά ψηφία των δεδομένων.

Στο *Gigabit Ethernet* το επίπεδο *FC1* παραλαμβάνει αποκωδικοποιημένα δεδομένα από το επίπεδο *FC2*, καθώς και 8 δυαδικά ψηφία κάθε φορά από το **υποεπίπεδο συμφιλίωσης** (*RS: Reconciliation Sublayer*), το οποίο γεφυρώνει το φυσικό περιβάλλον διεπαφής του *Fibre Channel* με τα παραπάνω επίπεδα του *IEEE 802.3*. Η κωδικοποίηση γίνεται με την αντιστοίχιση 8 δυαδικών ψηφίων σε χαρακτήρα μήκους 10 δυαδικών ψηφίων. Τα αποκωδικοποιημένα δεδομένα αποτελούνται από 8 δυαδικά ψηφία με μία μεταβλητή ελέγχου. Αυτή η πληροφορία κωδικοποιείται στη συνέχεια σε ένα χαρακτήρα των 10 δυαδικών ψηφίων.

Η κωδικοποίηση γίνεται αποδίδοντας σε κάθε χαρακτήρα μετάδοσης ένα σύμβολο που έχει τη μορφή **Zxx.y**. Το **Z** είναι η μεταβλητή ελέγχου η οποία μπορεί να πάρει δύο τιμές, **D** για δεδομένα και **K** για ειδικούς χαρακτήρες. Ο προσδιορισμός **xx** είναι η δεκαδική τιμή του δυαδικού αριθμού που συντίθεται από ένα υποσύνολο αποκωδικοποιημένων δεδομένων. Ο προσδιορισμός **y** είναι η δεκαδική τιμή του δυαδικού αριθμού των υπόλοιπων αποκωδικοποιημένων δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν 256 πιθανές τιμές για δεδομένα (προσδιορισμός *D*) και 256 πιθανές τιμές για ειδικούς χαρακτήρες (προσδιορισμός *K*), από τις οποίες όμως χρησιμοποιούνται μόνο οι 12. Όταν παραληφθούν τα δεδομένα, ο χαρακτήρας μετάδοσης αποκωδικοποιείται σε έναν από τους 256\*8 συνδυασμούς δυαδικών ψηφίων.

### 12.4.3.3 Το περιβάλλον διεπαφής

Το **περιβάλλον διεπαφής του Gigabit Ethernet** (*GBIC: GigaBit ethernet Interface Carrier*) επιτρέπει στους διαχειριστές του δικτύου να διαμορφώσουν κάθε *Gigabit* θύρα για εκπομπή λέιζερ μακρών και βραχέων κυμάτων, καθώς και για φυσικά περιβάλλοντα διεπαφής με χάλκινο καλώδιο. Αυτό το γεγονός δίνει τη δυνατότητα στις



Σχήμα 12.15: Η λειτουργία του GBIC

εταιρείες να κατασκευάσουν μεταγωγούς που είναι ανεξάρτητοι από την τοπολογία του καλωδίου οπτικής ίνας (σχήμα 12.15).

### 12.4.3.4 Το επίπεδο MAC

Το επίπεδο *MAC* του *Gigabit Ethernet* είναι παρόμοιο με αυτό των *Ethernet* και *100 Mbps Ethernet*. Το επίπεδο αυτό υποστηρίζει αμφίπλευρη και ημίπλευρη μετάδοση. Τα χαρακτηριστικά του *Ethernet*, όπως είναι η ανίχνευση των συγκρούσεων, το μέγιστο μήκος του δικτύου, οι κανόνες για τους επαναλήπτες, είναι τα ίδια και για το *Gigabit Ethernet*. Η υποστήριξη της ημίπλευρης μετάδοσης προσθέτει στο *Gigabit Ethernet* δύο λει-

τουργίες που δε συναντώνται στο αρχικό *Ethernet*, τον **καταιγισμό πλαισίων** (*frame bursting*) και την **επέκταση φέροντος σήματος** (*carrier extension*).

### 12.4.4 Ημίπλευρη μετάδοση

Στην ημίπλευρη μετάδοση χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο *CSMA/CD* προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μέσω ενός καλωδίου και ότι, όταν συμβεί σύγκρουση, το δίκτυο θα ανακάμψει.

Η αναβάθμιση του *Ethernet* με ρυθμούς μετάδοσης της τάξης του *Gigabit* δημιούργησε ορισμένα προβλήματα στην υλοποίηση του *CSMA/CD*. Σε ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους των 100 Mbps τα μικρά πακέτα δεδομένων είναι μικρότερα από το μήκος των δυαδικών ψηφίων της χρονοθυρίδας (*slot-time*), με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να μην ανιχνευτεί μια σύγκρουση σε τέτοια πακέτα. Υπενθυμίζουμε ότι χρονοθυρίδα είναι ο χρόνος που απαιτείται, ώστε το επίπεδο *MAC* του *Ethernet* να μπορεί να χειριστεί τις συγκρούσεις. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα, στις προδιαγραφές του *Ethernet* έγινε επέκταση του φέροντος σήματος που προσθέτει δυαδικά ψηφία στο πλαίσιο, μέχρι αυτό να φτάσει στον ελάχιστο αριθμό χρονοθυρίδων που απαιτούνται, ώστε να ανιχνεύονται όλες οι συγκρούσεις.

Μια ακόμη αλλαγή στις προδιαγραφές του *Ethernet* είναι η προσθήκη του καταιγισμού πλαισίων. Πρόκειται για ένα προαιρετικό χαρακτηριστικό, το οποίο δίνει τη δυνατότητα σε έναν κόμβο να μεταδώσει πολλά πλαίσια μαζί (καταιγισμός) χωρίς να παραδώσει τον έλεγχο του καναλιού. Οι υπόλοιποι κόμβοι που συνδέονται με το κανάλι δεν εκπέμπουν, μέχρι να διαπιστώσουν ότι δε μεταδίδεται τίποτα σ' αυτό. Ο σταθμός αποστολής του καταιγισμού πλαισίων γεμίζει το κενό διάστημα ανάμεσα στα πλαίσια με δυαδικά ψηφία επέκτασης, ώστε καθ' όλη τη διάρκεια του καταιγισμού οι υπόλοιποι κόμβοι να γνωρίζουν ότι το κανάλι χρησιμοποιείται.



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

*Gigabit Ethernet*, λέιζερ, πολύτροπη / μονότροπη οπτική ίνα, υποεπίπεδο συμφιλίωσης, περιβάλλον διεπαφής, καταιγισμός πλαισίων, επέκταση φέροντος σήματος.





## Μάθημα 13.2: Διαδικτυακός εξοπλισμός

### 13.2.1 Εισαγωγή

Στο μάθημα αυτό θα γίνει αναφορά στον ειδικό διαδικτυακό εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για την υλοποίηση και τη λειτουργία ενός τοπικού δικτύου υψηλών επιδόσεων. Για κάθε πρότυπο που έχει περιγραφεί στα προηγούμενα μαθήματα θα αναφέρεται ο εξοπλισμός που απαιτείται και θα δίνεται ως παράδειγμα το αντίστοιχο προϊόν κάποιου κατασκευαστή.

### 13.2.2 Διαδικτυακός εξοπλισμός για το 100 Mbps Ethernet

Για την υλοποίηση ενός τοπικού δικτύου τεχνολογίας *100 Mbps Ethernet*, εκτός από την απαραίτητη δομημένη καλωδίωση οπτικής ίνας ή *UTP* κατηγορίας 5, θα πρέπει να υπάρχουν:

- ✓ **Κάρτα δικτύου (NIC: Network Interface Card).** Σε κάθε κόμβο - υπολογιστικό σύστημα που συνδέεται με ένα τοπικό δίκτυο είναι απαραίτητη μία κάρτα δικτύου. Πρόκειται για κάρτα τύπου *PCI* ή *ISA*, η οποία συνδέεται επάνω στη μητρική κάρτα του υπολογιστή. Για παράδειγμα, μία από τις πιο διαδεδομένες κάρτες αυτού του τύπου είναι η *Intel PRO/100+ Adapter* της Intel. Είναι μια *PCI* κάρτα δικτύου, που υποστηρίζεται από τα πιο γνωστά δικτυακά λειτουργικά συστήματα, όπως είναι τα *WIN NT 4.0*, *NetWare* και *Unix*. Υποστηρίζει δίκτυα τύπου *10Base-T* και *100Base-TX*, καθώς επίσης και λειτουργίες αυτόματης διαπραγμάτευσης και αμφίπλευρης επικοινωνίας.
- ✓ **Διανομείς (hubs).** Είναι απλές συσκευές που διασυνδέουν ομάδες χρηστών προωθώντας τα πακέτα που λαμβάνουν από μία θύρα σε όλες τις υπόλοιπες.



Σχήμα 13.11: FastHub 412 της Cisco



Όλοι οι χρήστες που συνδέονται σε ένα διανομέα ή σε μια ομάδα από διασυνδεδεμένους διανομείς βρίσκονται στο ίδιο υποδίκτυο και μοιράζονται το διαθέσιμο εύρος ζώνης του διανομέα. Για παράδειγμα, ο *FastHub 412* της Cisco (σχήμα 13.11) είναι ένας διανομέας 10/100 Mbps με 12 θύρες. Υποστηρίζει συνδέσεις στα 10 και στα 100 Mbps, καθώς και λειτουργίες αυτόματης αναγνώρισης του ρυθμού μετάδοσης για κάθε σύνδεση (*autosensing*).

- ✓ **Μεταγωγοί (switches).** Έχουν μεγαλύτερη ευφυΐα από τους διανομείς και τις γέφυρες, ενώ παρέχουν, σε μόνιμη βάση, μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε συγκεκριμένους χρήστες ή ομάδες χρηστών. Οι μεταγωγοί προωθούν τα πακέτα των δεδομένων στην κατάλληλη θύρα ανάλογα με τον παραλήπτη, τον οποίο αναγνωρίζουν από την πληροφορία που βρίσκεται στην επικεφαλίδα κάθε πλαισίου (περισσότερα για τους μεταγωγούς βλ. στην επόμενη ενότητα). Για παράδειγμα, η σειρά *Catalyst 2900 XL* της Cisco (σχήμα 13.12) είναι μια πλήρης σειρά μεταγωγών *10/100 Mbps Ethernet*, οι οποίοι υποστηρίζουν αυτόματη ανίχνευση του ρυθμού μετάδοσης της σύνδεσης, προσφέροντας εξαιρετική απόδοση, εύκολη διαχείριση και δυνατότητα επέκτασης. Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούν οι μεταγωγοί είναι ανάλογες με αυτές που επιτελούν οι γέφυρες (Μάθημα 9.4) και έχουν ως ακολούθως:

- **Διαφάνεια διευθύνσεων.** Καθώς όλες οι θύρες υποστηρίζουν πολλές διευ-



Σχήμα 13.12: Catalyst 2900 XL

θύνσεις MAC, κάθε θύρα μπορεί να συνδεθεί με σταθμούς εργασίας, επαναλήπτες, γέφυρες, δρομολογητές, μεταγωγούς ή άλλες δικτυακές συσκευές. Ο μεταγωγός παρέχει δυναμική διευθυνσιοδότηση, απομνημονεύοντας από κάθε θύρα τη διεύθυνση του αποστολέα κάθε πλαισίου που λαμβάνει, όπως επίσης και τον αριθμό της θύρας στην οποία αυτό το πλαίσιο αντιστοιχεί. Καθώς κόμβοι συνδέονται ή αποσυνδέονται από το δίκτυο, ο μεταγωγός ενημερώνει τον πίνακα διευθύνσεων (γνωστοποίηση διεύθυνσης - *address learning*) κατά παρόμοιο τρόπο μ' αυτόν που γίνεται και στη γέφυρα. Υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης εισαγωγής διευθύνσεων σ' αυτό τον



πίνακα. Οι διευθύνσεις αυτές ονομάζονται στατικές (ή ασφαλείς) και δεν μπορούν να διαγραφούν παρά μόνο κατόπιν συγκεκριμένης εντολής. Είναι επίσης δυνατόν να ενεργοποιηθεί η τεχνική της προώθησης, έτσι ώστε τα πλαίσια που στέλνονται σ' αυτές τις διευθύνσεις να προωθούνται σε συγκεκριμένες θύρες του μεταγωγού.

- **Προώθηση και φιλτράρισμα.** Οι μεταγωγοί προωθούν (*forwarding*) τα πλαίσια σε οποιονδήποτε συνδυασμό θυρών με βάση τη διεύθυνση του παραλήπτη, η οποία βρίσκεται επάνω στο πλαίσιο που παραλαμβάνουν. Χρησιμοποιώντας τον πίνακα διευθύνσεων *MAC* ο μεταγωγός προωθεί το πλαίσιο μόνο σε μία συγκεκριμένη θύρα που υποδεικνύεται από αυτό τον πίνακα. Αν η διεύθυνση του παραλήπτη βρίσκεται στην ίδια θύρα από την οποία παραλήφθηκε το πλαίσιο, τότε αυτό φιλτράρεται (*filtering*) και δεν προωθείται.

Μέσω του **πίνακα προώθησης στατικών διευθύνσεων** (*static address-forwarding map*) ο μεταγωγός προωθεί πλαίσια με προορισμό μία δοσμένη στατική διεύθυνση. Υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής λίστας από θύρες στις οποίες οι μεταγωγοί μπορούν να στέλνουν πλαίσια. Ο πίνακας προώθησης στατικών διευθύνσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για το φιλτράρισμα των πλαισίων που λαμβάνονται από συγκεκριμένες θύρες, καθώς αυτά προωθούνται μόνο στις θύρες που έχουν οριστεί στη λίστα. Πλαίσια με προορισμό τις θύρες που αναγράφονται στη λίστα, τα οποία όμως λαμβάνονται από θύρες εκτός λίστας, δεν προωθούνται. Ο μεταγωγός προωθεί τα πλαίσια χρησιμοποιώντας την τεχνική της αποθήκευσης και προώθησης. Τα πλαίσια που λαμβάνονται αποθηκεύονται και πριν από την εκπομπή τους ελέγχονται για τυχόν λάθη.

- **Κατακλυσμοί.** Στην περίπτωση που ο μεταγωγός δε γνωρίζει τη διεύθυνση προορισμού, δεν μπορεί να αποφασίσει σε ποια θύρα να στείλει το πλαίσιο και έτσι **κατακλύζει** (*floods*) όλες τις θύρες με αυτό, ώστε να φτάσει τελικά στον προορισμό του. Για παράδειγμα, οι μεταγωγοί *Catalyst 2900* έχουν τη δυνατότητα να κατακλύζουν με πλαίσια ένα σύνολο από κόμβους - παραλήπτες ή και όλους τους κόμβους. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένοι **έλεγχοι κατακλυσμού** (*flooding controls*), ώστε να αποτρέπεται ο κατακλυσμός που δεν είναι απαραίτητος:
  - ◆ **Φιλτράρισμα πλαισίων με έναν παραλήπτη.** Όταν ένας μεταγωγός, όπως είναι για παράδειγμα ο *Catalyst 2900*, παραλαμβάνει ένα πλαίσιο με έναν και μοναδικό παραλήπτη του οποίου η διεύθυνση είναι άγνωστη, τότε κατακλύζει όλες τις θύρες με το πλαίσιο αυτό (*unicast filtering*). Ωστόσο, όταν οι θύρες έχουν εκχωρηθεί σε σταθερές διευθύνσεις ή συνδέονται με ένα μόνο σταθμό, δεν υπάρχουν άγνωστες διευθύνσεις και ο κατακλυσμός τους με το πλαίσιο δεν έχει κανένα νόημα. Σ' αυτή την περίπτωση υπάρχει η δυνατότητα απενεργοποίησης του κατακλυσμού για συγκεκριμένες θύρες.
  - ◆ **Έλεγχος καταιγίδας εκπομπής** (*broadcast storm*). Μια καταιγίδα εκπομπής συμβαίνει, όταν μία συγκεκριμένη θύρα λαμβάνει ένα μεγάλο



αριθμό πλαισίων τα οποία έχουν προορισμό όλους τους κόμβους του δικτύου. Η προώθηση αυτών των πλαισίων μπορεί να προκαλέσει δραστητική μείωση της απόδοσης του δικτύου. Για την αποφυγή αυτής της κατάστασης χρησιμοποιείται ο έλεγχος καταιγίδας εκπομπής, μέσω του οποίου καθορίζεται ένα όριο στον αριθμό των πλαισίων που μπορούν να παραληφθούν από μία θύρα και έχουν προορισμό όλους τους κόμβους του δικτύου. Τα πλεονάζοντα πλαίσια δεν προωθούνται. Υπάρχει όμως η δυνατότητα να καθοριστεί το πότε θα επιτραπεί και πάλι η προώθηση τέτοιου είδους πλαισίων.

- ◆ **Ασφαλείς θύρες** (*secure ports*). Ασφαλής χαρακτηρίζεται μια θύρα, όταν επιτρέπεται η χρησιμοποίησή της από ένα σύνολο προκαθορισμένων κόμβων (σταθμών ή συσκευών). Όταν ανατίθενται στατικές διευθύνσεις σε μια ασφαλή θύρα, ο μεταγωγός δεν προωθεί τα πλαίσια των οποίων ο αποστολέας δεν έχει στατική διεύθυνση που να περιλαμβάνεται στον πίνακα προώθησης. Αν ο πίνακας διευθύνσεων μιας ασφαλούς θύρας περιλαμβάνει μία μόνο διεύθυνση, τότε ο κόμβος που συνδέεται μ' αυτή τη θύρα έχει στη διάθεσή του όλο το εύρος ζώνης της θύρας.

Το πλήθος των σταθμών ή συσκευών που συνδέονται επάνω σε μια ασφαλή θύρα κυμαίνεται από 1 έως 132, ενώ οι διευθύνσεις τους δηλώνονται αυτόματα ή μέσω χειρισμών που γίνονται από το διαχειριστή. Η αυτόματη αναγραφή της διεύθυνσης ενός σταθμού ή μιας συσκευής στον πίνακα διευθύνσεων μιας ασφαλούς θύρας συμβαίνει, όταν ο πίνακας δεν είναι πλήρως συμπληρωμένος. Σ' αυτή την περίπτωση αναγνωρίζεται η διεύθυνση του αποστολέα των εισερχόμενων πλαισίων από τη συγκεκριμένη θύρα και αυτόματα αποθηκεύεται στον πίνακα. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται, μέχρις ότου γεμίσει ο πίνακας, και ξαναρχίζει, όταν διαγραφεί κάποια διεύθυνση από τον πίνακα.

- ✓ **Παρακολούθηση εξ αποστάσεως** (*RMON: Remote MONitoring*). Πρόκειται για είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται από τους διαχειριστές του δικτύου προκειμένου να παρακολουθούν τις συσκευές από απόσταση. Περιλαμβάνει ένα μέρος λογισμικού που συλλέγει συνεχώς στατιστικές πληροφορίες γύρω από το τοπικό δίκτυο και ένα σταθμό διαχείρισης που επικοινωνεί με το λογισμικό αυτό.
- ✓ **Πρωτόκολλο Spanning Tree**. Είναι μια τεχνική για τη συντήρηση ενός δικτύου με πολλές γέφυρες ή μεταγωγούς. Ως μέρος του προτύπου *IEEE 802.1d*, το πρωτόκολλο *Spanning Tree* είναι συμβατό με γέφυρες και μεταγωγούς διαφορετικών κατασκευαστών. Όταν η τοπολογία αλλάζει, επαναρρυθμίζει τις γέφυρες με διαφανή ως προς το χρήστη τρόπο, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία κύκλων και να βρεθούν εφεδρικά μονοπάτια στην περίπτωση πτώσης της τάσης ή απώλειας κάποιων συνδέσεων.



### 13.2.3 Διαδικτυακός εξοπλισμός για το FDDI

Ένας **προσαρμοστής FDDI** είναι μια κάρτα διεπαφής δικτύου που επιτρέπει τη σύνδεση οποιουδήποτε υπολογιστικού συστήματος σε ένα δίκτυο *FDDI* (*Fiber Distributed Data Interface*).

Γενικά, οι προσαρμοστές *FDDI* μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα και γρήγορα. Διαθέτουν μια μόνιμη κεντρική μονάδα επεξεργασίας επάνω στην κάρτα, ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα άμεσης πρόσβασης στη μνήμη (το οποίο αποθηκεύει τα δεδομένα που λαμβάνει από το δίκτυο στην περίπτωση που η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι απασχολημένη), τη δυνατότητα αμφίπλευρης επικοινωνίας, καθώς και ένα μεταγωγό παράκαμψης κόμβου, ώστε, όταν ο κόμβος είναι κλειστός, το σήμα να περνάει και να μεταδίδεται χωρίς πρόβλημα στο υπόλοιπο δίκτυο.

Σήμερα πολλές εταιρείες προσφέρουν μια σειρά από προσαρμοστές *FDDI* που μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα και γρήγορα.

### 13.2.4 Διαδικτυακός εξοπλισμός για το LATM

Ένα δίκτυο *LATM* αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία:

- ✓ **Τον κορμό του δικτύου ATM.** Το κύριο συστατικό ενός κορμού *ATM* είναι μια τοπολογία πλέγματος από μεταγωγούς *ATM*. Για τη διασύνδεση ενός δικτύου *ATM* με ένα ή περισσότερα παραδοσιακά δίκτυα χαμηλότερων ρυθμών μετάδοσης (*LANs*, *MANs* και *WANs*) χρησιμοποιούνται συσκευές που αποκαλούνται **δρομολογητές ακμής** (*edge routers*).
- ✓ **Τους μεταγωγούς ATM.** Οι λειτουργίες τις οποίες επιτελεί ένας μεταγωγός *ATM* είναι οι παρακάτω:
  - **Γεφύρωση** (*bridging*). Μετατρέπει τα πρωτόκολλα των παραδοσιακών τοπικών δικτύων σε πρωτόκολλο *ATM*.
  - **Δρομολόγηση** (*routing*). Κάνει επιλογή της αποδοτικότερης κάθε φορά διαδρομής του δικτύου μετά από επικοινωνία με άλλες μονάδες δρομολόγησης.
  - **Πολυπλεξία από μη-ATM σε ATM** (*non-ATM to ATM multiplexing*). Παίρνει πολλές μη-*ATM* ροές κίνησης δεδομένων και τις μετατρέπει σε μορφή κίνησης *ATM* συνδυάζοντάς τις σε μία και μοναδική μορφή *ATM*.
  - **ATM πολυπλεξία** (*ATM multiplexing*). Παίρνει πολλές ροές κίνησης *ATM* και τις συνδυάζει σε μία και μοναδική ροή *ATM*.
  - **Προσαρμογή** (*adaption*). Μετατρέπει τα δεδομένα που μπορεί να βρίσκονται σε πολλές μορφές σε κύτταρα *ATM*.
  - **Μεταγωγή** (*switching*). Περιλαμβάνει την παραλαβή κυττάρων *ATM* από πολλές θύρες εισόδου και τη μεταγωγή τους σε μία θύρα εξόδου (υπάρχουν πολλές θύρες εξόδου).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά δύο πολύ γνω-





## Ενότητα V: Δίκτυα ευρείας περιοχής

### Περιεχόμενα

### Κεφάλαιο 14: Εισαγωγή στα δίκτυα ευρείας περιοχής

<b>Μάθημα 14.1:</b>	<b>Στοιχεία δικτύων ευρείας περιοχής .....</b>	<b>209</b>
14.1.1	Ορισμός - Βασικές έννοιες .....	209
14.1.2	Ταξινόμηση .....	210
14.1.3	Χρήση .....	210
<b>Μάθημα 14.2:</b>	<b>Αρχιτεκτονική .....</b>	<b>212</b>
14.2.1	Φυσικά μέσα .....	212
14.2.2	Τοπολογίες .....	214
14.2.3	Τεχνικές μεταγωγής .....	219
<b>Μάθημα 14.3:</b>	<b>Τυποποιήσεις διεθνών οργανισμών .....</b>	<b>223</b>
14.3.1	Εισαγωγή .....	223
14.3.2	Πρότυπο X.25 .....	224
14.3.3	Πρότυπο μεταγωγής πλαισίου .....	224
14.3.4	Πρότυπο HSSI .....	224
14.3.5	Πρότυπο ISDN .....	225
14.3.6	Πρότυπο PPP .....	226
14.3.7	Πρότυπο SMDS .....	226
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>227</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>227</b>

### Κεφάλαιο 15: Πρότυπα

<b>Μάθημα 15.1:</b>	<b>Πρότυπο X.25 .....</b>	<b>231</b>
15.1.1	Εισαγωγή .....	231
15.1.2	Νοητά κυκλώματα .....	232
15.1.3	Η λειτουργία του X.25 .....	233
<b>Μάθημα 15.2:</b>	<b>Πρότυπο μεταγωγής πλαισίου .....</b>	<b>236</b>
15.2.1	Εισαγωγή .....	236



15.2.2	Συσκευές μεταγωγής πλαισίου .....	236
15.2.3	Νοητά κυκλώματα μεταγωγής πλαισίου .....	237
15.2.4	Δομή πλαισίου μεταγωγής .....	238
15.2.5	Σύγκριση των προτύπων X.25 και FR .....	239
<b>Μάθημα 15.3:</b>	<b>Πρότυπο TCP/IP .....</b>	<b>242</b>
15.3.1	Εισαγωγή .....	242
15.3.2	Διευθυνσιοδότηση .....	243
15.3.3	Λειτουργία του TCP .....	245
15.3.3.1	Θύρες και συνδέσεις στο TCP .....	246
15.3.3.2	Αξιοπιστία επικοινωνίας .....	248
15.3.3.3	Λήξη χρόνου των μετρητών και επαναμεταδόσεις .....	248
<b>Μάθημα 15.4:</b>	<b>Πρότυπο DQDB .....</b>	<b>249</b>
15.4.1	Εισαγωγή .....	249
15.4.2	Λειτουργία του DQDB .....	249
15.4.3	Υπηρεσίες .....	252
<b>Μάθημα 15.5:</b>	<b>Πρότυπο ATM .....</b>	<b>253</b>
15.5.1	Εισαγωγή .....	253
15.5.2	Αρχιτεκτονική του ATM .....	254
15.5.3	Δομή κυψελίδων .....	257
15.5.4	Δίκτυα ATM .....	259
<b>Μάθημα 15.6:</b>	<b>Πρότυπο ISDN ευρείας ζώνης .....</b>	<b>261</b>
15.6.1	Εισαγωγή .....	261
15.6.2	Αρχιτεκτονική του B-ISDN .....	262
15.6.3	Υπηρεσίες B-ISDN .....	263
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>265</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>265</b>

## Κεφάλαιο 16: Λογισμικό - Υλικό

<b>Μάθημα 16.1:</b>	<b>Δικτυακό λειτουργικό σύστημα .....</b>	<b>269</b>
16.1.1	Εισαγωγή .....	269
16.1.2	Το λειτουργικό σύστημα διαδίκτυωσης .....	269
16.1.2.1	Χαρακτηριστικά του IOS .....	270
16.1.3	Το λειτουργικό σύστημα <i>ForeThought</i> .....	270
<b>Μάθημα 16.2:</b>	<b>Δικτυακός εξοπλισμός .....</b>	<b>271</b>



16.2.1	Εισαγωγή .....	271
16.2.2	Διανομείς και επαναλήπτες .....	272
16.2.3	Γέφυρες .....	272
16.2.4	Μεταγωγοί .....	273
16.2.5	Δρομολογητές .....	274
16.2.5.1	Βήματα δρομολόγησης .....	274
16.2.5.2	Πίνακας δρομολόγησης .....	274
16.2.5.3	Αλγόριθμοι δρομολόγησης .....	275
<b>Μάθημα 16.3:</b>	<b>Διαχείριση δικτύου .....</b>	<b>277</b>
16.3.1	Εισαγωγή .....	277
16.3.2	Πλατφόρμα διαχείρισης δικτύου .....	279
16.3.3	Αρχιτεκτονικές διαχείρισης .....	280
<b>Μάθημα 16.4:</b>	<b>Πρωτόκολλα διαχείρισης .....</b>	<b>284</b>
16.4.1	Εισαγωγή .....	284
16.4.2	Διαχείριση <i>TCP/IP</i> - Πρωτόκολλο <i>SNMP</i> .....	284
16.4.3	Διαχείριση <i>OSI</i> - Πρωτόκολλο <i>CMIP</i> .....	286
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>288</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>289</b>

## Κεφάλαιο 17: Δίκτυα ευρείας περιοχής στον ελλαδικό χώρο

<b>Μάθημα 17.1:</b>	<b>Ιστορική εξέλιξη .....</b>	<b>293</b>
17.1.1	Εισαγωγή .....	293
<b>Μάθημα 17.2:</b>	<b>Το τηλεφωνικό δίκτυο .....</b>	<b>296</b>
17.2.1	Το δημόσιο επιλογικό τηλεφωνικό δίκτυο .....	296
17.2.2	Μισθωμένα κυκλώματα .....	298
<b>Μάθημα 17.3:</b>	<b>HellasPac I και II, HellasCom .....</b>	<b>300</b>
17.3.1	Εισαγωγή .....	300
17.3.2	Τεχνική του <i>HellasPac I</i> .....	300
17.3.2.1	Εξοπλισμός χρήστη .....	301
17.3.2.2	Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....	302
17.3.2.3	Τρόποι πρόσβασης στο δίκτυο .....	302
17.3.3	Τεχνική του <i>HellasPac II</i> .....	305
17.3.3.1	Γενικά - Δομή δικτύου .....	305



17.3.3.2	Βασικές υπηρεσίες πρόσβασης .....	306
17.3.3.3	Πρόσθετες υπηρεσίες πρόσβασης .....	307
17.3.4	<i>HellasCom</i> .....	308
<b>Μάθημα 17.4:</b>	<b>Δημόσια δίκτυα δεδομένων - EuroISDN, ATM ...</b>	<b>309</b>
17.4.1	<i>EuroISDN</i> .....	309
17.4.2	Δημόσιο δίκτυο ATM.....	311
<b>Μάθημα 17.5:</b>	<b>Ιδιωτικά δίκτυα παροχής υπηρεσιών .....</b>	<b>312</b>
17.5.1	Εταιρείες Παροχής Υπηρεσιών Διαδικτύου .....	312
17.5.1.1	<i>FORTHnet</i> .....	312
17.5.1.2	<i>OTEnet</i> .....	313
17.5.1.3	<i>CompuLink</i> .....	315
17.5.1.4	<i>Hellas on Line</i> .....	316
17.5.1.5	Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των ΕΠΥΔ	317
17.5.2	Φορείς παροχής δικτυακών εγκαταστάσεων και υπηρεσιών .....	318
17.5.2.1	Οι κυριότεροι φορείς παροχής δικτυακών εγκαταστάσεων και υπηρεσιών στην Ελλάδα .....	319
<b>Μάθημα 17.6:</b>	<b>Εκπαιδευτικά δίκτυα κορμού στην Ελλάδα .....</b>	<b>320</b>
17.6.1	Το <i>ΕΔΕΤ</i> .....	320
17.6.2	Πανεπιστημιακό Διαδίκτυο <i>GUnet</i> .....	322
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	.....	<b>325</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	.....	<b>326</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	.....	<b>327</b>
<b>Διευθύνσεις Διαδικτύου</b>	.....	<b>329</b>
<b>Γλωσσάριο</b>	.....	<b>i - v</b>



## Μάθημα 14.1: Στοιχεία δικτύων ευρείας περιοχής

### 14.1.1 Ορισμός - Βασικές έννοιες

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 4.2, τα **Δίκτυα Ευρείας Περιοχής** (ΔΕΠ) (WANs: *Wide Area Networks*) είναι εκείνα τα δίκτυα που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Συνήθως τα δίκτυα αυτά είναι υπεραστικά ή διεθνή. Οι κόμβοι που τα αποτελούν μπορεί να είναι αυτόνομοι υπολογιστές ή τοπικά δίκτυα που βρίσκονται σε γεωγραφικά απομακρυσμένες μεταξύ τους περιοχές. Οι ρυθμοί μετάδοσης των ΔΕΠ διαβαθμίζονται ανάλογα με την τεχνολογία τους, σήμερα όμως ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που αναπτύσσουν ξεπερνά τα 622 Mbps.

Όταν ένας σταθμός εργασίας ο οποίος συνδέεται σε ένα τοπικό δίκτυο θελήσει να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο σταθμό εργασίας ενός άλλου τοπικού δικτύου που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση, τότε το δίκτυο που αναλαμβάνει να φέρει σε πέρας την επικοινωνία είναι ένα ΔΕΠ. Για τη διασύνδεση δύο ή περισσότερων τοπικών δικτύων με ένα ΔΕΠ χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές.

Η κατανόηση της λειτουργίας των ΔΕΠ θα διευκολυνθεί, αν παρουσιαστούν ορισμένες σημαντικές διαφορές τους με τα τοπικά δίκτυα:

- ✓ Τα τοπικά δίκτυα χαρακτηρίζονται από μικρές καθυστερήσεις κατά τη μετάδοση της πληροφορίας, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στα ΔΕΠ. Οι καθυστερήσεις αυτές δεν οφείλονται στη μεγαλύτερη απόσταση που πρέπει να διανύσουν οι πληροφορίες, αφού τα ηλεκτρικά σήματα μεταδίδονται με ταχύτητα ίση σχεδόν με αυτήν του φωτός, αλλά κυρίως στο μεγάλο αριθμό των ενδιάμεσων δικτυακών συσκευών από τις οποίες πρέπει να διέλθουν.
- ✓ Τα τοπικά δίκτυα καλύπτουν τις ανάγκες μιας περιορισμένης γεωγραφικά περιοχής. Για παράδειγμα, στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα η εγκατεστημένη καλωδίωση δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 200 km περίπου. Αντίθετα τα ΔΕΠ θεωρείται ότι καλύπτουν πολύ ευρύτερες περιοχές.
- ✓ Τα τοπικά δίκτυα χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητά τους να μεταδίδουν ταχύτατα μεγάλο όγκο πληροφοριών. Αντίθετα τα ΔΕΠ μπορούν να μεταδώσουν στον ίδιο χρόνο πολύ μικρότερο όγκο πληροφοριών, δηλαδή είναι πολύ πιο αργά.
- ✓ Κατά τη μετάδοση της πληροφορίας τα λάθη που συμβαίνουν στα τοπικά δίκτυα είναι πολύ λιγότερα από αυτά που συμβαίνουν στα ΔΕΠ.
- ✓ Τα λάθη που συμβαίνουν κατά τη μετάδοση της πληροφορίας σε ένα ΔΕΠ δε γίνονται αντιληπτά, αφού το δίκτυο φροντίζει αυτόματα για την επαναμετάδοση της πληροφορίας. Όμως αυτό έχει επίπτωση στο χρόνο μετάδοσης.





### 14.1.2 Ταξινόμηση

Τα ΔΕΠ μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα με την τεχνική μεταγωγής την οποία χρησιμοποιούν, στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ **ΔΕΠ μεταγωγής κυκλώματος.** Σε ένα ΔΕΠ μεταγωγής κυκλώματος εγκαθίστανται μόνιμα φυσικά κυκλώματα για κάθε μετάδοση δεδομένων. Τα κυκλώματα αυτά διατηρούνται όσο διαρκεί η μετάδοση δεδομένων και στη συνέχεια, μετά τον τερματισμό της, ελευθερώνονται. ΔΕΠ τα οποία στηρίζονται στην τεχνική μεταγωγής κυκλώματος είναι το τηλεφωνικό δίκτυο και το δίκτυο *ISDN*.
- ✓ **ΔΕΠ μεταγωγής πακέτου.** Σε ένα ΔΕΠ μεταγωγής πακέτου οι δικτυακές συσκευές μοιράζονται μια σύνδεση σημείου προς σημείο με σκοπό τη μεταφορά πακέτων από έναν κόμβο σε έναν άλλο. Η χρήση των τηλεπικοινωνιακών κυκλωμάτων από πολλές συσκευές ταυτόχρονα γίνεται με τη βοήθεια της στατιστικής πολυπλεξίας. ΔΕΠ τα οποία στηρίζονται στην τεχνική μεταγωγής πακέτου είναι το *X.25*, η μεταγωγή πλαισίου (*FR: Frame Relay*), το *SMDS (Switched Multimegabit Data Services)* κ.ά., τα οποία και θα αναλυθούν ειδικότερα στο Κεφάλαιο 15.
- ✓ **ΔΕΠ νοητών κυκλωμάτων.** Ένα νοητό κύκλωμα είναι ένα λογικό κύκλωμα το οποίο εξασφαλίζει την αξιόπιστη επικοινωνία ανάμεσα σε δύο δικτυακές συσκευές. Υπάρχουν δύο είδη νοητών κυκλωμάτων, τα προσωρινά και τα μόνιμα. Τα προσωρινά νοητά κυκλώματα εγκαθίστανται ανάλογα με τη ζήτηση και τερματίζονται, όταν η μετάδοση ολοκληρωθεί. Τα μόνιμα νοητά κυκλώματα χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που η ροή των δεδομένων ανάμεσα σε δικτυακές συσκευές είναι συνεχής.

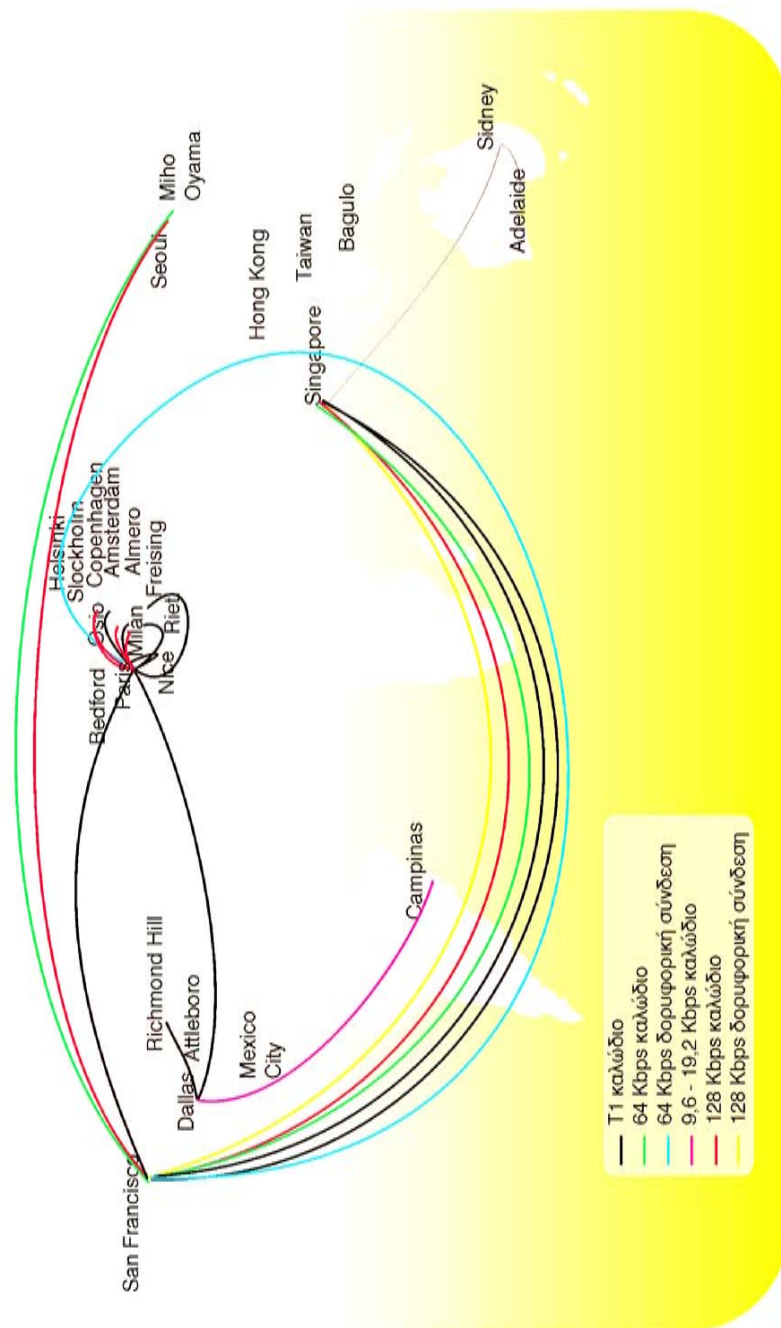
### 14.1.3 Χρήση



Ένα παράδειγμα δικτύου κορμού αποτελεί το *ΕΔΕΤ* (Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας), το οποίο διασυνδέει όλα τα πανεπιστήμια και τα ερευνητικά ιδρύματα της χώρας μας.

Τα ΔΕΠ έχουν μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται οι υπηρεσίες που παρέχουν τα ΔΕΠ χωρίς αυτό να γίνεται άμεσα αντιληπτό από τον τελικό χρήστη. Για παράδειγμα, όταν γίνεται ανάληψη από μια τράπεζα ή όταν στο χώρο εργασίας κάποιου υποκαταστήματος μιας επιχείρησης χρησιμοποιούνται στοιχεία που είναι καταχωρισμένα σε άλλα παραρτήματά της, τότε γίνεται χρήση κάποιου ΔΕΠ. Μερικές ενδεικτικές εφαρμογές των ΔΕΠ είναι οι παρακάτω:

- ✓ **Υλοποίηση δικτύων κορμού (*backbone*).** Μία από τις κύριες χρήσεις των ΔΕΠ είναι η υλοποίηση δικτύων κορμού τόσο για δημόσια όσο και για ιδιωτικά δίκτυα. Για παράδειγμα, το δίκτυο κορμού του Διαδικτύου αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό ΔΕΠ.
- ✓ **Διασύνδεση απομακρυσμένων τοπικών δικτύων.** Τα ΔΕΠ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διασύνδεση τοπικών δικτύων που είναι εγκατεστημένα μακριά το ένα από το άλλο. Μια τέτοια περίπτωση διασύνδεσης αποτελούν οι τράπεζες, ορισμένες εταιρείες οι οποίες διασυνδέουν τα υποκαταστήματά τους (σχήμα 14.1) κτλ.



Σχήμα 14.1: Παγκόσμιο δίκτυο επικοινωνίας μιας Εταιρείας Παροχής Υπηρεσιών Διαδικτύου (ΕΠΥΔ) για την εξυπηρέτηση των υποκαταστημάτων μιας επιχείρησης.

## Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Δίκτυο Ευρείας Περιοχής (ΔΕΠ), ΔΕΠ μεταγωγής κυκλώματος, ΔΕΠ μεταγωγής πακέτου, ΔΕΠ νοητών κυκλωμάτων.





## Μάθημα 14.2: Αρχιτεκτονική

### 14.2.1 Φυσικά μέσα

Ένα βασικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη σχεδίαση ενός ΔΕΠ είναι το είδος των γραμμών επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθούν. Για να επιλεγεί το καταλληλότερο φυσικό μέσο, θα πρέπει να έχει καθοριστεί ο σκοπός για τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί το ΔΕΠ. Τα φυσικά μέσα που συνδέουν τα ΔΕΠ είναι τα ακόλουθα:

- ✓ **Κανάλια επικοινωνίας Ε/Τ.** Η σειρά των καναλιών επικοινωνίας  $T$  αποτελεί το πρότυπο της βιομηχανίας τηλεπικοινωνιών των Η.Π.Α. και αφορά την ψηφιακή διασύνδεση των συστημάτων επικοινωνίας. Το αντίστοιχο πρότυπο για τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών της Ευρώπης είναι η σειρά των καναλιών επικοινωνίας  $E$ . Αυτές οι σειρές καναλιών επικοινωνίας έχουν ιεραρχική δομή, η οποία καθορίζεται από τις συστάσεις της ψηφιακής μετάδοσης και της πολυπλεξίας δεδομένων. Για παράδειγμα, η σειρά  $T$  προσφέρει ταχύτητες από 1.544 Mbps (κύκλωμα  $T1$ ) έως 274.176 Mbps (κύκλωμα  $T4$ ). Η σειρά  $E$  προσφέρει ταχύτητες από 2.048 Mbps (κύκλωμα  $E1$ ) έως 565.148 Mbps (κύκλωμα  $E5$ ).
- ✓ **Συγχρονισμένο οπτικό δίκτυο (SONET: Synchronous Optical NETwork).** Το SONET έχει γίνει αποδεκτό ως πρότυπο από τον οργανισμό ANSI για την οπτική μετάδοση δεδομένων με ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των Gbps (1 Gbps =  $10^9$  bps). Αν και η τεχνολογία που καθορίζει το πρότυπο SONET δεν έχει πλήρως αναπτυχθεί, ωστόσο είναι διαθέσιμη στο εμπόριο και έχει υλοποιηθεί στις μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου. Πολλές τηλεπικοινωνιακές εταιρείες, για να μεταδώσουν δεδομένα με ρυθμούς μετάδοσης έως και 622 Mbps, χρησιμοποιούν κυκλώματα τεχνολογίας SONET. Μ' αυτούς τους ρυθμούς μετάδοσης είναι φανερό γιατί πλέον οι τηλεπικοινωνιακές εταιρείες, στις περισσότερες περιοχές, χρησιμοποιούν οπτικές ίνες για την υλοποίηση των ΔΕΠ.
- ✓ **Δορυφορικές συνδέσεις.** Ο συνδυασμός των επιτευγμάτων της τεχνολογίας έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη μικρότερων, ισχυρότερων και οικονομικότερων συστημάτων — εξοπλισμένων με δορυφορικές κεραίες (VSAT: Very Small Aperture Terminals) — τα οποία, σε πολλές περιπτώσεις, προσφέρουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ευελιξία από τις επίγειες μισθωμένες γραμμές, συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων μετάδοσης μέσω οπτικής ίνας. Σήμερα έχουν υλοποιηθεί αρκετές δορυφορικές εγκαταστάσεις, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις διασύνδεσης απομακρυσμένων περιοχών. Το κόστος του απαιτούμενου ειδικού εξοπλισμού (σταθμοί VSAT) και των δορυφορικών συνδέσεων έχει αποδειχθεί συγκρίσιμο με άλλες εναλλακτικές λύσεις (επίγειες καλωδιώσεις), ιδιαίτερα όταν πρέπει να καλυφθούν πολύ μεγάλες αποστάσεις. Σημειώνεται ότι οι δορυφορικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται υποχρεωτικά, όταν οι επίγειες φυσικές συνδέσεις δεν είναι εφικτές ή όταν τα παραδοσιακά μέσα μετάδοσης παρέχουν υπηρεσίες χαμηλής ποιότητας. Οι τυπικοί ρυθμοί μετάδοσης στα δορυφο-

ρικά κανάλια κυμαίνονται από 9.600 bps έως 1.544 Mbps και πάνω.

- ✓ **Συνδέσεις ISDN.** Ο ψηφιακός σύνδεσμος επικοινωνίας *ISDN* υποστηρίζει πολλά κανάλια μέσω της τεχνικής *TDM* (Μάθημα 3.1). Αρκετοί τύποι καναλιών αυτής της μορφής έχουν τυποποιηθεί ως εξής:

A: 4 KHz αναλογικό τηλεφωνικό κανάλι.

B: 64 Kbps ψηφιακό *PCM* κανάλι για φωνή και δεδομένα.

C: 8 ή 16 Kbps ψηφιακό κανάλι.

D: 16 Kbps ψηφιακό κανάλι για σηματοδότηση εκτός δικτύου *ISDN*.

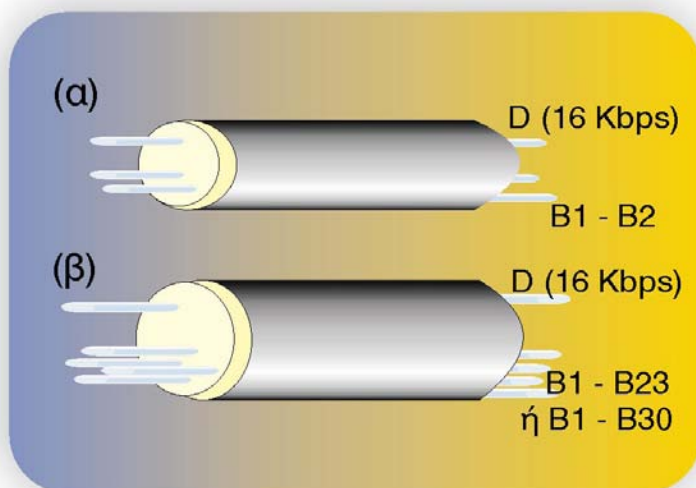
E: 64 Kbps ψηφιακό κανάλι για σηματοδότηση εκτός δικτύου *ISDN*.

H: 384, 1.536 ή 1.920 Kbps ψηφιακό κανάλι.

Παρά το γεγονός ότι είναι δυνατόν να προκύψουν πολλοί συνδυασμοί, η *CCITT* έχει τυποποιήσει μόνο τις ακόλουθες τρεις περιπτώσεις:

- κανάλια **βασικού ρυθμού** (*basic rate*):  $2B + D$ ,
- κανάλια **πρωτεύοντος ρυθμού** (*primary rate*):  $23B + D$  (Η.Π.Α. και Ιαπωνία),  $30B + D$  (Ευρώπη),
- **υβριδικά κανάλια**:  $1A + 1C$ .

Η διεπαφή βασικού ρυθμού πρόσβασης αφορά οικιακή χρήση ή μικρές επιχειρήσεις (σχήμα 14.2α). Καθένα από τα 64 Kbps B κανάλια μπορεί να χειριστεί ένα *PCM* κανάλι φωνής (δειγματοληψία 8 δυαδικών ψηφίων, 8.000 φορές ανά δευτερόλεπτο). Η σηματοδότηση γίνεται από το ξεχωριστό 16 Kbps D κανάλι, έτσι ώστε όλη η χωρητικότητα των 64 Kbps να είναι διαθέσιμη στο χρήστη. Αυτή η περίπτωση σύνδεσης αναφέρεται ως *N-ISDN* (*Narrowband*



Σχήμα 14.2: Κανάλια βασικού (α) και πρωτεύοντος (β) ρυθμού

Με τη χρήση του *ISDN* μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα φωνή και δεδομένα μέσω της ίδιας φυσικής σύνδεσης. Το *ISDN* είναι διαθέσιμο στην αγορά σε δύο είδη: **βασικού ρυθμού** (*basic rate*) και **πρωτεύοντος ρυθμού** (*primary rate*).

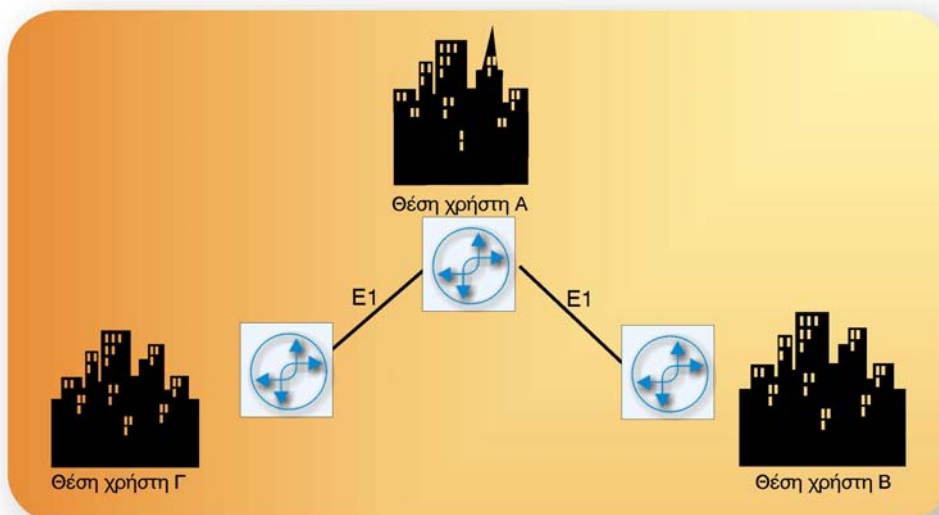


*ISDN*) και αποτελεί επέκταση του κλασικού τηλεφωνικού δικτύου. Η διεπαφή πρωτεύοντος ρυθμού πρόσβασης (σχήμα 14.2β) αφορά συνδέσεις για χρήση μεγαλύτερης χωρητικότητας, όπως είναι για παράδειγμα οι περιπτώσεις εταιρειών με μεγάλα ψηφιακά τηλεφωνικά κέντρα (*PBX: Private Branch Exchange*). Διαθέτει 30B κανάλια και 1D κανάλι στην Ευρώπη και 23B κανάλια και 1D κανάλι στις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία. Η επιλογή 30B + D έγινε για να επιτραπεί στο *ISDN* να ενσωματωθεί στο ευρωπαϊκό σύστημα της *CCITT* των 2.048 Mbps, ενώ η επιλογή 23B + D έγινε προκειμένου το *ISDN* να ενσωματωθεί στο σύστημα *T1* της *AT&T*. Τα δύο επιπλέον κανάλια του 32B + D συστήματος χρησιμοποιούνται για συντήρηση.

### 14.2.2 Τοπολογίες

Η τοπολογία, όπως έχει ήδη αναφερθεί, περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο είναι τοποθετημένα στο χώρο τα στοιχεία ενός δικτύου. Υπάρχει μεγάλος αριθμός διαθεσίμων τοπολογιών, με διαφορετική **δυνατότητα επέκτασης** (*scalability*) της καθεμιάς και διαφορετική σχέση κόστους - απόδοσης. Οι περισσότερες μορφές τοπολογιών εξετάστηκαν με λεπτομέρεια στα Μαθήματα 4.2 και 7.3. Εδώ θα παρουσιαστούν οι σημαντικότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται στα ΔΕΠ και θα σχολιαστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους:

- ✓ **Τοπολογία ομότιμου δικτύου** (*peer-to-peer network topology*). Η τοπολογία αυτής της μορφής αποτελεί τον απλούστερο τρόπο διασύνδεσης ενός μικρού αριθμού κόμβων και συχνά είναι η μόνη εφικτή λύση για τα ΔΕΠ. Πρόκειται για δίκτυο συνδέσεων σημείου προς σημείο (σχήμα 14.3), στο οποίο όλοι οι κόμβοι έχουν τις ίδιες δυνατότητες, και μπορεί να κατασκευαστεί χρησιμοποιώ-



Σχήμα 14.3: Τοπολογία ομότιμου δικτύου

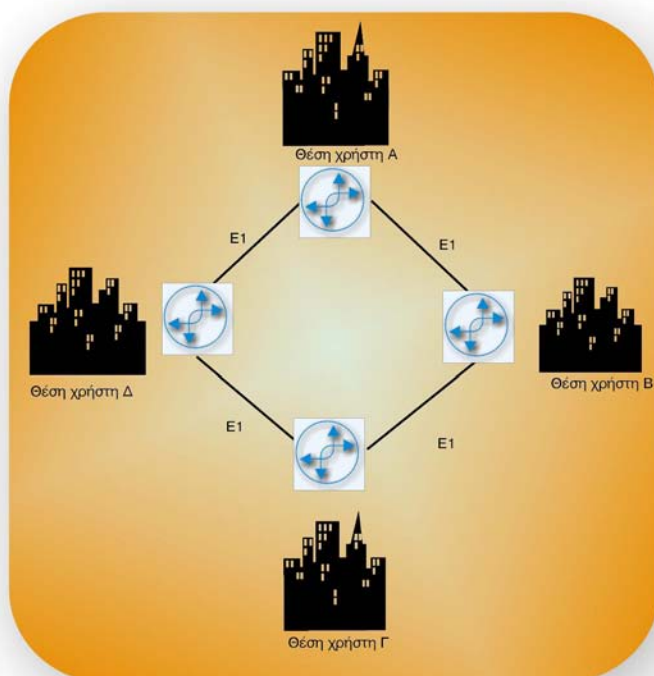




ντας μισθωμένες ιδιωτικές γραμμές.

Όμως τα ομότιμα ΔΕΠ έχουν δύο βασικούς περιορισμούς. Ο πρώτος είναι ότι δεν έχουν μεγάλη δυνατότητα επέκτασης. Για παράδειγμα, όταν προστίθενται επιπλέον κόμβοι σε ένα ομότιμο ΔΕΠ, ο αριθμός των **βημάτων** (*hops*) μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κόμβων είναι πιθανόν να αυξηθεί. Ο δεύτερος περιορισμός αφορά τη δυνατότητα επανακαθορισμού της διαδρομής των πακέτων μέσα στο δίκτυο σε περίπτωση που ένας κόμβος του δικτύου υποστεί βλάβη και δεν μπορεί να διαχειριστεί την κυκλοφορία. Μια τέτοια βλάβη είναι βέβαιο ότι θα αλλάξει τη ροή της κυκλοφορίας σε ένα ομότιμο ΔΕΠ. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον όγκο της κυκλοφορίας στο δίκτυο και τη μέθοδο δρομολόγησης που εφαρμόζεται, μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση ολόκληρου του ΔΕΠ.

- ✓ **Τοπολογία δακτυλίου.** Μια τοπολογία δακτυλίου, όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 14.4, μπορεί να κατασκευαστεί αρκετά εύκολα προσθέτοντας στο ομότιμο δίκτυο του σχήματος 14.3 το δρομολογητή Δ και μία επιπλέον θύρα στους δρομολογητές Β και Γ. Η αύξηση του κόστους λόγω αυτής της προσθήκης είναι ασήμαντη, όμως το νέο σχήμα παρέχει πρόσθετες γραμμές μετάδοσης, γεγονός που δίνει στα μικρά δίκτυα τη δυνατότητα να υλοποιήσουν πρωτόκολλα **δυναμικής δρομολόγησης** (*dynamic routing*). Η δυναμική δρομολόγηση μπορεί να εντοπίζει και να αντεπεξέρχεται σε προβλήματα που αλλάζουν την κατάσταση λειτουργίας ενός ΔΕΠ.



Σχήμα 14.4: Τοπολογία δακτυλίου



Συνήθως η τοπολογία δακτυλίου χρησιμοποιείται στη διασύνδεση πολύ μικρού αριθμού κόμβων.

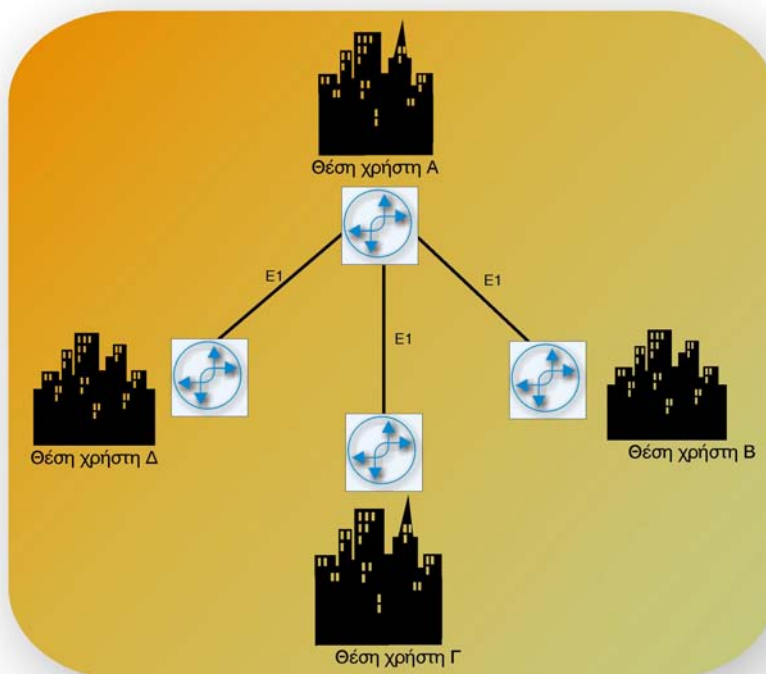


Οι δακτύλιοι των ΔΕΠ υπόκεινται σε ορισμένους βασικούς περιορισμούς. Ο πρώτος είναι ότι το κόστος εγκατάστασης εξαρτάται από τη γεωγραφική διασπορά των κόμβων του δικτύου. Για παράδειγμα, προσθέτοντας έναν επιπλέον κόμβο το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται για τη δημιουργία του δακτυλίου μπορεί να είναι απαγορευτικό. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατόν να εφαρμοστούν εναλλακτικές τεχνικές που μειώνουν το κόστος μετάδοσης. Ένας δεύτερος περιορισμός είναι ότι οι δακτύλιοι δεν μπορούν εύκολα να επεκταθούν. Η προσθήκη νέων κόμβων σε ένα ΔΕΠ προκαλεί αύξηση του αριθμού των βημάτων που απαιτούνται για την πρόσβαση των κόμβων στο δακτύλιο, με αποτέλεσμα την ανάγκη εγκατάστασης νέων συνδέσεων.

### Παράδειγμα I

Αν στην τοπολογία του σχήματος 14.4 προστεθεί ένας νέος κόμβος, έστω Χ, κοντά στις θέσεις Γ και Δ, τότε είναι φανερό ότι απαιτείται τερματισμός της σύνδεσης από το Γ στο Δ. Επομένως, προκειμένου να διατηρηθεί η ακεραιότητα του δακτυλίου, θα πρέπει να δημιουργηθούν δύο νέες συνδέσεις, από τις οποίες η μία να συνδέει το Γ στο Χ και η άλλη το Δ στο Χ.

- ✓ **Τοπολογία άστρου.** Μία παραλλαγή της ομότιμης τοπολογίας είναι η τοπολογία άστρου (σχήμα 14.5). Η τοπολογία αυτή (όπως και άλλες) μπορεί να κατα-



Σχήμα 14.5: Τοπολογία άστρου



σκευαστεί χρησιμοποιώντας συνδέσεις πολλών τύπων, συμπεριλαμβανομένων των συνδέσεων μεταγωγής πλαισίου και σημείου προς σημείο με μισθωμένες ιδιωτικές γραμμές.

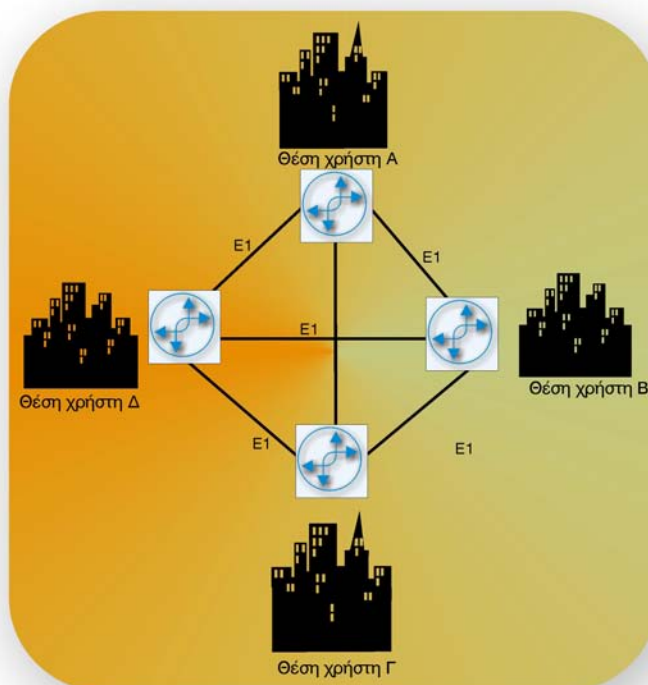
Ένα ΔΕΠ τοπολογίας άστρου με συνδέσεις σημείου προς σημείο έχει μεγαλύτερη δυνατότητα επέκτασης από ένα ομότιμο δίκτυο ή από ένα δίκτυο δακτυλίου. Οι συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους απέχουν, το πολύ, απόσταση δύο βημάτων.

Η τοπολογία άστρου διορθώνει τα προβλήματα που έχουν σχέση με τη δυνατότητα επέκτασης των ομότιμων δικτύων, αφού χρησιμοποιεί μια δικτυακή συσκευή, που ονομάζεται **συλλέκτης - δρομολογητής** (*concentrator - router*), προκειμένου να συνδέσει όλους τους υπόλοιπους δρομολογητές. Έτσι η επέκταση ενός δικτύου τοπολογίας άστρου μπορεί να υλοποιηθεί με μια μικρή μόνο αύξηση του αριθμού των δρομολογητών, των θυρών τους και του εξοπλισμού μετάδοσης, σε αντίθεση με τον αριθμό των συσκευών που απαιτούνται για ένα ομότιμο δίκτυο ανάλογου μεγέθους.

Το μοναδικό μειονέκτημα της τοπολογίας άστρου είναι η παρουσία ενός μόνο κρίσιμου κόμβου, ο οποίος, αν πάθει βλάβη, μπορεί να διακόψει ολόκληρη την επικοινωνία στο ΔΕΠ. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 14.5, ο κεντρικός κόμβος διανομής όλων των γραμμών μετάδοσης αποτελεί και τον κρίσιμο κόμβο.

- ✓ **Πλήρως συνεκτική τοπολογία** (*full mesh topology*). Σε αντίθεση με τις τοπολογίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η πλήρως συνεκτική τοπολογία, γνωστή και ως **δικτυωτό** (σχήμα 14.6), προσφέρει απόλυτη αξιοπιστία και αντοχή στα λεγόμενα **καταστροφικά σφάλματα** (*fault tolerance*). Στην τοπολογία αυτή κάθε κόμβος του δικτύου διασυνδέεται με όλους τους άλλους κόμβους με απευθείας συνδέσεις. Η απευθείας σύνδεση δύο κόμβων σημαίνει ότι δε μεσολαβούν άλλοι κόμβοι του δικτύου σ' αυτήν. Τα πλήρως συνεκτικά δίκτυα μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας μόνιμες συνδέσεις.

Μία πλήρως συνεκτική τοπολογία ΔΕΠ αναγνωρίζεται εύκολα από την απευθείας σύνδεση κάθε κόμβου με οποιονδήποτε άλλο κόμβο του δικτύου. Όμως η διασύνδεση ενός συγκεκριμένου αριθμού κόμβων απαιτεί υποστήριξη από περισσότερα μέσα μετάδοσης και περισσότερες θύρες δρομολογητών από οποιαδήποτε άλλη τοπολογία. Επομένως, αν και αυτή η προσέγγιση ελαχιστοποιεί τον αριθμό των βημάτων διασύνδεσης δύο κόμβων, απαιτεί ωστόσο υψηλό κόστος εγκατάστασης και είναι οριακή όσον αφορά τη δυνατότητα επέκτασής της. Ως εκ τούτου η τοπολογία αυτή αποτελεί ιδανική περίπτωση, με πολύ μικρή όμως πρακτική εφαρμογή. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή της πλήρως συνεκτικής τοπολογίας θα μπορούσε να είναι η διασύνδεση ενός περιορισμένου αριθμού δρομολογητών που απαιτούν από το δίκτυο παροχή υψηλής χωρητικότητας.

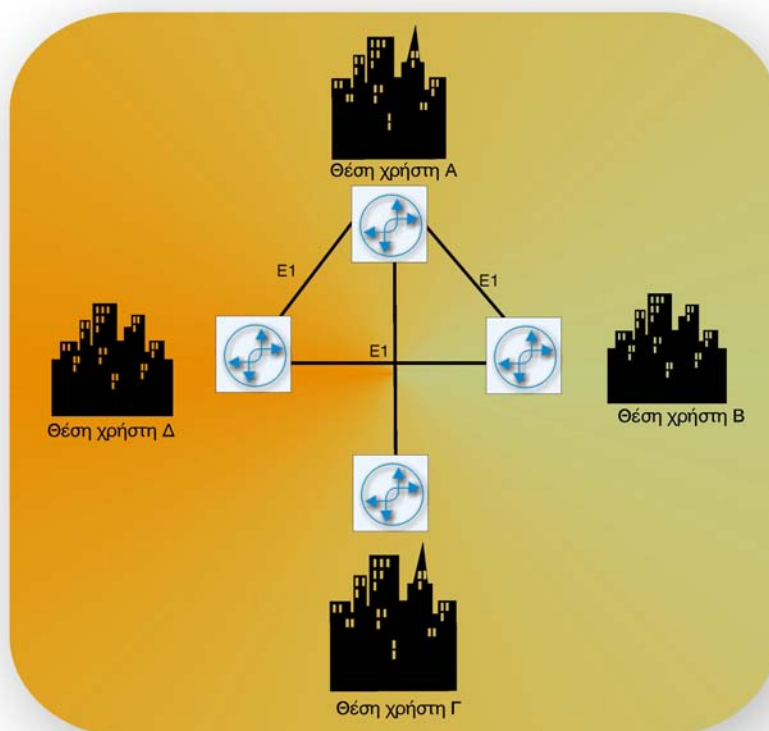


Σχήμα 14.6: Πλήρως συνεκτική τοπολογία (δικτυωτό)

- ✓ **Μερικώς συνεκτική τοπολογία.** Η μερικώς συνεκτική τοπολογία των ΔΕΠ (σχήμα 14.7) είναι πολύ ευέλικτη και μπορεί να ρυθμιστεί με διάφορους τρόπους. Στην τοπολογία αυτή κάθε κόμβος δε διασυνδέεται απαραίτητα με όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου μέσω απευθείας συνδέσεων. Επομένως είναι δυνατόν ανάμεσα στη σύνδεση δύο κόμβων να μεσολαβούν και άλλοι κόμβοι του δικτύου.

Οι μερικώς συνεκτικές τοπολογίες έχουν τη δυνατότητα να ελαχιστοποιούν τα βήματα για όλους τους χρήστες των ΔΕΠ. Αντίθετα από τα πλήρως συνεκτικά δίκτυα, ένα μερικώς συνεκτικό δίκτυο μπορεί να μειώσει το λειτουργικό κόστος μη διασυνδέοντας τα τμήματα των ΔΕΠ με χαμηλή κυκλοφορία. Αυτό επιτρέπει σε ένα μερικώς συνεκτικό δίκτυο να έχει μεγαλύτερη δυνατότητα επέκτασης και να είναι οικονομικότερο από ένα πλήρως συνεκτικό δίκτυο.

Οι μερικώς συνεκτικές τοπολογίες οι οποίες προκύπτουν από το συνδυασμό ενός δακτυλίου και πολλών δέντρων είναι οι δημοφιλέστερες τοπολογίες για την υλοποίηση των ΔΕΠ, επειδή είναι ευέλικτες και έχουν τη δυνατότητα επέκτασης.



Μία μερικώς συνεκτική τοπολογία μπορεί να προκύψει από μία πλήρως συνεκτική τοπολογία, αν δε διασυνδεθούν εκείνα τα τμήματα του ΔΕΠ που διαθέτουν χαμηλή κυκλοφορία.

Σχήμα 14.7: Μερικώς συνεκτική τοπολογία

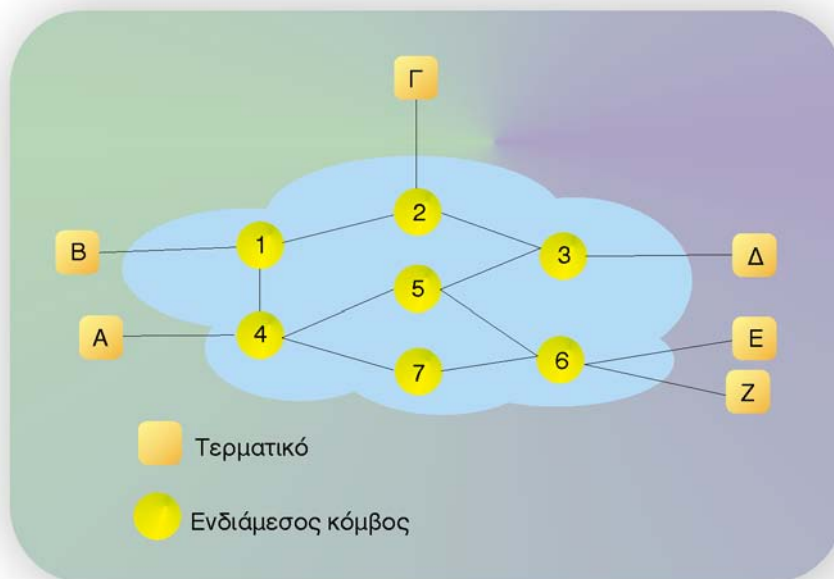
### 14.2.3 Τεχνικές μεταγωγής

Για τη μετάδοση των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό τους χρησιμοποιούνται κατά κανόνα πολλοί ενδιάμεσοι κόμβοι. Η τεχνική αυτή της μετάδοσης της πληροφορίας από κόμβο σε κόμβο μελετήθηκε διεξοδικά στο Κεφάλαιο 6 και





ονομάστηκε μεταγωγή (*switching*), ενώ το δίκτυο που τη χρησιμοποιεί ονομάστηκε δίκτυο μεταγωγής (*switching network*). Ένα δίκτυο μεταγωγής φαίνεται στο σχήμα 14.8.



Σχήμα 14.8: Δίκτυο μεταγωγής

Οι δύο τεχνικές μεταγωγής που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η επικοινωνία ανάμεσα σε δύο κόμβους ενός ΔΕΠ είναι η μεταγωγή κυκλώματος και η μεταγωγή πακέτου. Η μεταγωγή πακέτου περιλαμβάνει δύο υποπεριπτώσεις, τη μεταγωγή πακέτου με χρήση αυτοδύναμου πακέτου (*datagram*) και τη μεταγωγή πακέτου με χρήση νοητού κυκλώματος. Η χρήση της μεταγωγής πακέτου προτιμάται στις περισσότερες περιπτώσεις των ΔΕΠ.

Ο πίνακας 14.1 παρουσιάζει συνοπτικά την αντιστοιχία όλων των χαρακτηριστικών των τεχνικών μεταγωγής. Από τον πίνακα αυτό μπορεί κανείς να διαπιστώσει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη χρήση της μεταγωγής πακέτου σε σχέση με τη χρήση της μεταγωγής κυκλώματος για ΔΕΠ που μεταδίδουν κυρίως δεδομένα. Τα πλεονεκτήματα αυτά μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- ✓ Οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων μπορούν να μοιραστούν δυναμικά. Επομένως η αποδοτικότητα της γραμμής είναι πολύ καλύτερη.
- ✓ Η διασύνδεση κόμβων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης είναι εφικτή, αφού κάθε κόμβος συνδέεται στο δίκτυο με το ρυθμό μετάδοσης που αυτός επιλέγει και μπορεί να επιτύχει.
- ✓ Ο μεγάλος φόρτος στο δίκτυο δε συνεπάγεται απαραίτητα και απόρριψη



Αν τα πακέτα καταφθάνουν σε έναν κόμβο με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν που μπορούν να μεταδοθούν, τότε κάποια θα απορριφθούν. Όμως αυτό μπορεί να αποτραπεί, αν η χρησιμοποίηση της γραμμής μετάδοσης δε φτάσει το 100%.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΥΡΕΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



πακέτων αλλά μείωση της απόδοσης του δικτύου.

- ✓ Μπορεί να δοθεί προτεραιότητα μετάδοσης σε κάποια πακέτα. Αυτό σημαίνει πως, αν σε κάποιον κόμβο υπάρχουν αποθηκευμένα πακέτα τα οποία περιμένουν να μεταδοθούν, ο κόμβος μπορεί να μεταδώσει πρώτα εκείνα τα πακέτα που έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Μεταγωγή κυκλώματος	Μεταγωγή πακέτου με χρήση αυτοδύναμου πακέτου	Μεταγωγή πακέτου με χρήση νοητού κυκλώματος
Αποκλειστικό μονοπάτι μετάδοσης.	Δεν υπάρχει αποκλειστικό μονοπάτι μετάδοσης.	Δεν υπάρχει αποκλειστικό μονοπάτι μετάδοσης.
Η μετάδοση δεδομένων είναι συνεχής.	Τα δεδομένα μεταδίδονται σε πακέτα.	Τα δεδομένα μεταδίδονται σε πακέτα.
Είναι ικανοποιητική για αλληλεπίδραση.	Είναι ικανοποιητική για αλληλεπίδραση.	Είναι ικανοποιητική για αλληλεπίδραση.
Τα μηνύματα που μεταδίδονται δεν αποθηκεύονται σε ενδιάμεσους κόμβους.	Τα πακέτα μπορεί να αποθηκευτούν προσωρινά σε κάποιον κόμβο.	Τα πακέτα αποθηκεύονται, μέχρι να μεταδοθούν.
Καθορισμός του μονοπατιού για ολόκληρη τη σύνδεση.	Καθορισμός μονοπατιού για κάθε πακέτο.	Καθορισμός μονοπατιού για όλα τα πακέτα.
Πιθανή καθυστέρηση στην εγκατάσταση της σύνδεσης.	Πιθανή καθυστέρηση στη μετάδοση των πακέτων.	Καθυστέρηση στην εγκατάσταση της σύνδεσης και στη μετάδοση των πακέτων.
Αν κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης ο παραλήπτης είναι απασχολημένος, δίνεται σήμα κατειλημμένου στον αποστολέα.	Ο αποστολέας είναι πιθανό να ενημερωθεί, αν κάποιο πακέτο δε φτάσει στον προορισμό του.	Ο αποστολέας ενημερώνεται για πιθανή αποτυχία στην εγκατάσταση της σύνδεσης.

Πίνακας 14.1: Σύγκριση των τεχνικών μεταγωγής στα ΔΕΠ



Μεταγωγή κυκλώματος	Μεταγωγή πακέτου με χρήση αυτοδύναμου πακέτου	Μεταγωγή πακέτου με χρήση νοητού κυκλώματος
Ο μεγάλος φόρτος του δικτύου είναι πιθανό να αποτρέψει την εγκατάσταση νέων συνδέσεων, χωρίς όμως να επιβαρύνει τις υπάρχουσες συνδέσεις.	Ο μεγάλος φόρτος του δικτύου αυξάνει την καθυστέρηση όλων των πακέτων που μεταδίδονται.	Ο μεγάλος φόρτος του δικτύου είναι πιθανό να αποτρέψει την εγκατάσταση νέων συνδέσεων, ενώ αυξάνει παράλληλα την καθυστέρηση όλων των πακέτων που μεταδίδονται.
Ο χρήστης είναι υπεύθυνος για την αποτροπή της απώλειας μηνυμάτων.	Το δίκτυο μπορεί να είναι υπεύθυνο για την απώλεια ανεξάρτητων πακέτων.	Το δίκτυο μπορεί να είναι υπεύθυνο για την απώλεια ακολουθιών πακέτων.
Συνήθως δεν προκύπτει μεταβολή στο ρυθμό μετάδοσης ή στον κώδικα που χρησιμοποιείται.	Ο ρυθμός μετάδοσης, καθώς και ο χρησιμοποιούμενος κώδικας μπορούν να αλλάξουν.	Ο ρυθμός μετάδοσης, καθώς και ο χρησιμοποιούμενος κώδικας μπορούν να αλλάξουν.
Το εύρος ζώνης μετάδοσης είναι σταθερό.	Το εύρος ζώνης μετάδοσης καθορίζεται δυναμικά.	Το εύρος ζώνης μετάδοσης καθορίζεται δυναμικά.
Μετά την εγκατάσταση της επικοινωνίας δεν απαιτούνται επιπλέον δυαδικά ψηφία ελέγχου μέσα στην πληροφορία.	Σε κάθε πακέτο υπάρχουν επιπλέον δυαδικά ψηφία ελέγχου.	Σε κάθε πακέτο υπάρχουν επιπλέον δυαδικά ψηφία ελέγχου.



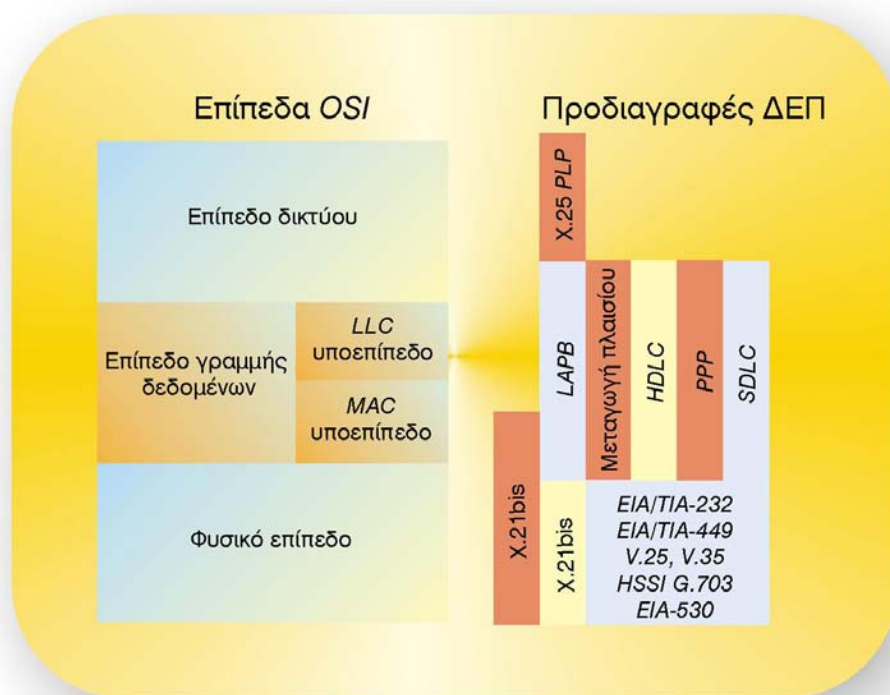
### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Κανάλια επικοινωνίας *E/T*, *SONET*, δορυφορικές συνδέσεις, συνδέσεις *ISDN*, κανάλια βασικού ρυθμού, κανάλια πρωτεύοντος ρυθμού, υβριδικά κανάλια, τοπολογία ομότιμου δικτύου, δυναμική δρομολόγηση, συλλέκτης - δρομολογητής, πλήρως συνεκτική τοπολογία (δικτυωτό), καταστροφικά σφάλματα, μερικώς συνεκτική τοπολογία.

## Μάθημα 14.3: Τυποποιήσεις διεθνών οργανισμών

### 14.3.1 Εισαγωγή

Ένα ΔΕΠ είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας δεδομένων το οποίο καλύπτει γεωγραφικά σχετικά μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιώντας τεχνικές και πρωτόκολλα μετάδοσης που παρέχονται από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς. Τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται αντιστοιχούν στα τρία πρώτα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Στο σχήμα 14.9 φαίνεται η αντιστοιχία ανάμεσα στα πρότυπα των ΔΕΠ και το μοντέλο αναφοράς *OSI*.



Σχήμα 14.9: Αντιστοιχία ανάμεσα στις τεχνικές των ΔΕΠ και το μοντέλο αναφοράς *OSI*

Στη συνέχεια καταγράφονται ορισμένα από τα πλέον δημοφιλή πρότυπα υλοποίησης των ΔΕΠ, τα οποία προδιαγράφουν και τις αντίστοιχες τεχνικές που χρησιμοποιούνται.



### 14.3.2 Πρότυπο X.25

Το πρότυπο **X.25** της *ITU-T* καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να εγκατασταθούν και να συντηρηθούν συνδέσεις ανάμεσα στον εξοπλισμό ενός χρήστη και στις συσκευές ενός ΔΕΠ. Το X.25 έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να λειτουργεί αποτελεσματικά ανεξάρτητα από το είδος των συστημάτων που συνδέονται στο δίκτυο. Χρησιμοποιείται σε δίκτυα τηλεπικοινωνιακών οργανισμών τα οποία στηρίζονται στην τεχνική μεταγωγής πακέτου και οι συνδρομητές χρεώνονται ανάλογα με τη χρήση που κάνουν στο δίκτυο.

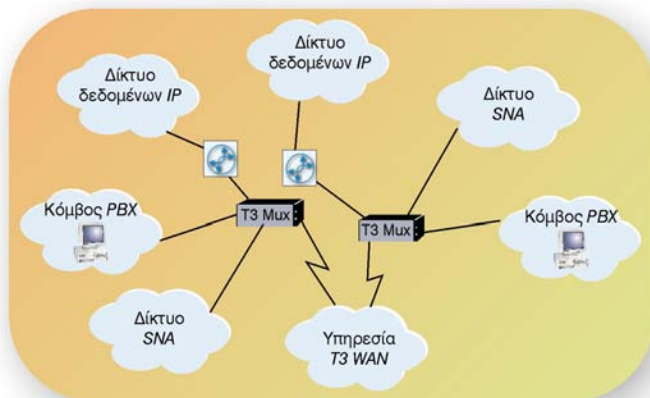
### 14.3.3 Πρότυπο μεταγωγής πλαισίου

Το πρότυπο **μεταγωγής πλαισίου** (*FR: Frame Relay*) είναι ένα υψηλής απόδοσης πρωτόκολλο ΔΕΠ το οποίο στηρίζεται στην τεχνική μεταγωγής πακέτου. Το πρότυπο αυτό λειτουργεί στα δύο πρώτα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Αρχικά σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί στο *ISDN*, στις μέρες μας όμως χρησιμοποιείται σε μια μεγάλη ποικιλία δικτύων. Παρέχει μια διεπαφή ανάμεσα στον εξοπλισμό του χρήστη και στον εξοπλισμό του ΔΕΠ, η οποία αποτελεί και τη βάση για τη μεταξύ τους επικοινωνία. Συνήθως οι ρυθμοί μετάδοσης που παρέχει το πρότυπο μεταγωγής πλαισίου κυμαίνονται από 56 Kbps έως 2 Mbps. Το πρότυπο αυτό θεωρείται αποτελεσματικότερο από το X.25 και πολλοί το θεωρούν ως τον αντικαταστάτη του. Μπορεί να υποστηρίξει νέες τεχνολογίες όσον αφορά τα μέσα μετάδοσης, όπως είναι για παράδειγμα οι οπτικές ίνες, και να αποτρέψει χρονοβόρες διαδικασίες, όπως είναι ο έλεγχος λαθών, που ήταν αναπόφευκτες παλαιότερα, όταν γινόταν χρήση λιγότερο αξιόπιστων μέσων μετάδοσης και πρωτοκόλλων. Η μεταγωγή πλαισίου προτυποποιήθηκε από την *ITU-T*, ενώ στις Η.Π.Α. αποτελεί πρότυπο του *ANSI*.

### 14.3.4 Πρότυπο HSSI

Το πρότυπο **σειραϊκής διεπαφής υψηλού ρυθμού μετάδοσης** (*HSSI: High Speed Serial Interface*) προσεγγίζει ρυθμούς των 52 Mbps στις συνδέσεις των ΔΕΠ. Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί μια διεπαφή ανάμεσα στον εξοπλισμό του χρήστη και στον εξοπλισμό του δικτύου, η οποία αναπτύχθηκε από την εταιρεία Cisco Systems και την T3plus Networking. Αρχικά το πρότυπο *HSSI* (σχήμα 14.10) προτάθηκε στην επιτροπή *ANSI EIA/TIA TR30.2* για θεώρηση, ενώ στη συνέχεια μεταφέρθηκε στον τομέα προτυποποίησης της *ITU-T*.

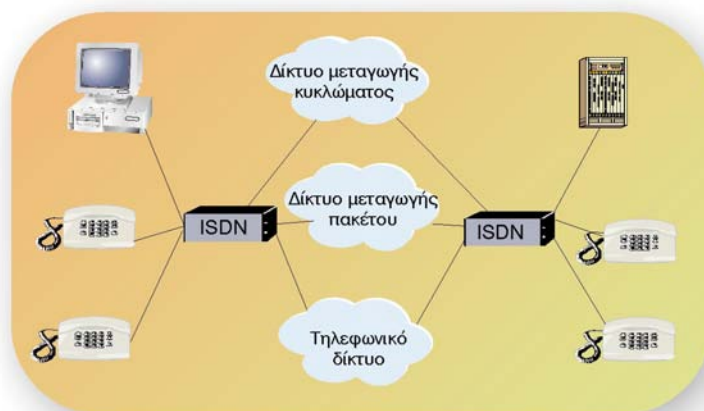




Σχήμα 14.10: Τοπικό πρωτόκολλο HSSI

### 14.3.5 Πρότυπο ISDN

Το πρότυπο **ψηφιακών δικτύων ολοκληρωμένων υπηρεσιών** (*ISDN: Integrated Services Data Network*) (Μάθημα 8.7) αναφέρεται σε ένα σύνολο από πρωτόκολλα επικοινωνιών, τα οποία προτάθηκαν από τις τηλεπικοινωνιακές εταιρείες με σκοπό να μπορέσουν τα τηλεφωνικά δίκτυα να μεταφέρουν στους τελικούς χρήστες όλων των ειδών τις πληροφορίες, όπως είναι τα δεδομένα, η φωνή, το βίντεο, τα γραφικά, η μουσική κτλ. Το *ISDN* δημιουργήθηκε για να προσφέρει τις ιδιαίτερες αυτές υπηρεσίες μέσω του υπάρχοντος τηλεφωνικού δικτύου, ενώ γενικά μπορεί να αντιμετωπιστεί ως μια εναλλακτική λύση έναντι των δικτύων μεταγωγής πλαισίου και των **τηλεφωνικών δικτύων ευρείας περιοχής** (*WATSs: Wide-Area Telephone Services*), τα οποία στηρίζονται σε γραμμές *T1* ή *E1*. Από πρακτική άποψη και στο πλαίσιο των επιχειρήσεων, το *ISDN* αποτελεί μία από τις σύγχρονες μεθόδους δικτύωσης μικρών και απομακρυσμένων γραφείων. Το *ISDN* (σχήμα 14.11) έχει προτυποποιηθεί από την *ITU-T* και αντιστοιχεί στα τρία πρώτα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI*.



Σχήμα 14.11: Το περιβάλλον του προτύπου ISDN



### 14.3.6 Πρότυπο PPP

Το πρότυπο **σημείου προς σημείο** (*PPP: Point-to-Point Protocol*) παρέχει συνδέσεις ανάμεσα σε δρομολογητές, σε εξοπλισμό χρηστών και σε δικτυακό εξοπλισμό που χρησιμοποιεί συγχρονισμένα και ασυγχρόνιστα κυκλώματα. Το *PPP* δημιουργήθηκε στα τέλη του 1980 για να καλύψει την έλλειψη πρωτοκόλλων ενθυλάκωσης στο Διαδίκτυο και για να περιορίσει την ανάπτυξη των σειραϊκών γραμμών πρόσβασης. Δημιουργήθηκε επίσης για να λύσει τα προβλήματα που ανέκυπταν στο Διαδίκτυο με τις απομακρυσμένες συνδέσεις. Το *PPP* ορίζεται μέσω μια σειράς συστάσεων του *ISO*. Στο σχήμα 14.12 παρουσιάζεται ένα περιβάλλον *PPP*.



Σχήμα 14.12: Το περιβάλλον του προτύπου PPP

### 14.3.7 Πρότυπο SMDS

Το πρότυπο **μεταγωγής για υπηρεσίες δεδομένων εκατομμυρίων δυαδικών ψηφίων** (*SMDS: Switched Multimegabit Data Services*) παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και βασίζεται στη μεταγωγή πακέτου με χρήση αυτοδύναμου πακέτου (*datagram*), η οποία χρησιμοποιείται στην επικοινωνία των δημόσιων δικτύων δεδομένων. Το πρότυπο *SMDS* μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα ΔΕΠ για την υποστήριξη πολλών εφαρμογών των δικτύων υψηλών επιδόσεων, όπως είναι για παράδειγμα η κατανεμημένη επεξεργασία δεδομένων. Προτιμάται εξάλλου και για λόγους οικονομίας, αφού υποστηρίζει υψηλών ρυθμών μέσα μετάδοσης, όπως είναι οι οπτικές ίνες. Το πρότυπο *SMDS* μπορεί να χρησιμοποιηθεί με υποδομή οπτικών ινών ή χάλκινων καλωδίων, υποστηρίζοντας ρυθμούς μετάδοσης έως και 44.736 Mbps.



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Πρότυπο X.25, πρότυπο μεταγωγής πλαισίου, πρότυπο σειραϊκής διεπαφής υψηλού ρυθμού μετάδοσης, πρότυπο *ISDN*, πρότυπο *PPP*, πρότυπο *SMDS*.



## Μάθημα 15.1: Πρότυπο X.25

### 15.1.1 Εισαγωγή

Όπως είναι γνωστό, τα πρώτα δίκτυα υπολογιστών παρείχαν περιορισμένες υπηρεσίες και χρησιμοποιούνταν σε συνδέσεις μικρής κλίμακας. Το γεγονός αυτό δεν ήταν μόνο απόρροια της χαμηλής τεχνολογικής προόδου αλλά και του μεγάλου κόστους των υπολογιστών. Δεν υπήρχαν ακόμη τότε οι σημερινοί πανίσχυροι μικροεπεξεργαστές, οι μνήμες ήταν ακριβές, η χωρητικότητά τους μικρή κτλ., έτσι ώστε να είναι πολυδάπανη η ανάπτυξη συστημάτων δικτύων τα οποία να κάνουν αποτελεσματική δρομολόγηση ή μεταγωγή και γενικότερα διαχείριση δικτύου. Επομένως η μόνη εφικτή λύση ήταν η αγορά και η εγκατάσταση μόνιμων κυκλωμάτων για τη διασύνδεση συστημάτων υπολογιστών μεγάλης ισχύος (*mainframes*). Ωστόσο η έλλειψη κάποιων προτύπων έκανε απαγορευτική την επέκταση τέτοιων συστημάτων και τη σύνδεσή τους με άλλα, διαφορετικά συστήματα.

Η απαίτηση για διασύνδεση διαφορετικών –απομακρυσμένων μεταξύ τους– συστημάτων έκανε επιτακτική την ανάγκη χρησιμοποίησης των δημόσιων δικτύων επικοινωνίας και επομένως την αντικατάσταση των χρησιμοποιούμενων έως τότε ιδιωτικών (μισθωμένων) γραμμών επικοινωνίας. Έτσι, προκειμένου να διασυνδεθούν πολλά ετερογενή λειτουργικά συστήματα μέσω ενός δημόσιου δικτύου, έγινε απαραίτητη η ανάπτυξη κάποιων προτύπων τα οποία να καθορίζουν με ακρίβεια τη διεπαφή μεταξύ των συνδρομητών και του δικτύου.

Το X.25 είναι ένα πρότυπο της *ITU-T* που καθορίζει αυστηρά τη διεπαφή μεταξύ της τερματικής διάταξης δεδομένων (*DTE: Data Terminal Equipment*) του συνδρομητή και της τερματικής διάταξης κυκλώματος δεδομένων (*DCE: Data Circuit Terminating Equipment*) του δικτύου μεταγωγής. Το X.25 είναι συμβατό με το μοντέλο αναφοράς *OSI* του *ISO*.

Μια διάταξη *DTE* είναι γενικά μια συσκευή που συνδέεται στο δίκτυο και λειτουργεί ανταλλάσσοντας πακέτα. Κλασικό παράδειγμα *DTE* είναι ένα συγχρονισμένο τερματικό. Για να συνδεθεί ένα ασυγχρόνιστο τερματικό σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων, θα πρέπει να παρεμβληθεί ειδική συσκευή που λέγεται *PAD (Packet Assembler - Disassembler)*, η οποία πρώτα συγκεντρώνει δεδομένα σε πακέτα και μετά τα προωθεί στο δίκτυο. Μια διάταξη *DCE* είναι γενικά ένας κόμβος σε κάποιο δίκτυο μεταγωγής πακέτων, ο οποίος είναι επιφορτισμένος με καθήκοντα προώθησης των εισερχόμενων κλήσεων προς άλλες *DTEs* κτλ. Συνήθως οι *DCEs* είναι οι κόμβοι του δικτύου στους οποίους συνδέονται οι διάφορες *DTEs*.

Το X.25 είναι ακριβώς ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο ορίζει ένα σύνολο προδιαγραφών για τη διεπαφή ανάμεσα στην *DTE* και στην *DCE*. Οι βασικές υπηρεσίες που παρέχει το πρότυπο αυτό είναι οι εξής:



- ✓ Ανταλλαγή κωδικών για την αποκατάσταση μιας σύνδεσης.
- ✓ Αντιστοίχιση λειτουργιών που αφορούν την αποστολή και τη λήψη δεδομένων, τη διαχείριση διαδικασιών ελέγχου σφαλμάτων και επομένως την εξασφάλιση αξιόπιστης μετάδοσης των πληροφοριών.

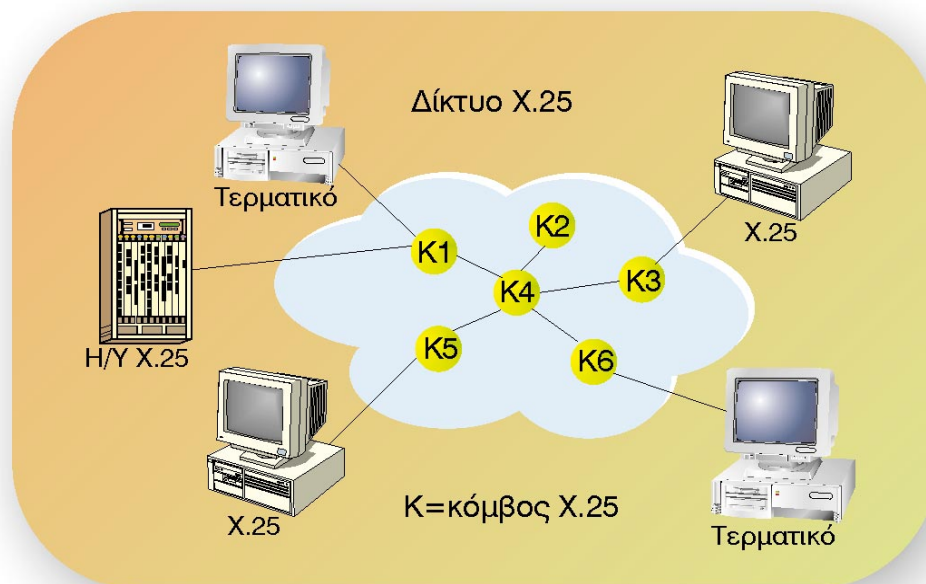
Το X.25 είναι στην πραγματικότητα ένα πρότυπο που καθορίζει τη διεπαφή με το δίκτυο χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρωτόκολλα για καθένα από τα τρία επίπεδα του δικτύου, δηλαδή το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο γραμμής δεδομένων και το επίπεδο δικτύου.

### 15.1.2 Νοητά κυκλώματα

Ένα δίκτυο X.25 αποτελείται από κόμβους μεταγωγής πακέτων οι οποίοι συνδέονται ανά δύο σημείο προς σημείο. Επομένως υπάρχει ένας τουλάχιστον φυσικός δρόμος επικοινωνίας μεταξύ δύο τυχαίων κόμβων του δικτύου (σχήμα 15.1).

Λόγω της οικονομίας που πρέπει να γίνεται στις φυσικές καλωδιώσεις, αλλά κυρίως λόγω του γεγονότος ότι μια φυσική γραμμή χρησιμοποιείται περιοδικά και συνήθως για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα, επιβάλλεται η εκμετάλλευση μιας φυσικής γραμμής σε περισσότερες από μία συνδέσεις. Η τεχνική αυτή, που ονομάζεται πολυπλεξία, παρουσιάστηκε διεξοδικά στο Κεφάλαιο 3.

Όταν δύο DTEs ανταλλάσσουν πακέτα μέσα από ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων,



Σχήμα 15.1: Ένα τοπικό δίκτυο X.25



τότε λέμε ότι μεταξύ τους υφίσταται ένα νοητό κύκλωμα (*virtual circuit*). Σε ένα τέτοιο κύκλωμα δεν υπάρχει άμεση φυσική σύνδεση μεταξύ των δύο *DTEs*, αλλά το δίκτυο τις συνδέει νοητά συσχετίζοντας τις διευθύνσεις αποστολέα και παραλήπτη, οι οποίες είναι καταχωρισμένες στα πακέτα που μεταδίδονται. Υπάρχουν δύο ειδών νοητά κυκλώματα:

- ✓ Τα **μόνιμα νοητά κυκλώματα** ή **PVCs** (*Permanent Virtual Circuits*), στα οποία διατηρείται συνεχώς μια σύνδεση μεταξύ δύο *DTEs*. Τα κυκλώματα αυτά αντιστοιχούν στις μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές.
- ✓ Τα **επιλογικά νοητά κυκλώματα** ή **SVCs** (*Switched Virtual Circuits*), στα οποία η σύνδεση μεταξύ δύο *DTEs* υφίσταται μόνο κατά τη διάρκεια της κλήσης και διακόπτεται μετά το πέρας της μετάδοσης των δεδομένων. Αντιστοιχούν στις επιλογικές κλήσεις του κοινού τηλεφωνικού δικτύου και είναι γνωστά και ως **προσωρινές συνδέσεις**.

Πριν σταλούν τα πακέτα δεδομένων μέσω μιας προσωρινής σύνδεσης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση του αντίστοιχου νοητού κυκλώματος, δεδομένου ότι με τον τερματισμό της αποστολής των πακέτων το κύκλωμα μπορεί να καταργηθεί. Η διαδικασία εγκατάστασης γίνεται με την αποστολή ειδικών πακέτων ελέγχου. Αντίθετα, τέτοια διαδικασία δεν έχει νόημα στα *PVCs*, αφού μπορούν να στέλνονται πακέτα δεδομένων από τη μια άκρη της σύνδεσης στην άλλη οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

### 15.1.3 Η λειτουργία του X.25

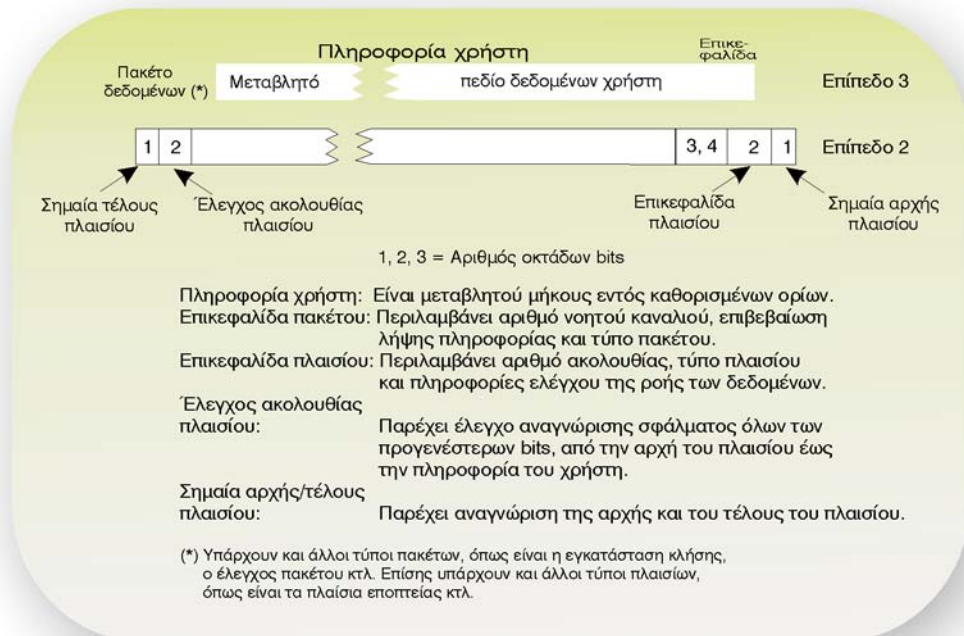
Προκειμένου να γίνει η μετάδοση δεδομένων μέσω του X.25, θα πρέπει αυτά να χωριστούν σε πακέτα, για παράδειγμα των 128 χαρακτήρων το καθένα, εκτός ίσως από το τελευταίο που μπορεί να είναι μικρότερο (σχήμα 15.2).

Το πρότυπο X.25 καθορίζει τη δομή πλαισίου του πακέτου δεδομένων. Κάθε πακέτο δεδομένων, που συνίσταται από την επικεφαλίδα, το πεδίο δεδομένων του χρήστη και το μεταβλητό πεδίο πληροφορίας, ενθυλακώνεται στο **πλαίσιο πληροφορίας** (*information frame*). Το πλαίσιο πληροφορίας περιλαμβάνει τη σημαία αρχής του πλαισίου, την επικεφαλίδα του πλαισίου και το πακέτο δεδομένων με το πεδίο πληροφοριών του χρήστη, το οποίο συνοδεύεται από το πεδίο ελέγχου της ακολουθίας του πλαισίου και από τη σημαία τέλους του πλαισίου. Επομένως το συνολικό πακέτο (πλαίσιο) περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για τον καθορισμό της διαδρομής των πληροφοριών από το ένα σημείο στο άλλο.

Η αποστολή των δεδομένων σε πολλά μικρά πακέτα έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με την αποστολή των δεδομένων σε ένα και μοναδικό μεγάλο πακέτο, τα οποία είναι:

- ✓ Πιο αποτελεσματική δρομολόγηση των πακέτων, αφού ένα πακέτο δεν πρόκειται να μονοπωλεί κάποια *DTE/DCE* σύνδεση για πολύ χρόνο.
- ✓ Εξοικονόμηση χρόνου μετάδοσης, αφού σε περίπτωση λανθασμένης λήψης πακέτου επαναμεταδίδεται μόνο το λανθασμένο πακέτο και όχι όλα τα προηγούμενα.





Σχήμα 15.2: Η δομή του προτύπου X.25

- ✓ Ασφάλεια δεδομένων, αφού, αν κάποιος υποκλέψει δεδομένα από το δίκτυο, θα πρέπει να πάρει και όλα τα επόμενα πακέτα της πληροφορίας που υπέκλεψε και μάλιστα να μπορέσει να τα τοποθετήσει στη σωστή σειρά.
- ✓ Μεγαλύτερη αξιοπιστία, αφού η ανταλλαγή πακέτων κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης επιβεβαιώνει τη σωστή μέχρι εκείνη τη στιγμή επικοινωνία.

Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων το πρότυπο X.25 καθορίζει τον τρόπο και τις διαδικασίες επικοινωνίας μεταξύ της *DTE* και της *DCE*. Η επικοινωνία αυτή υλοποιείται σε τρία επίπεδα:

- ✓ **Επίπεδο 1 ή φυσικό επίπεδο.** Καθορίζει τα μηχανικά, ηλεκτρικά, λειτουργικά και διαδικαστικά χαρακτηριστικά για την ενεργοποίηση της φυσικής σύνδεσης μιας *DTE* με μια *DCE*, ώστε να γίνει η μεταφορά των δυαδικών ψηφίων της πληροφορίας.
- ✓ **Επίπεδο 2 ή επίπεδο γραμμής δεδομένων.** Στο επίπεδο αυτό τα δυαδικά ψηφία της πληροφορίας ομαδοποιούνται σε πλαίσια. Καθορίζονται επίσης οι διαδικασίες ανταλλαγής των πλαισίων και αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης.



- ✓ **Επίπεδο 3 ή επίπεδο δικτύου.** Τα δεδομένα των συνδρομητών, καθώς και οι πληροφορίες ελέγχου, αφού πάρουν τη μορφή πακέτων, μεταφέρονται από και προς το δίκτυο.

Καθένα από τα τρία επίπεδα παρέχει τις υπηρεσίες του προς το αμέσως υψηλότερο από αυτό επίπεδο και επικοινωνεί με το αντίστοιχο επίπεδο της άλλης πλευράς της σύνδεσης *DTE/DCE*. Μ' αυτό τον τρόπο το *X.25* συμφωνεί πλήρως με τη φιλοσοφία του προτύπου *OSI*. Κάθε πακέτο δεδομένων έχει συγκεκριμένο μέγεθος και, εκτός από τα δεδομένα της πληροφορίας, περιέχει στοιχεία δρομολόγησης και ελέγχου.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρότυπο *X.25*, μόνιμο νοητό κύκλωμα, επιλογικό (προσωρινό) νοητό κύκλωμα, πλαίσιο πληροφορίας.





## Μάθημα 15.2: Πρότυπο μεταγωγής πλαισίου

### 15.2.1 Εισαγωγή

Το πρότυπο **μεταγωγής πλαισίου** (*FR: Frame Relay*) αφορά τα ΔΕΠ υψηλής απόδοσης και λειτουργεί στα δύο πρώτα επίπεδα (φυσικό επίπεδο και επίπεδο γραμμής δεδομένων) του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Το πρότυπο *FR* βασίζεται στην τεχνική της μεταγωγής μονάδων δεδομένων μεταβλητού μήκους, οι οποίες λέγονται **πλαίσια**. Η τεχνική αυτή έγινε γνωστή το 1988, στο πλαίσιο της ανάπτυξης των δικτύων *ISDN*, ως μια νέα μορφή υπηρεσίας φορέα (*bearer service*) για μεταγωγή πακέτων. Από το 1988 έως σήμερα έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην τεχνική αυτή και έχουν γίνει πολύ σημαντικές προσπάθειες τυποποίησής της τόσο από την *ITU-T* και το *ANSI* όσο και από ιδιωτικές εταιρείες.

Οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται από το πρότυπο *FR* είναι πολλαπλάσιοι των 64 Kbps ( $k \times 64$  Kbps, με  $k = 1, 2, \dots, 32$ ) και επομένως φθάνουν τα 2,048 Mbps. Ορισμένοι κατασκευαστές κάνουν προσπάθεια να επεκτείνουν τις ταχύτητες στα 45 Mbps, ενώ σε εργαστήρια έχουν επιτευχθεί ρυθμοί της τάξης των 100 Mbps. Ουσιαστικά το *FR* είναι ένα ακόμη στάδιο εξέλιξης του προτύπου *X.25* και παρέχει υπηρεσίες οι οποίες στοχεύουν στη βελτίωση της επικοινωνιακής απόδοσης (μείωση των καθυστερήσεων), στη δυνατότητα καλύτερης χρήσης του εύρους ζώνης, καθώς και στη μείωση του κόστους των επικοινωνιακών διατάξεων. Το πρότυπο μεταγωγής πλαισίου μπορεί να υλοποιηθεί σε ιδιωτικά ή σε δημόσια δίκτυα.

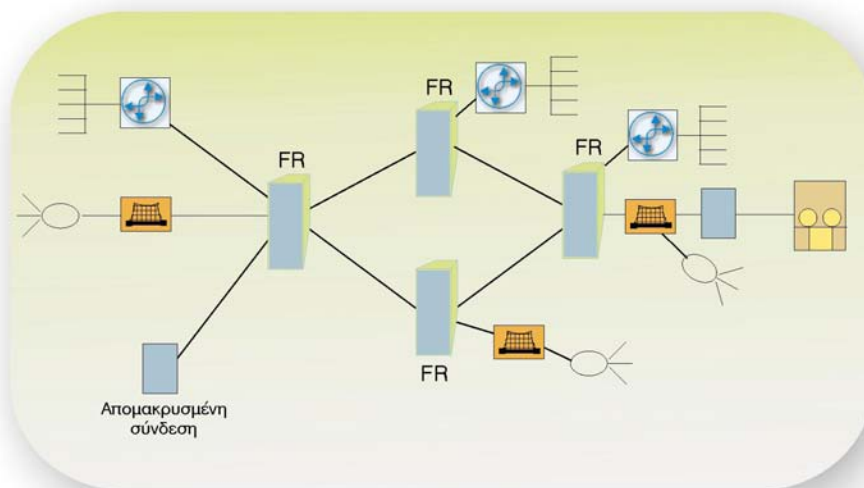


Το πρότυπο μεταγωγής πλαισίου αποτελεί εξέλιξη του προτύπου *X.25*.

### 15.2.2 Συσσκευές μεταγωγής πλαισίου

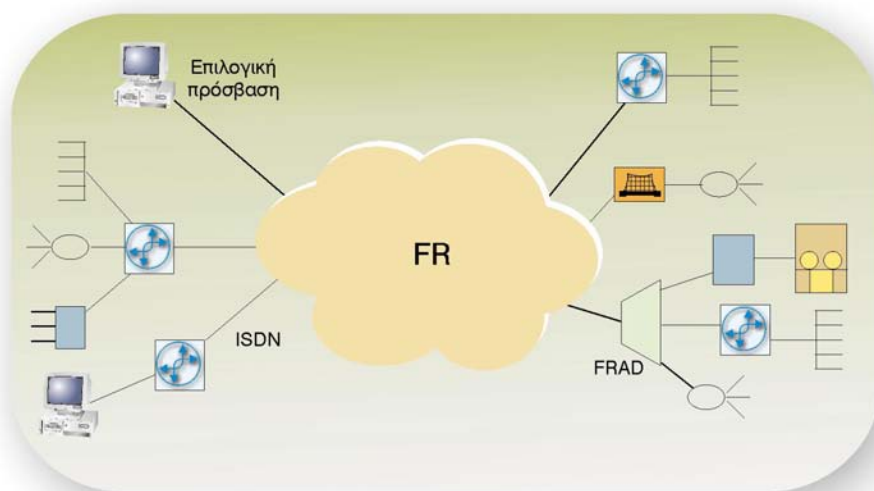
Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο *FR* διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες, αντίστοιχες με αυτές του *X.25*, δηλαδή στην τερματική διάταξη δεδομένων (*DTE*) και στην τερματική διάταξη κυκλώματος δεδομένων (*DCE*). Η *DTE* μπορεί να θεωρηθεί ως η τερματική διάταξη του χρήστη, όπως είναι για παράδειγμα ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, ενώ η *DCE*, που συνήθως αναφέρεται και ως διαποδιαμορφωτής (*modem*), αποτελεί δικτυακό εξοπλισμό των τηλεπικοινωνιακών κυρίως οργανισμών. Σκοπός της *DCE* είναι να παρέχει υπηρεσίες μεταγωγής στο δίκτυο και να μεταφέρει δεδομένα μέσω του δικτύου.

Στο σχήμα 15.3α απεικονίζεται ένα ιδιωτικό δίκτυο που συνδέει τέσσερα τοπικά δίκτυα δημιουργώντας –μέσω των απαιτούμενων συσκευών μεταγωγής– έναν κορμό δικτύου *FR*. Ειδικού τύπου **συσσκευές πρόσβασης μεταγωγής πλαισίου** (*FRAD: Frame Relay Access Device*) μπορούν να διαχειριστούν πολλά πρωτόκολλα και αρκετές δικτυακές συσκευές (δρομολογητές, γέφυρες κτλ.), συνδέοντας με αυτό τον τρόπο



Σχήμα 15.3α: Ιδιωτικό δίκτυο μεταγωγής πλαισίου

διαφορετικά τοπικά δίκτυα όπως το *Ethernet* και ο δακτύλιος με κουπόνι διέλευσης. Άλλες συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για τη σύνδεση σε ένα δημόσιο δίκτυο *FR* (σχήμα 15.3β).



Σχήμα 15.3β: Δημόσιο δίκτυο μεταγωγής πλαισίου

### 15.2.3 Νοητά κυκλώματα μεταγωγής πλαισίου

Το πρότυπο *FR* παρέχει επικοινωνία προσανατολισμένη στη σύνδεση στο επίπεδο γραμμής δεδομένων. Αυτή η επικοινωνία επιτυγχάνεται με τη χρήση **νοητών κυκλωμάτων μεταγωγής πλαισίου**, τα οποία υλοποιούνται από μια νοητή σύνδεση ανάμεσα σε δύο *DTE* μέσα σε ένα δίκτυο *FR*.



Τα νοητά κυκλώματα παρέχουν επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης ανάμεσα σε συσκευές *DTE* και χαρακτηρίζονται από μια **ταυτότητα σύνδεσης γραμμής δεδομένων** (*DLCI: Data Link Connection Identifier*). Ένας αριθμός από νοητά κυκλώματα έχει τη δυνατότητα, μέσω των τεχνικών της πολυπλεξίας, να συνδυαστεί με ένα φυσικό κύκλωμα για τη μετάδοση στο δίκτυο. Αυτή η δυνατότητα μειώνει συνήθως τον εξοπλισμό και την πολυπλοκότητα του δικτύου, η οποία αποτελεί συνέπεια της σύνδεσης σ' αυτό πολλών συσκευών *DTE*.

Σε ένα δίκτυο *FR* ένα νοητό κύκλωμα μπορεί να περνά μέσα από ενδιάμεσους κόμβους. Τα νοητά κυκλώματα του δικτύου *FR* μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, στα μόνιμα νοητά κυκλώματα και στα επιλογικά νοητά κυκλώματα.

### 15.2.4 Δομή πλαισίου μεταγωγής

Στο σχήμα 15.4 απεικονίζεται η δομή ενός πλαισίου μεταγωγής.

Μήκος πεδίου σε χαρακτήρες

Σημαία	Διεύθυνση	Δεδομένα	Έλεγχος ακολουθίας πλαισίου (FCS)	Σημαία
--------	-----------	----------	-----------------------------------	--------

Σχήμα 15.4: Δομή πλαισίου μεταγωγής

Όπως μπορεί να διακρίνει κανείς, ένα πλαίσιο μεταγωγής αποτελείται από τα παρακάτω πεδία:

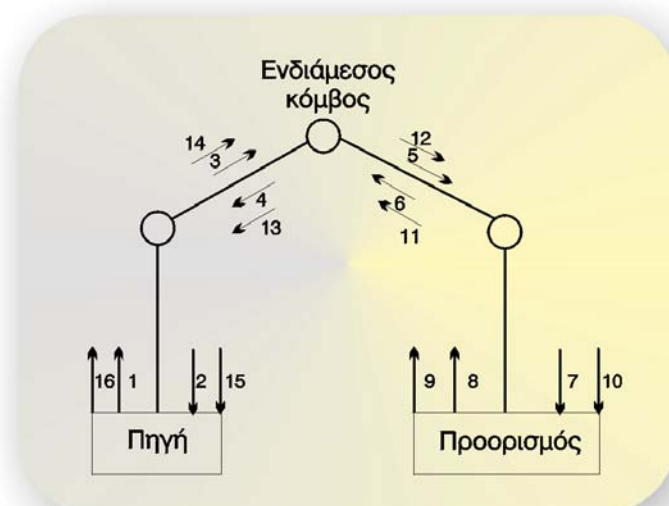
- ✓ Το πεδίο **σημαία** (*flag*), το οποίο χρησιμοποιείται για την οριοθέτηση της αρχής και του τέλους ενός πλαισίου. Η τιμή του πεδίου αυτού είναι πάντα η ίδια και αντιστοιχεί στο δεκαεξαδικό αριθμό 7E ή στο δυαδικό αριθμό 01111110.
- ✓ Το πεδίο **διεύθυνση** (*address*), στο οποίο περιλαμβάνονται πληροφορίες για το νοητό κύκλωμα που συνδέει την *DTE* και τον εξοπλισμό του δικτύου. Η δομή αυτού του πεδίου είναι αρκετά πολύπλοκη, η ανάλυσή της όμως ξεπερνά τους σκοπούς αυτού του βιβλίου.
- ✓ Το πεδίο **δεδομένα** (*data*), το οποίο εξυπηρετεί τη μεταφορά των πακέτων. Κάθε πλαίσιο σ' αυτό το πεδίο είναι μεταβλητού μεγέθους, με μήκος που δεν μπορεί να υπερβαίνει τους 16.000 χαρακτήρες, και περιλαμβάνει δεδομένα χρήστη.
- ✓ Το πεδίο **έλεγχος ακολουθίας πλαισίου** (*FCS: Frame Check Sequence*), το οποίο χρησιμοποιείται στον έλεγχο λαθών κατά τη μετάδοση των δεδομένων. Η τιμή του πεδίου αυτού υπολογίζεται από τη συσκευή μετάδοσης και επιβεβαιώνεται από τον παραλήπτη προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακεραιότητα των δεδομένων.



### 15.2.5 Σύγκριση των προτύπων X.25 και FR

Η τεχνική της μεταγωγής πλαισίου παρουσιάστηκε ως μια βελτιωμένη πρόταση της κλασικής τεχνικής μεταγωγής πακέτου, η οποία περιγράφεται από το πρότυπο X.25. Προέκυψε από την απαίτηση που υπήρχε να καλυφθούν οι αυξημένες ανάγκες δικτύωσης και διασύνδεσης των τοπικών δικτύων χωρίς καθυστερήσεις και με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοπιστία στη μετάδοση, δηλαδή με την εξασφάλιση καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών.

Ένα από τα χαρακτηριστικά του προτύπου X.25 είναι η δημιουργία μεγάλων επιβαρύνσεων στην απόδοση του δικτύου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 15.5.



Σχήμα 15.5: Επιβαρύνσεις στο πρότυπο X.25

Το σχήμα αυτό, το οποίο απεικονίζει το επίπεδο γραμμής δεδομένων, δείχνει τη ροή των πλαισίων που απαιτούνται για τη μετάδοση ενός πακέτου δεδομένων από την πηγή στον προορισμό του, καθώς και την επιστροφή ενός πλαισίου αναγνώρισης. Σύμφωνα με το επίπεδο γραμμής δεδομένων, κάθε βήμα (*hop*) μέσα στο δίκτυο απαιτεί την ανταλλαγή ενός πλαισίου δεδομένων και ενός πλαισίου αναγνώρισης. Επιπλέον σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο πρέπει να διατηρούνται πίνακες κατάστασης για κάθε νοητό κύκλωμα, ώστε να διευκολύνονται οι έλεγχοι ροής της κυκλοφορίας και των λαθών, σύμφωνα με το πρότυπο X.25.

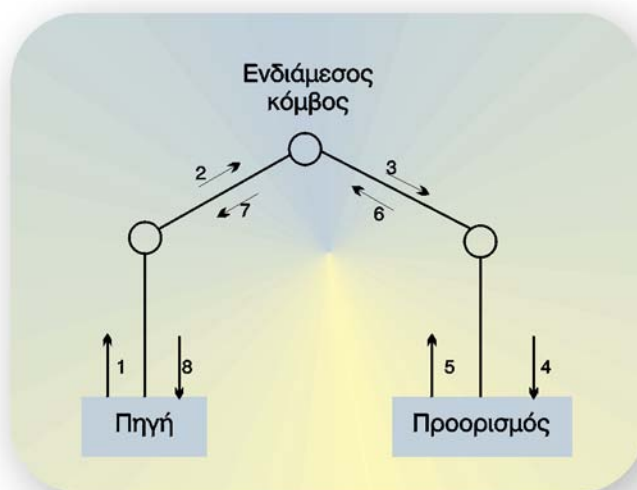
Σε όλα τα προβλήματα που παρουσίαζε η κλασική τεχνική της μεταγωγής πακέτου ήρθε να δώσει λύση η τεχνική της μεταγωγής πλαισίου. Βασικό χαρακτηριστικό της είναι ο συνδυασμός της φιλοσοφίας της μεταγωγής με την ουσιαστική μείωση των επιβαρύνσεων που παρατηρούνται στο πρότυπο X.25. Οι κύριες διαφορές των δύο τεχνικών είναι οι εξής:

- ✓ Στο πρότυπο FR η σηματοδότηση ελέγχου μεταφέρεται από ξεχωριστό νοητό



κανάλι που δεν εμπλέκεται με το κανάλι μετάδοσης δεδομένων. Αποτέλεσμα αυτού του διαχωρισμού είναι ότι δεν είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούν οι ενδιάμεσοι κόμβοι, για κάθε ανεξάρτητη σύνδεση, τις διαδικασίες ελέγχου κλήσεων, όπως είναι οι πίνακες κατάστασης καναλιού και τα μηνύματα προόδου.

- ✓ Στο *FR* η πολυπλεξία και η μεταγωγή πακέτων γίνονται στο επίπεδο 2 (γραμμής δεδομένων) και όχι στο επίπεδο 3 (δικτύου), όπως γίνεται στο πρότυπο X.25, με αποτέλεσμα την κατάργηση ενός ολόκληρου επιπέδου επεξεργασίας.
- ✓ Στο *FR* που η μετάδοση γίνεται από κόμβο σε κόμβο — λέγεται και βήμα προς βήμα (*hop-by-hop*) μετάδοση — δεν απαιτούνται έλεγχοι ροής και λαθών σε κάθε κόμβο. Αν χρειαστούν τέτοιοι έλεγχοι, τότε αυτό είναι υποχρέωση κάποιου άλλου υψηλότερου επιπέδου.



Σχήμα 15.6: Η λειτουργία της μεταγωγής πλαισίου

Η λειτουργία της μεταγωγής πλαισίου φαίνεται στο σχήμα 15.6. Η πηγή στέλνει στον προορισμό ένα μόνο πλαίσιο δεδομένων και λαμβάνει ένα πλαίσιο αναγνώρισης, που δημιουργείται σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Επομένως στη μεταγωγή πλαισίου δεν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει ο έλεγχος της ροής στο επίπεδο 2, όπως στο πρότυπο X.25, μπορεί όμως να γίνει σε κάποιο άλλο υψηλότερο επίπεδο. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, στη μεταγωγή πλαισίου δεν μπορεί να διενεργηθεί ο έλεγχος των λαθών σε κάθε βήμα (*hop*), αντίθετα από ό,τι συμβαίνει στο πρότυπο X.25. Σήμερα τα μειονεκτήματα αυτά της μεταγωγής πλαισίου δε θεωρούνται τόσο σημαντικά, αφού αντισταθμίζονται από τις συνεχώς βελτιούμενες γραμμές μετάδοσης και τεχνικές μεταγωγής.

Η τεχνική της μεταγωγής πλαισίου έχει ορισμένα πολύ αξιόλογα πλεονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, μειώνει σημαντικά τις επιβαρύνσεις που παρατηρούνται στο πρότυπο X.25, υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 2 Mbps, παρέχει εύρος ζώνης κατόπιν αιτήματος (*on demand*), καθώς και πολλές συνόδους δεδομένων επάνω στην ίδια



γραμμή πρόσβασης. Όπως είναι ήδη φανερό, η μεταγωγή πλαισίου αντικαθιστά το πρότυπο X.25.

Τα πλεονεκτήματα του προτύπου μεταγωγής πλαισίου σε σχέση με το πρότυπο X.25 και τα μισθωμένα κυκλώματα σημειώνονται στον πίνακα 15.1 που ακολουθεί.

Παροχές	Μισθωμένα κυκλώματα	X.25	FR
Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης	Ναι	Όχι	Ναι
Διάθεση εύρους ζώνης κατόπιν αιτήματος	Όχι	Ναι	Ναι
Συνδέσεις πολλών σημείων	Ναι	Ναι	Ναι
Ευελιξία στη δικτυακή υλοποίηση	Όχι	Ναι	Ναι
Ευελιξία στο κόστος υλοποίησης	Όχι	Ναι	Ναι

Πίνακας 15.1: Σύγκριση προτύπων μεταγωγής πλαισίου, X.25 και μισθωμένων κυκλωμάτων

Συνοψίζοντας, τα θετικά στοιχεία του προτύπου μεταγωγής πλαισίου, τα οποία το διακρίνουν από το πρότυπο X.25, είναι:

- ✓ Δυνατότητα διαμοιρασμού θύρας και γραμμής χρησιμοποιώντας την τεχνική της πολυπλεξίας πλαισίων.
- ✓ Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης.
- ✓ Υψηλή απόδοση.
- ✓ Μικρές καθυστερήσεις.
- ✓ Διάθεση εύρους ζώνης κατόπιν αιτήματος.
- ✓ Συνδέσεις με πολλά σημεία.
- ✓ Ευελιξία στο κόστος υλοποίησης.
- ✓ Ευκολία μετατροπής των υπάρχοντων δικτύων σε δίκτυα μεταγωγής πλαισίου.
- ✓ Εύκολη επέκταση του δικτύου.
- ✓ Εύκολη διαχείριση του δικτύου.
- ✓ Συμβατότητα με πολλά πρότυπα.
- ✓ Ιδιαίτερα καλή απόδοση σε μια σειρά εφαρμογών.
- ✓ Ιδιαίτερα καλή απόδοση σε συνδυασμό με τα δίκτυα ISDN.

### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Μεταγωγή πλαισίου, συσκευές πρόσβασης μεταγωγής πλαισίου (FRAD), νοητά κυκλώματα μεταγωγής πλαισίου, ταυτότητα σύνδεσης γραμμής δεδομένων, πεδίο σημαία, πεδίο διεύθυνση, πεδίο δεδομένα, πεδίο έλεγχος ακολουθίας πλαισίου.





## Μάθημα 15.3: Πρότυπο TCP/IP

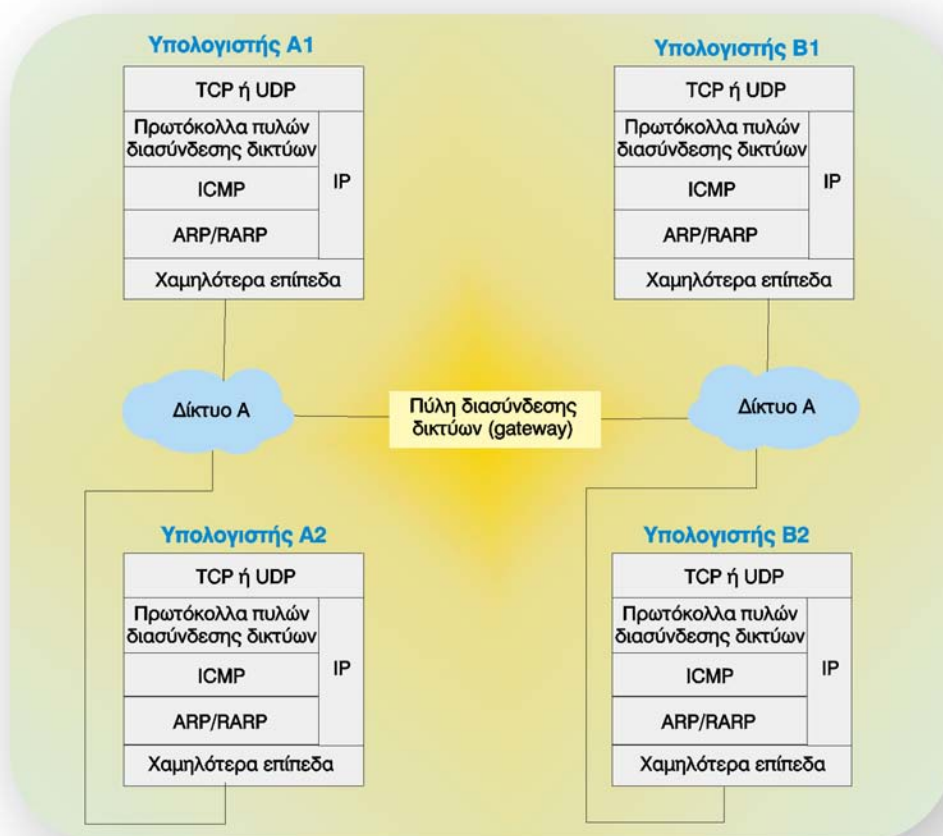
### 15.3.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναφερθεί στο Μάθημα 5.6, οι κόμβοι που συνδέονται στο Διαδίκτυο χρησιμοποιούν για την επικοινωνία τους το πρωτόκολλο *TCP/IP*. Το πρωτόκολλο αυτό οργανώνεται σε τέσσερα επίπεδα: το επίπεδο γραμμής δεδομένων (*data link layer*), το επίπεδο Διαδικτύου (*Internet layer*), το επίπεδο μεταφοράς (*transport layer*) και το επίπεδο εφαρμογής (*application layer*). Η οικογένεια των πρωτοκόλλων *TCP/IP*, καθώς και η λειτουργία καθενός από αυτά έχουν ως ακολούθως:

- ✓ *TCP: Transmission Control Protocol*  
Είναι πρωτόκολλο προσανατολισμένο στη σύνδεση (*connection-oriented*), το οποίο προσφέρει μια αξιόπιστη, διπλής κατεύθυνσης σύνδεση προκειμένου να υλοποιηθεί μια διεργασία του χρήστη.
- ✓ *UDP: User Datagram Protocol*  
Είναι πρωτόκολλο μη προσανατολισμένο στη σύνδεση (*connectionless*), το οποίο, σε αντίθεση με το *TCP*, δεν παρέχει εγγύηση ότι οι μονάδες πληροφορίας (*datagrams*) που διακινούνται θα φτάσουν κάποτε στον προορισμό τους.
- ✓ *ICMP: Internet Control Message Protocol*  
Είναι το πρωτόκολλο που χειρίζεται τα λάθη και ελέγχει τη διακίνηση των πληροφοριών μεταξύ των πυλών διασύνδεσης δικτύου (*gateways*) και των κόμβων.
- ✓ *IP: Internet Protocol*  
Το πρωτόκολλο αυτό παρέχει υπηρεσίες διακίνησης των πακέτων που δημιουργούνται από τα πρωτόκολλα *TCP* και *UDP*. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 15.7, δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ των διεργασιών του χρήστη και του πρωτοκόλλου *IP*.
- ✓ *ARP: Address Resolution Protocol*  
Το πρωτόκολλο αυτό κάνει αντιστοίχιση μιας διεύθυνσης Διαδικτύου με μια διεύθυνση υλικού. Η διεύθυνση του Διαδικτύου εξαρτάται από τον τύπο του δικτύου στο οποίο συνδέεται ο υπολογιστής.
- ✓ *RARP: Reverse Address Resolution Protocol*  
Στο πρωτόκολλο *RARP* γίνεται το αντίστροφο σε σχέση με το πρωτόκολλο *ARP*, δηλαδή αντιστοίχιση μιας διεύθυνσης υλικού με μια διεύθυνση Διαδικτύου.

Στο σχήμα 15.7 απεικονίζονται τα κύρια στοιχεία της οικογένειας των πρωτοκόλλων *TCP/IP*.

Αν και το πρωτόκολλο *TCP/IP* έχει περιγραφεί διεξοδικά στο Μάθημα 5.6, θα γίνει στη συνέχεια αναφορά σε ορισμένα συμπληρωματικά στοιχεία, τα οποία θα διευκολύνουν την κατανόηση της διασύνδεσης των δικτύων στο Διαδίκτυο.



Σχήμα 15.7: Τα κύρια στοιχεία των πρωτοκόλλων TCP/IP

### 15.3.2 Διευθυνσιοδότηση

Ένα σημαντικό στοιχείο του *TCP/IP* είναι η **διευθυνσιοδότηση**, δηλαδή ο τρόπος αντιστοίχισης μιας διεύθυνσης με έναν υπολογιστή που συνδέεται σε κάποιο δίκτυο. Οι *διευθύνσεις TCP/IP* διατίθενται από έναν κεντρικό οργανισμό, το **Κέντρο Πληροφοριών Δικτύου** (ΚΠΔ) (*NIC: Network Information Center*). Κάθε διεύθυνση *IP* περιλαμβάνει:

- ✓ Την **ταυτότητα δικτύου** (*network identifier*), η οποία αναφέρεται σε ένα ιδιαίτερο φυσικό δίκτυο που συνδέεται στο Διαδίκτυο.
- ✓ Την **ταυτότητα κόμβου** (*host identifier*), η οποία αναφέρεται σε μια ιδιαίτερη συσκευή που συνδέεται σ' αυτό το φυσικό δίκτυο.

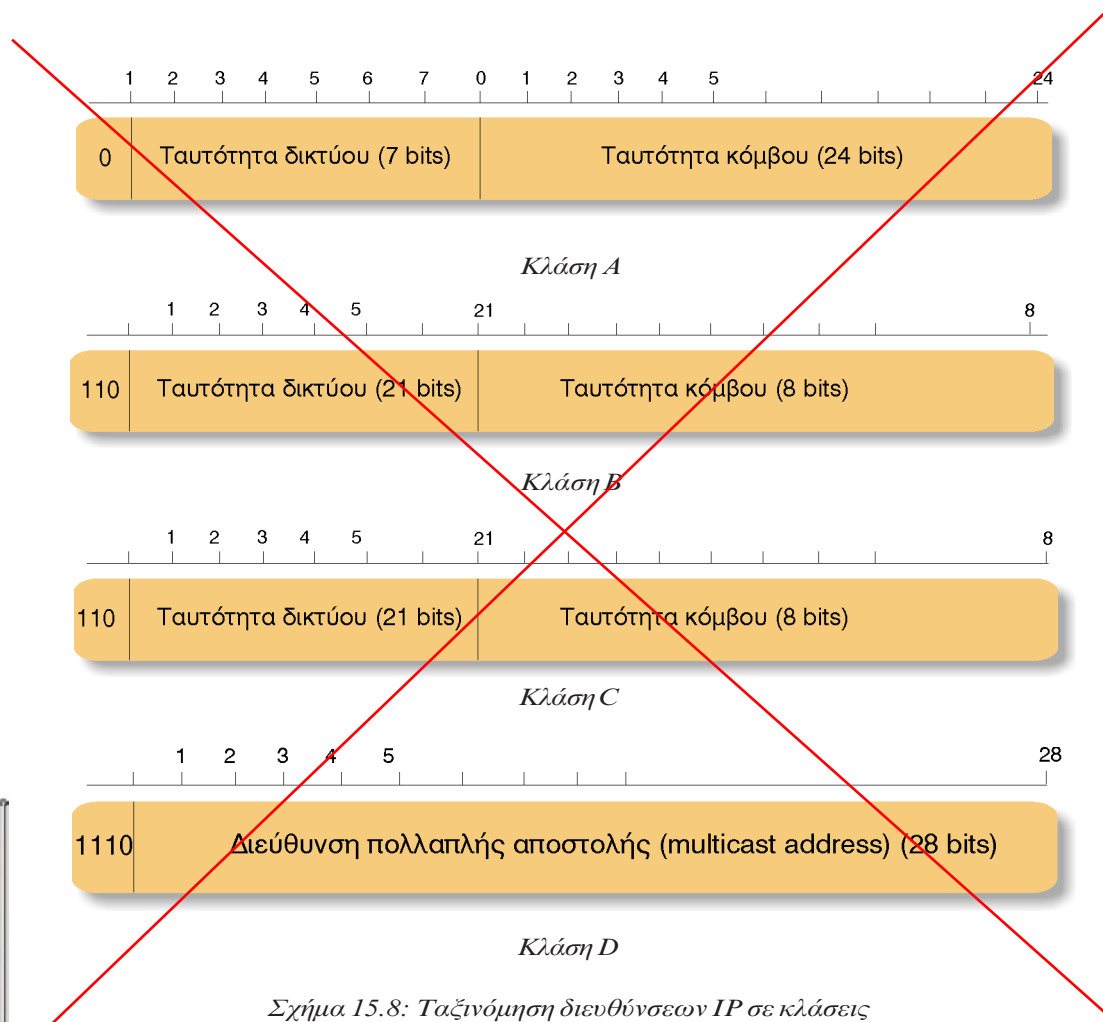
Επομένως μια *διεύθυνση IP* προσδιορίζει το τμήμα του Διαδικτύου στο οποίο θα συνδεθεί μια συσκευή δικτύου. Σημειώνεται ότι μια συσκευή δικτύου που έχει τη δυ-





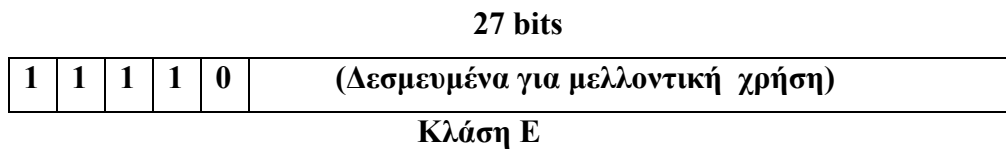
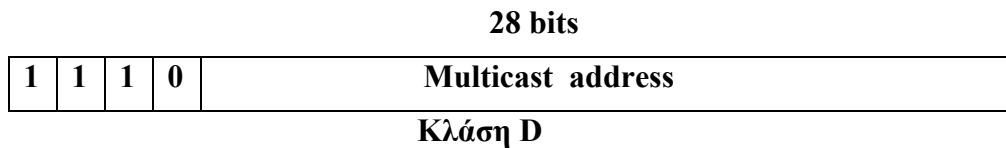
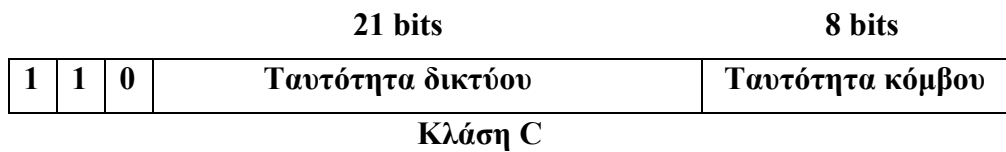
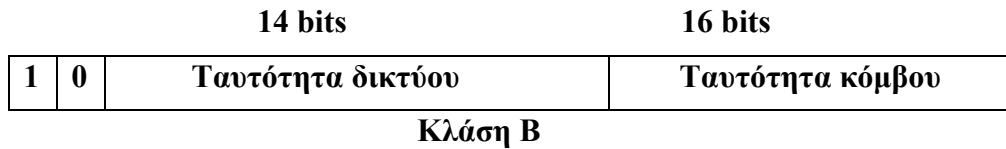
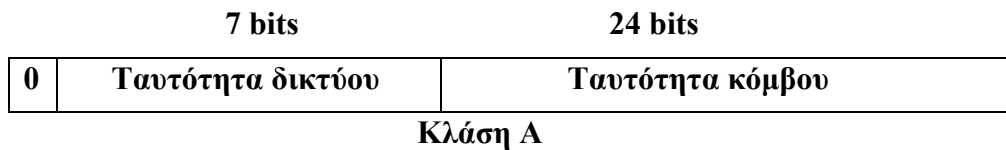
νατότητα να συνδεθεί ταυτόχρονα σε διαφορετικά δίκτυα έχει και πολλές διευθύνσεις *IP*, δηλαδή διαθέτει μια αποκλειστική διεύθυνση *IP* για κάθε σύνδεση. Όπως γίνεται αντιληπτό, μια διεύθυνση *IP* είναι ένα τεχνητό δημιούργημα και δεν έχει καμία σχέση με το υλικό ή τα μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο.

Όπως είναι γνωστό από το Μάθημα 5.6, μια διεύθυνση *IP* έχει 32 δυαδικά ψηφία, τα οποία διακρίνονται σ' αυτά που αφορούν την ταυτότητα του δικτύου και σ' αυτά που αφορούν την ταυτότητα του κόμβου. Αυτό γίνεται ταξινομώντας τις διευθύνσεις *IP* σε τέσσερις κλάσεις των 8 δυαδικών ψηφίων η καθεμία (σχήμα 15.8). Φυσικά η επιλογή μιας διεύθυνσης με πεδία καθορισμένου μήκους παρέχει, σε χαμηλό επίπεδο, μια αποτελεσματική κωδικοποίηση.



Υπάρχουν, το πολύ, 128 δίκτυα κλάσης A, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει έως και  $2^{24}-2$  κόμβους, 16.384 δίκτυα κλάσης B, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει έως 65.534 κόμβους, και  $2^{21}$  δίκτυα κλάσης C, καθένα από τα οποία περιλαμβάνει έως και 254 κόμβους.

Επειδή τα 32 δυαδικά ψηφία εμφανίζονται σε πολλά πακέτα, είναι σημαντικό η διεύθυνση σε χαρακτήρες των 8 δυαδικών ψηφίων να είναι συνεπής στις διάφορες υλοποιήσεις εφαρμογών.



Κλάση	Εύρος διευθύνσεων
A	0.0.0.0 ως 127.255.255.255
B	128.0.0.0 ως 191.255.255.255
C	192.0.0.0 ως 223.255.255.255
D	224.0.0.0 ως 239.255.255.255
E	240.0.0.0 ως 247.255.255.255

*Σχήμα 15.8: Ταξινόμηση διευθύνσεων IP σε κλάσεις*



Μια διεύθυνση *IP* μπορεί να γραφτεί σαν μια σειρά από δεκαδικούς αριθμούς. Κάθε οκτάδα από δυαδικά ψηφία θεωρείται ως ένας δεκαδικός αριθμός, ενώ οι δεκαδικοί αριθμοί που αντιστοιχούν σε κάθε οκτάδα δυαδικών ψηφίων χωρίζονται με τελείες, όπως για παράδειγμα η διεύθυνση **192.103.140.1**. Τέλος, μια διεύθυνση *IP* μπορεί να αποδοθεί και με λέξεις χωρισμένες με τελείες, όπως για παράδειγμα η διεύθυνση **typhon.odl.pmac.gr**. Ο μηχανισμός που μετατρέπει τους αριθμούς σε λέξεις με τις οποίες αναπαριστούνται οι διευθύνσεις καθορίζεται από ένα **σύστημα ονομασίας περιοχών** (*DNS: Domain Name System*), που λειτουργεί όπως μια υπηρεσία καταλόγου. Αυτό το σύστημα αποτελείται από διαφορετικούς σταθμούς εξυπηρέτησης οι οποίοι βρίσκονται διασκορπισμένοι σε διάφορα σημεία του δικτύου.

### 15.3.3 Λειτουργία του TCP

Μετά το πρωτόκολλο Διαδικτύου (*IP*) το *TCP* είναι το δεύτερο σημαντικό μέλος αυτής της οικογένειας πρωτοκόλλων. Το *TCP* σχεδιάστηκε με βασικό στόχο την παροχή αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων που βρίσκονται σε διαφορετικά αλλά διασυνδεδεμένα δίκτυα επικοινωνίας. Παρέχει αξιόπιστες, προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες μετάδοσης σε ένα ενδεχομένως μη αξιόπιστο κανάλι μετάδοσης. Είναι συμβατό με ιεραρχημένες αρχιτεκτονικές πρωτοκόλλων όπως αυτή του μοντέλου αναφοράς *OSI* και τοποθετείται ακριβώς επάνω από το *IP*, το οποίο έχει τη δυνατότητα να στείλει ή και να λάβει μεταβλητού μεγέθους μονάδες δεδομένων (*PDUs*), ενσωματωμένες στις μονάδες δεδομένων Διαδικτύου (*Internet datagrams*).

Γενικά, το *TCP* στηρίζεται σε υποθέσεις οι οποίες αποδυναμώνουν την αξιοπιστία των πρωτοκόλλων επικοινωνίας που βρίσκονται ιεραρχικά κάτω από αυτό. Επομένως το μόνο που μπορεί ρεαλιστικά να υποστηρίξει είναι μια –πιθανόν αναξιόπιστη– υπηρεσία μετάδοσης μονάδων δεδομένων (*datagram service*), η οποία παρέχεται από πρωτόκολλα χαμηλότερου επιπέδου και η οποία μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά σε ένα ευρύ φάσμα συστημάτων επικοινωνίας.

Το μεγάλο πλεονέκτημα του *TCP* είναι η ποικιλία των συστημάτων μετάδοσης που υποστηρίζει. Οι βασικοί στόχοι που επιτεύχθηκαν κατά την υλοποίησή του αφορούν τη δυνατότητα διασύνδεσης ετερογενών δικτύων υπολογιστών (*internetworking*), καθώς και τη δυνατότητα σχεδιασμού διεργασιών επικοινωνίας που υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Το *TCP* καθορίζει τους τρόπους με τους οποίους:

- ✓ Διαχωρίζονται πολλοί παραλήπτες σε ένα δοσμένο υπολογιστή.
- ✓ Οι κόμβοι που επικοινωνούν μπορούν να επανέλθουν σε σωστή λειτουργία μετά από σφάλματα, όπως είναι η απώλεια, η καταστροφή ή η πολλαπλή αποστολή πακέτων.
- ✓ Οι κόμβοι καταχωρίζουν τη μετάδοση μιας ακολουθίας δεδομένων και συμφωνούν για τον τερματισμό της.



Το *TCP* μπορεί να υλοποιηθεί μέσω συνδέσμων σε πολλών ειδών δίκτυα, όπως είναι τα **επιλογικά δίκτυα** (*dial-up*), τα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα, τα δίκτυα υψηλών επιδόσεων, καθώς και τα κατανεμημένα δίκτυα χαμηλών ρυθμών μετάδοσης.



Το *TCP* προσδιορίζει τη μορφή των δεδομένων και των πληροφοριών ελέγχου που ανταλλάσσουν δύο υπολογιστές με σκοπό την επίτευξη μιας αξιόπιστης μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή προσδιορίζει τις διαδικασίες που χρησιμοποιούν οι υπολογιστές προκειμένου να εξασφαλίσουν ότι τα δεδομένα αποστέλλονται και λαμβάνονται σωστά.



### 15.3.3.1 Θύρες και συνδέσεις στο TCP

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του *TCP* είναι ότι επιτρέπει σε πολλά προγράμματα εφαρμογών να αξιοποιούν τις υπηρεσίες του ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας το ίδιο φυσικό μέσο που είναι υπεύθυνο τόσο για την απο-πολυπλεξία (*demultiplexing*) της εισερχόμενης κυκλοφορίας *TCP* όσο και για την κατανομή της στις διαδικασίες των προγραμμάτων που χρησιμοποιούνται. Όμως ο τελικός παραλήπτης των μηνυμάτων κάθε κόμβου - υπολογιστή είναι ένα σύνολο αφηρημένων σημείων προορισμού, οι γνωστές **θύρες πρωτοκόλλου** (*protocol ports*). Τυπικά, κάθε θύρα πρωτοκόλλου παριστάνεται με ένα θετικό ακέραιο αριθμό που είναι μοναδικός για κάθε υπολογιστή, ενώ το λειτουργικό σύστημα επιλέγει ένα μηχανισμό τον οποίο χρησιμοποιούν οι διαδικασίες των προγραμμάτων κάθε εφαρμογής για να προσδιορίσουν μια θύρα.

Επομένως ένα σημαντικό θέμα είναι και η δέσμευση των θυρών *TCP*. Τα τμήματα *TCP* (*modules*) κάθε συσκευής είναι ελεύθερα να επιλέγουν και να καταχωρίζουν τους αριθμούς των θυρών. Όμως η τυχαία καταχώριση των αριθμών των θυρών δημιουργεί ένα βασικό λειτουργικό πρόβλημα. Οι κόμβοι - υπολογιστές πρέπει, πριν επικοινωνήσουν, να συμφωνήσουν στους αριθμούς των θυρών που θα χρησιμοποιήσουν. Για παράδειγμα, όταν ο υπολογιστής Α θελήσει να πάρει ένα αρχείο από τον υπολογιστή Β, πρέπει να γνωρίζει εκ των προτέρων ποια θύρα χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη υπηρεσία μεταφοράς αρχείων (*file transfer*) στον υπολογιστή Β, ώστε αυτή η θύρα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις διαδικασίες του προγράμματος εφαρμογής του υπολογιστή Α.

Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε με την καθιέρωση μιας διεθνούς κεντρικής διεύθυνσης, η οποία αποδίδει σε ορισμένες υπηρεσίες (όπως είναι η ανταλλαγή αρχείων, η πρόσβαση σε απομακρυσμένους κόμβους, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο κτλ.) αποκλειστικούς αριθμούς που αντιστοιχούν στις θύρες οι οποίες δεσμεύονται προκειμένου να χρησιμοποιηθούν γι' αυτές τις υπηρεσίες.

Για πληροφοριακούς λόγους και προκειμένου να υπάρξει μια ολοκληρωμένη εικόνα δίνεται ο παρακάτω πίνακας των δεσμευμένων θυρών *TCP* και των υπηρεσιών στις οποίες αντιστοιχούν. Ασφαλώς υπάρχουν και μη δεσμευμένες θύρες οι οποίες χρησιμοποιούνται από τις διαδικασίες των προγραμμάτων κάθε εφαρμογής προκειμένου να υλοποιηθούν οι υπηρεσίες του *TCP*.



Αριθμός θύρας	Λέξη - κλειδί	Υπηρεσία TCP
0		Δεσμευμένη
1-4		Ελεύθερη
5	<i>RJE</i>	Από απόσταση είσοδος ( <i>Remote Job Entry</i> )
7	<i>ECHO</i>	Αντήχηση
9	<i>DISCARD</i>	Απόρριψη
11	<i>USERS</i>	Ενεργοί χρήστες
13	<i>DAYTIME</i>	Ημερομηνία
15	<i>NETSTAT</i>	Ποιος είναι στο δίκτυο
17	<i>QUOTE</i>	<i>QUOTE</i> of the day
19	<i>CHARGEN</i>	Γεννήτορας χαρακτήρων ( <i>CHARacter GENerator</i> )
20	<i>FTP-DATA</i>	Μεταφορά αρχείων δεδομένων
21	<i>FTP</i>	<i>FTP</i>
23	<i>TELNET</i>	<i>Telnet</i>
25	<i>SMTP</i>	<i>SMTP</i>
37	<i>TIME</i>	Χρόνος
39	<i>RLP</i>	<i>Resource Location Protocol</i>
42	<i>NAMESERVER</i>	Όνομα σταθμού εξυπηρέτησης ( <i>host name server</i> )
53	<i>DOMAIN</i>	Σύστημα ονομασίας περιοχών ( <i>domain name server</i> )
67	<i>BOOTPS</i>	<i>BOOTstrap Protocol Server</i>
68	<i>BOOTPC</i>	<i>BOOTstrap Protocol Client</i>
69	<i>TFTP</i>	<i>Trivial File Transfer Protocol</i>
79	<i>FINGER</i>	<i>Finger</i>
95	<i>SUPDUP</i>	Πρωτόκολλο <i>SUPDUP</i>
101	<i>HOSTNAME</i>	Όνομα κόμβου ( <i>NIC host name server</i> )
102	<i>ISO-TSAP</i>	<i>ISO-TSAP</i>
113	<i>AUTH</i>	<i>Authentication service</i>
117	<i>UUCP-PATH</i>	<i>UUCP-Path service</i>
123	<i>NTP</i>	<i>Network Time Protocol</i>
133-159		Ελεύθερη
160-223		Δεσμευμένη
224-241		Ελεύθερη
247-255		Ελεύθερη

Πίνακας 15.2: Δεσμευμένες θύρες που χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες του TCP.





### 15.3.3.2 Αξιοπιστία επικοινωνίας

Μια ακολουθία δεδομένων που στέλνεται στον παραλήπτη μέσω μιας σύνδεσης *TCP* πρέπει να μεταδίδεται πάντα αξιόπιστα και με τη σωστή σειρά. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας της μετάδοσης γίνεται με τη βοήθεια των αριθμών ακολουθίας (*sequence numbers*) και επιβεβαίωσης (*acknowledgement*).

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται προβλέπει πως κάθε οκτάδα δεδομένων πρέπει να διαθέτει και έναν αριθμό ακολουθίας. Ο αριθμός ακολουθίας της πρώτης οκτάδας δεδομένων σε ένα τμήμα (*segment*) μεταδίδεται μαζί μ' αυτό και είναι γνωστός ως **αριθμός ακολουθίας του τμήματος** (*segment sequence number*). Τα τμήματα μεταδίδουν επίσης και έναν **αριθμό επιβεβαίωσης** (*acknowledgement number*), ο οποίος είναι ο αριθμός ακολουθίας της επόμενης οκτάδας δεδομένων που κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Οι επιβεβαιώσεις προσδιορίζουν πάντα τον αριθμό της ακολουθίας του επόμενου χαρακτήρα που θα φτάσει στον παραλήπτη. Μια επιβεβαίωση δεν εγγυάται ότι τα δεδομένα του τμήματος έχουν φτάσει στον τελικό χρήστη - παραλήπτη, αλλά μόνο ότι το *TCP* του αποστολέα έχει αναλάβει την ευθύνη πραγματοποίησης της μετάδοσης.

### 15.3.3.3 Λήξη χρόνου των μετρητών και επαναμεταδόσεις

Μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του *TCP* αφορά τον τρόπο διαχείρισης της **λήξης χρόνου** (*time-out*) και των **επαναμεταδόσεων** (*retransmissions*). Όπως οποιοδήποτε άλλο αξιόπιστο πρωτόκολλο, έτσι και το *TCP* περιμένει από τον παραλήπτη να του στέλνει επιβεβαιώσεις, οπότε αυτός λαμβάνει δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, το *TCP*, κάθε φορά που στέλνει μια ομάδα δεδομένων, θέτει σε λειτουργία ένα μετρητή και περιμένει μια επιβεβαίωση. Εάν λήξει ο χρόνος λειτουργίας του μετρητή πριν τα δεδομένα ενός τμήματος πληροφοριών επιβεβαιωθούν, τότε το *TCP* υποθέτει πως αυτό το τμήμα πληροφοριών χάθηκε ή καταστράφηκε και προχωρεί στην επαναμετάδοσή του.

Για να γίνει αντιληπτή η ιδιαιτερότητα του αλγορίθμου επαναμετάδοσης του *TCP*, θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται στο Διαδίκτυο. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον η διαδρομή των δεδομένων προς τον κόμβο - προορισμό τους μπορεί να περνά μέσα από ενδιάμεσα δίκτυα και από πολλές πύλες διασύνδεσης των δικτύων. Επομένως είναι αδύνατο να γνωρίζει το *TCP* εκ των προτέρων πόσο χρόνο θα χρειαστούν οι επιβεβαιώσεις για να επιστρέψουν στον αποστολέα. Επιπλέον η καθυστέρηση σε κάθε πύλη διασύνδεσης των δικτύων εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο που υπάρχει στους κόμβους, με αποτέλεσμα ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση ενός τμήματος πληροφοριών και την αποστολή της επιβεβαίωσης να διαφοροποιείται σημαντικά από περίπτωση σε περίπτωση.



#### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Πρότυπο *TCP/IP*, διευθυνσιοδότηση, Κέντρο Πληροφοριών Δικτύου, ταυτότητα δικτύου, ταυτότητα κόμβου, θύρα πρωτοκόλλου, αριθμός ακολουθίας τμήματος, αριθμός επιβεβαίωσης, λήξη χρόνου μετρητή, επαναμετάδοση.



## Μάθημα 15.5: Πρότυπο ATM

### 15.5.1 Εισαγωγή

Η τεχνική του **ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*ATM: Asynchronous Transfer Mode*) επιλέχθηκε από την *ITU-T* ως βάση για τη δημιουργία το 1988 του προτύπου *B-ISDN* (βλ. Μάθημα 15.6), το οποίο με τη σειρά του οδήγησε στην τυποποίηση του *ATM* το 1991. Το πρότυπο *ATM* αντιστοιχεί στα τρία χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI* και είναι ένα σύστημα πολυπλεξίας βασισμένο στη μετάδοση πακέτων χωρίς επιβεβαίωση της λήψης τους. Η τεχνική του *ATM* είναι ανεξάρτητη από το ρυθμό μετάδοσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε ψηφιακό — απαλλαγμένο από λάθη — μέσο μετάδοσης, όπως είναι οι οπτικές ίνες. Σήμερα τα διεθνή πρότυπα παρέχουν ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 155 και 622 Mbps για την Ευρώπη, ενώ στις Η.Π.Α. υπάρχει ένα ακόμη επίπεδο ρυθμού μετάδοσης, αυτό των 45 Mbps. Τα υψηλά αυτά επίπεδα εύρους ζώνης μπορεί να χρησιμοποιηθούν είτε για υπηρεσίες που απαιτούν ανάλογο εύρος μετάδοσης είτε για την πολυπλεξία μεγάλου όγκου πληροφοριών χαμηλού εύρους ζώνης. Ο τρόπος λειτουργίας και τα επίπεδα του *ATM* καθορίζονται από τις συστάσεις της σειράς/της *ITU-T*, που είναι οι *I.361*, *I.362*, *I.363* και *I.150*.

Το πρότυπο *ATM* είναι ένας μηχανισμός μετάδοσης δεδομένων που βασίζεται στη **μεταγωγή νοητού κυκλώματος** (*virtual circuit switching*). Αυτό σημαίνει ότι είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μια νοητή σύνδεση με το δίκτυο *ATM*, πριν γίνει η μετάδοση της πληροφορίας. Λόγω του γεγονότος ότι οι υπηρεσίες που παρέχονται από το *ATM*, όπως είναι η μετάδοση δεδομένων, φωνής κτλ., έχουν διαφορετικές απαιτήσεις από το δίκτυο, καθορίζονται εκ των προτέρων (κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης) δύο κύρια χαρακτηριστικά της μετάδοσης:

- ✓ Το εύρος ζώνης, για το οποίο δίνονται η μέση και η ανώτατη τιμή που μπορεί να απαιτηθούν.
- ✓ Η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, για την οποία δίνονται το μέγιστο αποδεκτό ποσοστό κυψελίδων (πακέτων *ATM*) που μπορεί να απολεσθούν, καθώς και η μέγιστη αποδεκτή **μεταβλητότητα καθυστέρησης** (*delay variability*) που μπορεί να παρατηρηθεί στο δίκτυο.

Ακολουθώντας τη φιλοσοφία της δημιουργίας επιπέδων, το *ATM* σχεδιάστηκε σε τρία επίπεδα:

- ✓ το φυσικό επίπεδο,
- ✓ το επίπεδο *ATM* και
- ✓ το επίπεδο προσαρμογής στο *ATM* (*AAL: ATM Adaptation Layer*).

Το επίπεδο *ATM* είναι ιδιαίτερα απλοποιημένο, ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί εύκολα σε πολλά μέσα μετάδοσης. Επάνω από αυτό υπάρχει το *AAL*, που έχει καθήκον την προσαρμογή των λειτουργιών μεταφοράς του *ATM* στις διαφορετικές απαιτή-



Το *AAL* διαφοροποιείται ανάλογα με τις υπηρεσίες που προσφέρει το δίκτυο *ATM*.



σεις των υπηρεσιών του χρήστη.

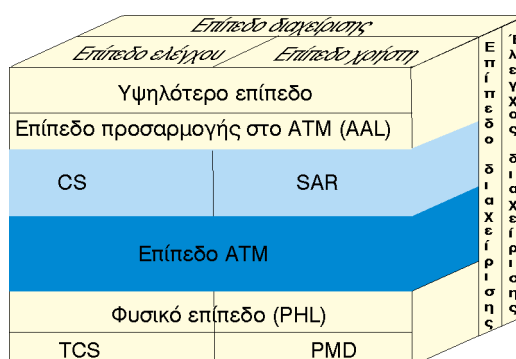
Σημειώνεται ότι τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου *ATM* είναι οι **μεταγωγοί** (*switches*) **ATM**, που αναλαμβάνουν τις λειτουργίες μεταφοράς. Στους μεταγωγούς *ATM* συνδέονται οι κόμβοι του δικτύου ή/και άλλα δίκτυα. Για το λόγο αυτό ένας μεταγωγός *ATM* παρέχει διάφορους τύπους σύνδεσης τόσο με δίκτυα βασισμένα στο *ATM* όσο και με άλλα παραδοσιακά δίκτυα (βλ. Μάθημα 16.2).

### 15.5.2 Αρχιτεκτονική του ATM

Το πρότυπο *ATM*, γνωστό και ως **μεταγωγή κυψελίδας** (*cell relay*), έχει αρκετά κοινά σημεία στον τρόπο ανταλλαγής των πακέτων με το πρότυπο *X.25* (Μάθημα 15.1), καθώς και με το πρότυπο μεταγωγής πλαισίου (Μάθημα 15.2). Το *ATM* μεταφέρει δεδομένα σε συγκεκριμένες ομάδες — επιτρέποντας πολλές νοητές συνδέσεις να ενοποιηθούν σε μια φυσική διεπαφή — έχοντας οργανώσει τη ροή των πληροφοριών σε πακέτα σταθερού μεγέθους, που καλούνται **κυψελίδες** ή **κελιά** (*cells*).

Το *ATM* είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο ελαχιστοποιεί τους ελέγχους λαθών και ροής, με αποτέλεσμα τη μείωση των πρόσθετων πληροφοριών ανά κυψελίδα και την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Στο φυσικό επίπεδο του πρωτοκόλλου ορίζονται συγκεκριμένα οι ρυθμοί μετάδοσης στα 155 και 622 Mbps, χωρίς να αποκλείονται και άλλες διαβαθμίσεις.

Το μοντέλο αναφοράς *ATM* (σχήμα 15.11) αποτελείται, σύμφωνα με τη σύσταση *I.121* της *ITU-T*, από τρία κατακόρυφα επίπεδα, το επίπεδο χρήστη, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο διαχείρισης, τα οποία περιγράφονται αναλυτικά στο Μάθημα 15.6, όπου παρουσιάζεται το πρότυπο *ISDN* ευρείας ζώνης για το *ATM*. Εδώ θα μελετήσουμε τα οριζόντια επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *ATM*, που είναι το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο προσαρμογής στο *ATM* και το επίπεδο *ATM*. Τα τρία αυτά επίπεδα ορίζουν και την αρχιτεκτονική των δικτύων *ATM*.



Σχήμα 15.11: Τα επίπεδα και τα υποεπίπεδα της αρχιτεκτονικής *ATM*

- ✓ Το **φυσικό επίπεδο** (*PHL: PPhysical Layer*) παρέχει πρόσβαση στο φυσικό μέσο με σκοπό τη μεταφορά των κυψελίδων *ATM*. Περιλαμβάνει το **υποεπίπεδο σύγκλισης μεταφοράς** (*TCS: Transport Convergence Sublayer*) και το **υποε-**



**πίεδο που εξαρτάται από το μέσο (PMD: Physical Medium Dependent).** Το φυσικό επίπεδο του *ATM* υποστηρίζει τη μεταφορά των κυψελίδων στους χρήστες και υλοποιείται στις τερματικές διατάξεις τους. Για τη μεταφορά των κυψελίδων χρησιμοποιούνται νοητές συνδέσεις που υλοποιούνται μέσα σε ένα δημόσιο δίκτυο. Οι συνδέσεις, με την κατάλληλη σηματοδότηση, παρέχονται στους χρήστες κατά την εγγραφή τους στο δίκτυο ή σε πραγματικό χρόνο. Το φυσικό επίπεδο του *ATM* έχει τη δυνατότητα πολυπλεξίας, η οποία επιτρέπει την εγκατάσταση πολλών συνδέσεων μέσω μιας διάταξης προσαρμογής του δικτύου που χρησιμοποιείται.

- ✓ Το **επίπεδο προσαρμογής στο ATM (AAL: ATM Adaptation Layer)** αντιστοιχίζει τα δεδομένα των υψηλότερων επιπέδων στις κυψελίδες με σκοπό τη μεταφορά τους μέσω του δικτύου. Αποτελείται από το **υποεπίπεδο σύγκλισης (CS: Convergence Sublayer)** και το **υποεπίπεδο τμηματοποίησης και επανασύστασης (SAR: Segmentation And Reassembly sublayer)**. Οι λειτουργίες του AAL καθορίζονται, σύμφωνα με την *ITU*, από ορισμένους τύπους που αντιστοιχούν άμεσα στις κλάσεις των υπηρεσιών A, B, C και D (πίνακας 15.3).

Πίνακας 15.3: Τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών που παρέχονται από το *ATM* και η

Κλάση Α AAL 1	Κλάση Β AAL 2	Κλάση C AAL 3/4 AAL 5	Κλάση D AAL 3/4
Απαιτείται συγχρονισμός πηγής - προορισμού		Δεν απαιτείται συγχρονισμός πηγής - προορισμού	
Σταθερός ρυθμός CBR	Μεταβλητός ρυθμός VBR		
Προσανατολισμένη στη σύνδεση			Μη προσανατο- λισμένη στη σύνδεση
Φωνή-βίντεο στα 64 Kbps	Συμπίεσμένο βίντεο Βίντεο πακέτων	Μεταφορά δεδομένων τοπικού δικτύου	Μεταφορά δεδομένων τοπικού δικτύου μέσω ΔΕΠ

αντιστοίχισή τους στους τύπους του επιπέδου προσαρμογής AAL. Αρχικά η *ITU* όρισε τέσσερις τύπους λειτουργιών (AAL 1, AAL 2, AAL 3 και AAL 4), όμως μετέπειτα, ύστερα από τη συγχώνευση των λειτουργιών AAL 3 και AAL 4, ορίστηκε ο τύπος AAL 3/4, ενώ δημιουργήθηκε και ο νέος τύπος AAL 5.

- ✓ Το **επίπεδο ATM** αποτελεί το βασικότερο επίπεδο του προτύπου *ATM*. Δέχεται από το επίπεδο προσαρμογής στο *ATM* (AAL) τις ομάδες δεδομένων που είναι έτοιμες για τη διαδικασία της ενθυλάκωσης (*encapsulation*) και τις παραδίδει στο AAL μετά την απο-ενθυλάκωση (*decapsulation*).

Η πρωταρχική λειτουργία αυτού του επιπέδου είναι η από άκρη σε άκρη (*end-to-end*) σειραϊκή μεταφορά των κυψελίδων *ATM*, σύμφωνα με την πληροφο-



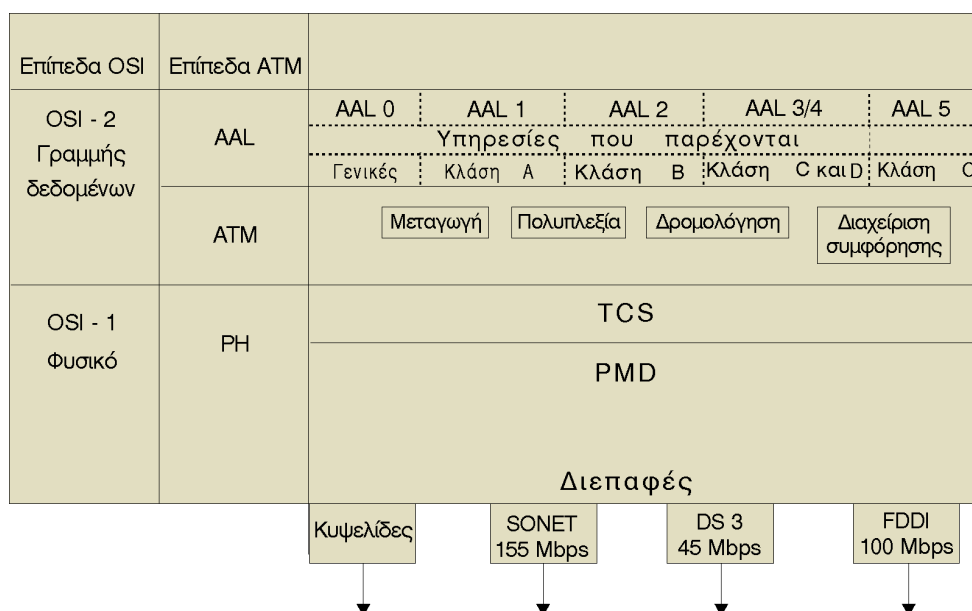
**Ενθυλάκωση** είναι η συνένωση της επικεφαλίδας με το πεδίο ωφέλιμου φορτίου, ενώ **απο-ενθυλάκωση** είναι ο διαχωρισμός της επικεφαλίδας από το ωφέλιμο φορτίο και η επεξεργασία της.



ρία πρωτοκόλλου του *ATM* η οποία περιέχεται στην επικεφαλίδα των κυψελίδων. Τα πεδία πληροφορίας των κυψελίδων μεταφέρονται με διαφανή τρόπο και μπορούν να περιέχουν οποιονδήποτε τύπο δεδομένων του χρήστη ή οποιαδήποτε πληροφορία αφορά το δίκτυο. Επομένως το επίπεδο *ATM* είναι ανεξάρτητο από υπηρεσίες και υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό λειτουργιών, όπως είναι:

- Κατασκευή κυψελίδων.
- Λήψη κυψελίδων και αναγνώριση εγκυρότητας επικεφαλίδων.
- Μεταγωγή, προώθηση και αντιγραφή κυψελίδων χρησιμοποιώντας τις τιμές των **κωδικών αναγνώρισης νοητού μονοπατιού / καναλιού** (*VPI/VCI: Virtual Path Identifier / Virtual Channel Identifier*).
- Πολυπλεξία και απο-πολυπλεξία κυψελίδων χρησιμοποιώντας τις τιμές των κωδικών αναγνώρισης *VPI/VCI*.
- Διάκριση κυψελίδων με βάση τον **τύπο ωφέλιμου φορτίου** (*PT: Payload Type*) της πληροφορίας τους.
- Επεξεργασία του πεδίου **προτεραιότητας απώλειας κυψελίδας** (*CLP: Cell Loss Priority*).
- Υποστήριξη υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (*QoS*).
- Αναγνώριση των τιμών που έχουν δεσμευθεί και εκχωρηθεί εκ των προτέρων στην επικεφαλίδα.
- Γενικός έλεγχος ροής.
- Άμεση ένδειξη για τη συμφόρηση της κυκλοφορίας στον επόμενο κόμβο.
- Εκχώρηση και μετακίνηση συνδέσεων.

Στο σχήμα 15.12 παρουσιάζεται μια γραφική παράσταση των επιπέδων και των



Σχήμα 15.12: Λειτουργίες των επιπέδων και υποεπιπέδων της αρχιτεκτονικής *ATM*

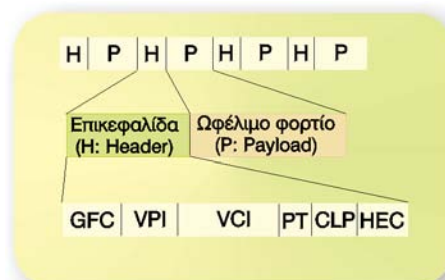


υποεπιπέδων της αρχιτεκτονικής *ATM*, αυτά καθώς και των λειτουργιών που αυτά επιτελούν.

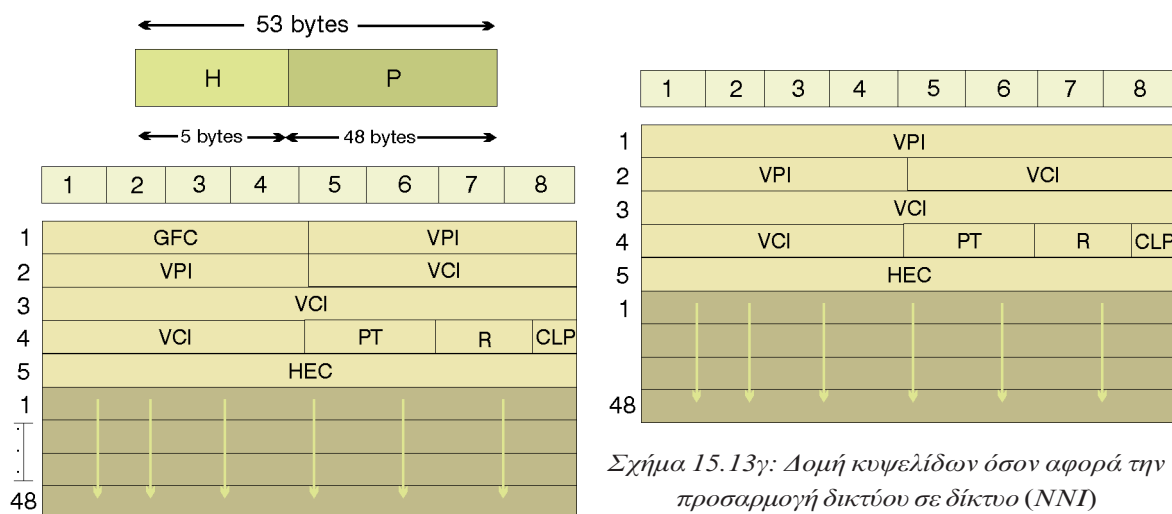
### 15.5.3 Δομή κυψελίδων

Η βασική μονάδα στο *ATM* είναι η κυψελίδα (σχήμα 15.13α). Το πρότυπο *ATM* καθορίζει μια κυψελίδα σταθερού μήκους 53 χαρακτήρων, από τους οποίους οι 5 αποτελούν την **επικεφαλίδα** (*H: Header*), ενώ οι υπόλοιποι 48 μεταφέρουν το **ωφέλιμο φορτίο** (*P: Payload*) της πληροφορίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ισχύουσα μορφή της κυψελίδας *ATM* αποτελεί προϊόν συμβιβασμού των προτάσεων των οργανισμών *ANSI* και *ETSI*. Συγκεκριμένα, ο πρώτος οργανισμός πρότεινε μια επικεφαλίδα 5 χαρακτήρων και ένα πεδίο πληροφορίας 64 χαρακτήρων, ενώ ο δεύτερος μια επικεφαλίδα 4 χαρακτήρων και ένα πεδίο πληροφορίας 32 χαρακτήρων.

Υπάρχουν δύο τυποποιημένες δομές για τις κυψελίδες *ATM*, από τις



Σχήμα 15.13α: Η δομή της κυψελίδας του



Σχήμα 15.13β: Δομή κυψελίδων όσον αφορά την προσαρμογή χρήστη σε δίκτυο (*UNI*)

- H: Επικεφαλίδα (*Header*)
- P: Ωφέλιμο φορτίο (*Payload*)
- GFC: Γενικός έλεγχος ροής (*Generic Flow Control*)
- VPI: Κωδικός αναγνώρισης νοητού μονοπατιού (*Virtual Path Identifier*)
- VCI: Κωδικός αναγνώρισης νοητού καναλιού (*Virtual Channel Identifier*)
- PT: Τύπος πεδίου πληροφορίας (*Payload Type*)
- R: Δεσμευμένο (*Reserved*)
- CLP: Προτεραιότητα απώλειας κυψελίδων (*Cell Loss Priority*)
- HEC: Έλεγχος σφάλματος επικεφαλίδας (*Header Error Control*)
- UNI: Προσαρμογή χρήστη σε δίκτυο (*User to Network Interface*)
- NNI: Προσαρμογή δικτύου σε δίκτυο (*Network to Network Interface*)



οποίες η μία αφορά την **προσαρμογή χρήστη σε δίκτυο** (*UNI: User to Network Interface*) και η άλλη την **προσαρμογή δικτύου σε δίκτυο** (*NNI: Network to Network Interface*). Οι δομές αυτές παρουσιάζονται στα σχήματα 15.13β και 15.13γ αντίστοιχα.

Η δομή της κυψελίδας *ATM* όσον αφορά την προσαρμογή δικτύου σε δίκτυο (*NNI*) είναι παρόμοια με αυτήν της προσαρμογής χρήστη σε δίκτυο (*UNI*), με δύο όμως διαφορές. Πρώτον, δεν υπάρχει στην *NNI* το πεδίο γενικού ελέγχου ροής (*GFC*) (βλ. παρακάτω) και δεύτερον, το πεδίο κωδικού αναγνώρισης νοητού μονοπατιού (*VPI*) είναι αυξημένο κατά 12 δυαδικά ψηφία (χρησιμοποιώντας και τα 4 ψηφία του *GFC*). Σε ένα δίκτυο *ATM* η μεταγωγή και η πολυπλεξία όλης της πληροφορίας γίνονται με τη χρήση αυτών των κυψελίδων σταθερού μήκους. Η επικεφαλίδα της κυψελίδας καθορίζει τον προορισμό της, τον τύπο της και την προτεραιότητά της.

Τα διάφορα πεδία της επικεφαλίδας περιγράφονται συνοπτικά στη συνέχεια:

- ✓ Το πεδίο **γενικού ελέγχου ροής** (*GFC: Generic Flow Control*) αποτελείται από 4 δυαδικά ψηφία και έχει ως σκοπό την υποστήριξη απλών υλοποιήσεων πολυπλεξίας (για παράδειγμα, επιτρέπει σε έναν πολυπλέκτη να ελέγξει το ρυθμό ενός τερματικού *ATM*). Για το γενικό έλεγχο ροής έχουν προταθεί δύο μηχανισμοί, ο **δακτύλιος *ATM*** (*ATMR: ATM Ring*) και το *DQDB* (Μάθημα 15.3), οι οποίοι επηρεάζουν την τελική δομή του πεδίου. Στις συνδέσεις σημείου προς σημείο το πεδίο γενικού ελέγχου ροής είναι 0000.
- ✓ Τα πεδία **κωδικός αναγνώρισης νοητού μονοπατιού** (*VPI: Virtual Path Identifier*) και **κωδικός αναγνώρισης νοητού καναλιού** (*VCI: Virtual Channel Identifier*) αποτελούν το λεγόμενο **πεδίο δρομολόγησης**. Η δρομολόγηση μιας κυψελίδας γίνεται σύμφωνα με τις τιμές των πεδίων *VPI* και *VCI*, οι οποίες υπάρχουν στην επικεφαλίδα. Η διαδικασία δρομολόγησης περιλαμβάνει την αναγνώριση της τιμής *VPI* στους κόμβους μεταγωγής νοητών μονοπατιών και την αναγνώριση της τιμής τόσο του πεδίου *VPI* όσο και του πεδίου *VCI* στους κόμβους μεταγωγής νοητών καναλιών. Σύμφωνα με τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων των δύο πεδίων, το πεδίο *VCI* με τα 16 δυαδικά ψηφία του παρέχει τη δυνατότητα υποστήριξης 216 νοητών καναλιών σε ένα νοητό μονοπάτι, 28 νοητών μονοπατιών σε μία *UNI* και 212 νοητών μονοπατιών σε μία *NNI*. Ορισμένες τιμές των πεδίων *VPI/VCI* έχουν κρατηθεί για ειδικές χρήσεις. Οι κωδικοί αναγνώρισης αναφέρονται και ως **ταυτοποιητές νοητού μονοπατιού** (*VPI*) και **νοητού καναλιού** (*VCI*), έχουν μόνο τοπική σημασία και καθορίζουν τον προορισμό της κυψελίδας.
- ✓ Ο **τύπος ωφέλιμου φορτίου** (*PT: Payload Type*) δείχνει ότι μια κυψελίδα περιέχει δεδομένα χρήστη, δεδομένα σηματοδότησης ή λειτουργικές πληροφορίες. Στην παρούσα φάση αποτελείται από 2 δυαδικά ψηφία, αλλά στο άμεσο μέλλον προβλέπεται ότι θα αποτελείται από 32 δυαδικά ψηφία, με την προσθήκη του πεδίου *R* που έχει δεσμευθεί.
- ✓ Το δυαδικό ψηφίο που αναφέρεται στην **προτεραιότητα απώλειας κυψελίδας** (*CLP: Cell Loss Priority*) καθορίζει τη σχετική προτεραιότητα της κυψελίδας, δηλαδή σε περιπτώσεις συμφόρησης της κυκλοφορίας απορρίπτονται πρώτα οι κυψελίδες χαμηλότερης προτεραιότητας.

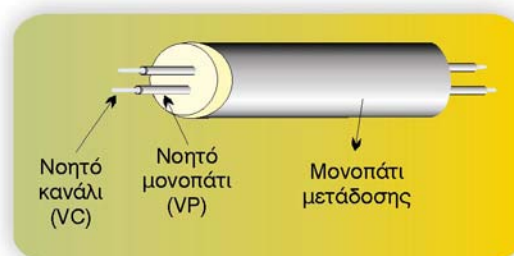
- ✓ Το πεδίο **ελέγχου σφάλματος επικεφαλίδας (HEC: Header Error Control)** ανιχνεύει και διορθώνει τυχόν λάθη της επικεφαλίδας. Η ύπαρξη αυτού του πεδίου υπαγορεύεται από το γεγονός ότι ο ρόλος της επικεφαλίδας είναι ιδιαίτερα κρίσιμος στην όλη διαδικασία. Σε αντίθεση με την επικεφαλίδα ο τύπος ωφέλιμου φορτίου δεν υπόκειται σε διαδικασία ελέγχου και διόρθωσης λαθών. Το έργο αυτό ανατίθεται σε υψηλότερα επίπεδα.

Γενικά, η δομή των κυψελίδων *ATM* απλοποιεί την υλοποίηση της μεταγωγής και των πολυπλεκτών, ενώ παράλληλα επιτρέπει την υποστήριξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης. Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα της δομής των κυψελίδων είναι ότι θέτει τέλος στη διάκριση — επομένως και στα προβλήματα που απορρέουν από αυτή— μεταξύ μεγάλων και μικρών πακέτων. Κατά συνέπεια η τεχνική *ATM* επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων σταθερού ρυθμού, όπως είναι η φωνή και το βίντεο, και δεδομένων μεταβλητού ρυθμού, τα οποία πιθανόν να αφορούν πακέτα μεγάλου μήκους.

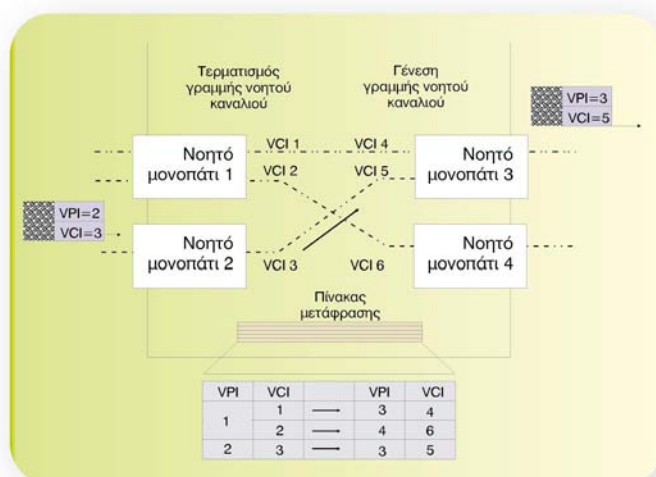
#### 15.5.4 Δίκτυα ATM

Στα δίκτυα *ATM* οι προσφερόμενες υπηρεσίες ακολουθούν μια ιεραρχική δομή. Το μέσο μετάδοσης παρέχει την υπηρεσία μεταφοράς στο **νοητό μονοπάτι (VP: Virtual Path)** και αυτό με τη σειρά του παρέχει την υπηρεσία μεταφοράς στο **νοητό κανάλι (VC: Virtual Channel)**. Στο σχήμα 15.14 παρουσιάζεται ένας από τους τρόπους με τους οποίους υλοποιούνται οι έννοιες της φυσικής σύνδεσης μεταξύ των συσκευών *ATM*.

Το *ATM* χρησιμοποιεί τα νοητά μονοπάτια και τα νοητά κανάλια



Σχήμα 15.14: Υλοποίηση φυσικής σύνδεσης συσκευών *ATM*



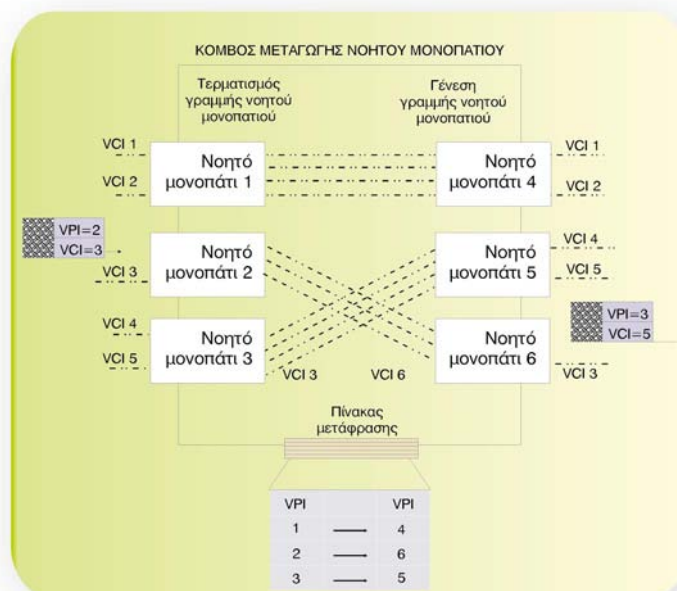
Σχήμα 15.15: Λειτουργία κόμβου μεταγωγής νοητών καναλιών

υποστηρίζοντας τις διαδικασίες δρομολόγησης ανάμεσα σε δύο άκρα του δικτύου. Έτσι ως **γραμμή νοητού καναλιού (Virtual Link Channel)** ορίζεται η μονόδρομη μετα-



φορά κυψελίδων ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία, όπου και μεταφράζεται η τιμή του *VCI*. Ο συνδυασμός των γραμμών νοητού καναλιού σχηματίζει μια **σύνδεση νοητού καναλιού** (*VCC: Virtual Channel Connection*). Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μεταγωγή νοητών καναλιών σε έναν κόμβο *ATM* φαίνεται στο σχήμα 15.15.

Κατά συνέπεια, ως **γραμμή νοητού μονοπατιού** (*Virtual Path Link*) ορίζεται η μονόδρομη μεταφορά κυψελίδων *ATM* ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία, όπου και μεταφράζεται η τιμή του *VPI*. Ο συνδυασμός των γραμμών νοητού μονοπατιού σχηματίζει μια **σύνδεση νοητού μονοπατιού** (*VPC: Virtual Path Connection*). Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μεταγωγή νοητών μονοπατιών φαίνεται στο σχήμα 15.16.



Σχήμα 15.16: Λειτουργία κόμβου μεταγωγής νοητών μονοπατιών



### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Πρότυπο *ATM*, μεταγωγή νοητού κυκλώματος, μεταβλητότητα καθυστέρησης, μεταγωγός *ATM*, μεταγωγή κυψελίδας, υποεπίπεδο σύγκλισης μεταφοράς, υποεπίπεδο που εξαρτάται από το μέσο, υποεπίπεδο σύγκλισης, υποεπίπεδο τμηματοποίησης και επανασύστασης, επκεφαλίδα, ωφέλιμο φορτίο, προσαρμογή χρήστη σε δίκτυο, προσαρμογή δικτύου σε δίκτυο, γενικός έλεγχος ροής, δακτύλιος *ATM*, κωδικός αναγνώρισης νοητού καναλιού, κωδικός αναγνώρισης νοητού μονοπατιού, τύπος ωφέλιμου φορτίου, προτεραιότητα απώλειας κυψελίδας, έλεγχος σφάλματος επκεφαλίδας, γραμμή νοητού μονοπατιού, γραμμή νοητού καναλιού.



## Μάθημα 15.6: Πρότυπο ISDN ευρείας ζώνης

### 15.6.1 Εισαγωγή

Το ψηφιακό δίκτυο ολοκληρωμένων υπηρεσιών (*ISDN: Integrated Services Digital Network*) άρχισε να σχεδιάζεται το 1976, αλλά μόνο τα τελευταία χρόνια έγιναν προσπάθειες για την υλοποίηση των προτύπων του. Από το 1988 το *ISDN* προσανατολίστηκε σε πιο φιλόδοξα σχέδια, τα οποία ξεπέρασαν τους αρχικούς σχεδιασμούς που αφορούσαν τα ψηφιακά δίκτυα ολοκληρωμένων υπηρεσιών στενής ζώνης (*N-ISDN*) (Μάθημα 8.7). Τα νέα δίκτυα ονομάζονται **ψηφιακά δίκτυα ολοκληρωμένων υπηρεσιών ευρείας ζώνης** (*B-ISDN: Broadband - Integrated Services Digital Network*) και καθορίζονται από τις συστάσεις της σειράς *I* της *ITU-T*. Για παράδειγμα, δύο συστάσεις που είναι σχετικές με το *B-ISDN* και παρέχουν μια εισαγωγική περιγραφή, αλλά αποτελούν ταυτόχρονα και τη βάση για μελλοντικές προτυποποιήσεις είναι οι *I.113* και *I.121*.

Σημαντικές έννοιες στις συστάσεις *I.113* και *I.121* είναι:

- ✓ **Ευρεία ζώνη** (*broadband*). Πρόκειται για υπηρεσία ή σύστημα που αφορά κανάλια μετάδοσης ικανά να υποστηρίξουν ρυθμούς μεγαλύτερους από τον πρωτεύοντα ρυθμό μετάδοσης (*primary rate*).
- ✓ **B-ISDN**. Πρόκειται για ένα εξελιγμένο δίκτυο *ISDN* το οποίο παρέχει όχι μόνο τις κλασικές υπηρεσίες *ISDN* αλλά και όσες απαιτούν ρυθμούς μετάδοσης ευρείας ζώνης. Το *B-ISDN* έχει τη δυνατότητα περαιτέρω εξέλιξης, ενσωματώνοντας απευθείας στο δίκτυο επιπλέον λειτουργίες, οι οποίες θα επιτρέψουν με τη σειρά τους την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.
- ✓ **Ασυγχρόνιστος τρόπος μεταφοράς** (*ATM*). Πρόκειται για τεχνική μετάδοσης που υλοποιεί το *B-ISDN* και είναι ανεξάρτητη από το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο φυσικό επίπεδο.

Η *ITU-T* ορίζει το *B-ISDN* ως μια υπηρεσία που αφορά κανάλια ικανά να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης μεγαλύτερους από τον πρωτεύοντα. Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη ενός ψηφιακού δικτύου που καλύπτει ένα σύνολο υπηρεσιών *N-ISDN*, οι οποίες παρέχουν ρυθμούς μετάδοσης έως 2 Mbps. Με τη χρήση του *B-ISDN* εξασφαλίζονται υπηρεσίες που παρέχουν πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, όπως είναι οι υπηρεσίες βίντεο, προσομοίωσης κίνησης (*animation*), γραφικών υψηλής ανάλυσης, τηλεδιασκέψεων, βιντεο-τηλεδιασκέψεων κτλ., οι οποίες απαιτούν εύρος ζώνης (*bandwidth*) πολύ μεγαλύτερο από αυτό που προσφέρει το κλασικό *ISDN*.

Το *B-ISDN* χρησιμοποιεί την τεχνική του ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς (*ATM*:



Το κλασικό *ISDN* υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης που κυμαίνονται από 144 Kbps, με τη χρήση μιας βασικής σύνδεσης (2B+D κανάλια), έως 1.984 Kbps, με τη χρήση μιας πρωτεύουσας σύνδεσης (30B+D κανάλια). Με το *ISDN* ευρείας ζώνης, το οποίο στηρίζεται κυρίως σε οπτικές ίνες, έχουμε ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 150 έως 622 Mbps. Οι ρυθμοί αυτοί είναι απαραίτητοι για συνδέσεις απομακρυσμένων τοπικών δικτύων.



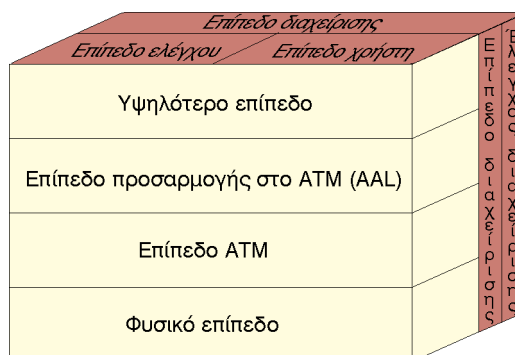


*Asynchronous Transfer Mode*) για τη μετάδοση της πληροφορίας από το χρήστη στο δίκτυο (*user - network interface*). Σημειώνεται ότι το *ISDN* προέκυψε ως εξέλιξη των τηλεφωνικών δικτύων μεταγωγής κυκλώματος και στη συνέχεια μετεξελίχθηκε σε ένα υβριδικό δίκτυο που χρησιμοποιεί και την τεχνική μεταγωγής πακέτων, ώστε να προσφέρει υπηρεσίες ευρείας ζώνης.

### 15.6.2 Αρχιτεκτονική του B-ISDN

Η αρχιτεκτονική του προτύπου *B-ISDN* έχει κάποια νέα χαρακτηριστικά που δεν υπάρχουν στην αρχιτεκτονική του *N-ISDN*. Όπως αναφέρθηκε και στο Μάθημα 15.5, δύο επίπεδα του προτύπου *B-ISDN* σχετίζονται με λειτουργίες του *ATM*. Υπάρχει ένα επίπεδο *ATM*, που είναι κοινό για όλες τις υπηρεσίες και παρέχει δυνατότητα για μεταγωγή πακέτων, και ένα επίπεδο προσαρμογής στο *ATM* (*AAL: ATM Adaptation Layer*), που εξαρτάται από την υπηρεσία που προσφέρεται. Η χρήση του επιπέδου *ATM* δημιουργεί την ανάγκη ενός επιπέδου προσαρμογής σ' αυτό προκειμένου να υποστηριχθούν πρωτόκολλα που είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά της πληροφορίας και δε βασίζονται στο *ATM*.

Το μοντέλο αναφοράς του προτύπου *B-ISDN*, σύμφωνα με τις συστάσεις της *ITU-T I.121*, αποτελείται από τρία κατακόρυφα επίπεδα, το επίπεδο χρήστη, το επίπεδο ελέγχου και το επίπεδο διαχείρισης (σχήμα 15.17).



Σχήμα 15.17: Το μοντέλο αναφοράς του προτύπου *B-ISDN*

- ✓ **Επίπεδο χρήστη** (*user plane*). Αναλαμβάνει τη μεταφορά της πληροφορίας από το χρήστη, μαζί με τους σχετικούς ελέγχους (για παράδειγμα, έλεγχο ροής, έλεγχο λαθών). Το επίπεδο χρήστη παρέχει όλες τις λειτουργίες για τη μεταφορά της εφαρμογής του τελικού χρήστη. Περιλαμβάνει το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο *ATM* και το επίπεδο προσαρμογής στο *ATM* (*AAL*), το οποίο χρειάζεται για την υποστήριξη του χρήστη.
- ✓ **Επίπεδο ελέγχου** (*control plane*). Εκτελεί λειτουργίες σχετικές με τον έλεγχο κλήσης και τον έλεγχο σύνδεσης. Περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα που υποστη-



ρίζουν την εγκατάσταση και τον τερματισμό των συνδέσεων, καθώς και τις λειτουργίες ελέγχου σύνδεσης που απαιτούνται για την παροχή υπηρεσιών μεταγωγής. Το επίπεδο ελέγχου μοιράζεται το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο *ATM* με το επίπεδο χρήστη. Επίσης περιλαμβάνει διαδικασίες προσαρμογής στο *ATM* και πρωτόκολλα σηματοδότησης υψηλότερων επιπέδων.

- ✓ **Επίπεδο διαχείρισης** (*administration plane*). Περιλαμβάνει διαχείριση των επιπέδων που επιτελούν λειτουργίες σχετικές με όλο το σύστημα –διευκολύνοντας έτσι τη συνεργασία μεταξύ όλων των επιπέδων– καθώς και λειτουργίες σχετικές με τη διαχείριση των πόρων και την επεξεργασία των παραμέτρων του πρωτοκόλλου. Το επίπεδο διαχείρισης παρέχει τη δυνατότητα ανταλλαγής πληροφοριών ανάμεσα στο επίπεδο χρήστη και το επίπεδο ελέγχου. Τα επιμέρους τμήματά του είναι:
  - Το **τμήμα διαχείρισης στρωμάτων**, το οποίο περιλαμβάνει λειτουργίες για τη διαχείριση των στρωμάτων της αρχιτεκτονικής.
  - Το **τμήμα διαχείρισης επιπέδων**, το οποίο περιλαμβάνει διαδικασίες διαχείρισης και συντονισμού που σχετίζονται με τη συνολική λειτουργία του συστήματος.

### 15.6.3 Υπηρεσίες B-ISDN

Οι υπηρεσίες που παρέχει το *B-ISDN* μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- ✓ **Υπηρεσίες αλληλεπίδρασης** (*interactive*). Σ' αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται το βιντεοτηλέφωνο, η τηλεδιάσκεψη, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο που υποστηρίζει πολυμέσα, η τηλεεκπαίδευση κτλ.
- ✓ **Υπηρεσίες διανομής** (*distribution*). Σ' αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται η ηλεκτρονική εφημερίδα, η διανομή τηλεοπτικού σήματος, το κατ' απαίτηση βίντεο κτλ.

Αναλυτικότερα, οι εφαρμογές που μπορούν να καλυφθούν από το δίκτυο *B-ISDN* είναι: τηλεοπτικά προγράμματα, videotex με κινούμενη εικόνα, τηλεεφημερίδα, τηλεδιαφήμιση, τηλεεκδόσεις, διανομή δεδομένων βίντεο και ήχου, βιντεοτηλέφωνο ευρείας ζώνης, επικοινωνίες πολυμέσων, ραδιοφωνία, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο με χρήση πολυμέσων και εφαρμογές πολυμέσων.

Μια σειρά από συστάσεις που είναι σχετικές με το *B-ISDN* παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Αριθμός	Τίτλος	Χρονολογία
I.113	Λεξικό όρων για χαρακτηριστικά του B-ISDN	1991
I.121	Χαρακτηριστικά του B-ISDN	1991
I.150	B-ISDN ATM: Λειτουργικά χαρακτηριστικά	1993
I.211	B-ISDN: Χαρακτηριστικά υπηρεσιών	1993
I.311	B-ISDN: Γενικά χαρακτηριστικά δικτύου	1993
I.321	B-ISDN: Μοντέλο αναφοράς του προτύπου και η εφαρμογή του	1991
I.327	B-ISDN: Λειτουργική αρχιτεκτονική	1993
I.361	Καθορισμός επιπέδου B-ISDN ATM	1993
I.362	Λειτουργική περιγραφή του επιπέδου προσαρμογής στο ATM (AAL) B-ISDN ATM	1993
I.363	Καθορισμός του επιπέδου προσαρμογής στο ATM (AAL) B-ISDN ATM	1993
I.364	Υποστήριξη υπηρεσιών ευρείας ζώνης δεδομένων στο B-ISDN	1993
I.371	Έλεγχος κυκλοφορίας και έλεγχος συμφόρησης στο B-ISDN	1993
I.413	B-ISDN: Διεπαφή χρήστη - δικτύου	1993
I.414	Σύνοψη των συστάσεων στο επίπεδο 1 για ISDN και B-ISDN πρόσβαση από τον πελάτη	1993
I.432	B-ISDN: Διεπαφή χρήστη - δικτύου. Καθορισμός του φυσικού επιπέδου	1993
I.580	Γενικές διευθετήσεις συμβατότητας μεταξύ του B-ISDN και του 64 Kbps ISDN	1993
I.610	B-ISDN: Λειτουργία και συντήρηση. Αρχές και λειτουργίες	1993

Πίνακας 15.3: Συστάσεις της σειράς I για το B-ISDN από τον οργανισμό ITU-T



### Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Πρότυπο ISDN ευρείας ζώνης, επίπεδο χρήστη, επίπεδο ελέγχου, επίπεδο διαχείρισης, τμήμα διαχείρισης στρωμάτων, τμήμα διαχείρισης επιπέδων, υπηρεσίες αλληλεπίδρασης, υπηρεσίες διανομής.



## Μάθημα 16.2: Δικτυακός εξοπλισμός

### 16.2.1 Εισαγωγή

Ο ειδικός εξοπλισμός ενός ΔΕΠ αποτελείται από αρκετές γνωστές δικτυακές συσκευές, μερικές από τις οποίες είναι:

- ✓ οι διανομείς (*hubs*),
- ✓ οι γέφυρες (*bridges*),
- ✓ οι μεταγωγοί (*switches*),
- ✓ οι δρομολογητές (*routers*).

Καθεμία από τις παραπάνω συσκευές παίζει έναν ιδιαίτερο ρόλο στη διαδικασία μεταβίβασης των δεδομένων μέσα από το δίκτυο. Σε καθένα από τα επτά επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI* επιτελούνται συγκεκριμένες λειτουργίες από συγκεκριμένες συσκευές (σχήμα 16.1). Για παράδειγμα, ο ρόλος του τρίτου επιπέδου είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε ό,τι αφορά τη διαδικασία μεταγωγής δεδομένων, διότι οι συσκευές του επιπέδου αυτού, όπως είναι οι γέφυρες και οι μεταγωγοί, έχουν τη δυνατότητα να ξεπερνούν τις διαφορετικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τα τοπικά δίκτυα και τα ΔΕΠ.

Ειδικότερα, η μεταγωγή σε ένα ΔΕΠ μπορεί πολύ απλά να περιγραφεί ως η διαδικασία προώθησης μονάδων δεδομένων (πακέτων, κυψελίδων ή πλαισίων) στον προορισμό τους. Κάθε συσκευή μέσα στο δίκτυο που ασχολείται με κάποιο στάδιο της μεταγωγής δεδομένων λειτουργεί βάσει των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς *OSI* στο οποίο ανήκει. Είναι λογικό οι συσκευές που ασχολούνται με τα υψηλότερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς *OSI* να έχουν στη διάθεσή τους (και επομένως να μπορούν να χρησιμοποιήσουν) περισσότερες πληρο-



Οι δικτυακές συσκευές που ασχολούνται με τη διαδικασία της μεταγωγής δεδομένων ταξινομούνται συνήθως με βάση το επίπεδο του μοντέλου αναφοράς *OSI* στο οποίο λειτουργούν.

Σχήμα 16.1: Οι δικτυακές συσκευές και το αντίστοιχο επίπεδο του μοντέλου αναφοράς *OSI* στο οποίο έχουν εφαρμογή.



φορίες από τις συσκευές που ασχολούνται με τα χαμηλότερα επίπεδα. Ωστόσο σε κάθε στάδιο της μεταγωγής πρέπει να υπάρχει η ελάχιστη πληροφόρηση, ώστε οι συσκευές να λειτουργούν προς τη σωστή κατεύθυνση. Μια καλή πληροφόρηση για το φόρτο του δικτύου, για το επίπεδο των υπηρεσιών που απαιτεί κάθε μονάδα δεδομένων, καθώς και για θέματα ασφάλειας θα μπορούσε να βοηθήσει αρκετά τις συσκευές που παίρνουν αποφάσεις μεταγωγής.

### 16.2.2 Διανομείς και επαναλήπτες

Η συσκευή που απλώς αντιγράφει τα δυαδικά ψηφία που καταφθάνουν σ' αυτήν και τα επανεκπέμπει ονομάζεται επαναλήπτης (*repeater*). Ένας επαναλήπτης έχει τη δυνατότητα να αναπαράγει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά συγχρονισμού ενός σήματος. Μπορεί επίσης να μεταδίδει πληροφορίες διαμέσου ανομοιογενών φυσικών μέσων (π.χ. καλώδια συνεστραμμένων ζευγών και οπτικές ίνες). Οι **διανομείς** (*hubs*) μπορεί να θεωρηθούν επαναλήπτες με πολλές εισόδους και εξόδους. Οι χρήστες ενός διανομέα, που πρέπει να είναι όλοι μέλη του ίδιου δικτύου, ανταγωνίζονται μεταξύ τους για το συνολικά διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου. Οι διανομείς και οι επαναλήπτες εκτελούν διαδικασίες μεταγωγής στο επίπεδο 1 του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Και οι δύο συσκευές εξετάστηκαν με λεπτομέρεια στα Μαθήματα 9.2 και 9.3.

### 16.2.3 Γέφυρες

Οι **γέφυρες** (*bridges*) αποτελούν το μηχανισμό προώθησης των πλαισίων, ο οποίος βασίζεται στις φυσικές διευθύνσεις που παρέχονται από το επίπεδο 2 του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Μια γέφυρα παρακολουθεί την κίνηση ενός δικτύου και μαθαίνει τις διευθύνσεις κάθε θύρας. Σύμφωνα με τις διευθύνσεις αυτές, δημιουργεί έναν πίνακα με κανόνες για την ομαλότερη διεξαγωγή της μεταβίβασης των δεδομένων. Ένα σύστημα που αποτελείται από ξεχωριστά αλλά ομοιογενή δίκτυα έχει ανάγκη από γέφυρες προκειμένου να καταστεί δυνατή η επικοινωνία μεταξύ των δικτύων αυτών. Ο ρόλος των γεφυρών και η χρησιμότητά τους εξετάστηκαν λεπτομερώς στο Μάθημα 9.4.

Σημειώνεται ότι σε ένα μεγάλο δίκτυο, το οποίο αποτελείται από άλλα επιμέρους δίκτυα, η χρησιμότητα των γεφυρών είναι πολλαπλή. Ειδικότεροι λόγοι που καθιστούν απαραίτητη τη χρήση τους είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ **Αξιοπιστία.** Η εμφάνιση κάποιου προβλήματος οπουδήποτε μέσα στο δίκτυο είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει την κατάρρευση ολόκληρου του δικτύου. Η χρήση των γεφυρών περιορίζει το πρόβλημα στο επιμέρους δίκτυο.
- ✓ **Διαχείριση, απόδοση και ασφάλεια.** Ένα τεράστιο δίκτυο, με πολλούς σταθμούς εργασίας και πολλούς κόμβους, έχει πολύ πιο δύσκολη διαχείριση και επιτήρηση — ενώ υστερεί και σε απόδοση — σε σύγκριση με τα πολλά, μικρά, αυτόνομα δίκτυα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους. Η χρήση των γεφυρών συντελεί στην ευκολότερη διαχείριση του δικτύου και επομένως στην καλύτερη απόδοσή του.





- ✓ **Μεγάλη γεωγραφική κάλυψη.** Με τη χρήση γεφυρών μπορεί, για παράδειγμα, μια επιχείρηση που έχει επεκταθεί γεωγραφικά να διασυνδέσει όλα τα επιμέρους τοπικά δίκτυά της.

## 16.2.4 Μεταγωγοί

Οι **μεταγωγοί** (*switches*) είναι συσκευές οι οποίες, όπως και οι γέφυρες, εκτελούν τη μεταγωγή των δεδομένων στο επίπεδο 2 του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Οι μεταγωγοί έχουν τη δυνατότητα να συνδέουν μεταξύ τους πολλά επιμέρους τοπικά δίκτυα για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου δικτύου (τοπικού ή και ευρύτερου). Οι μεταγωγοί και οι γέφυρες επιτελούν τις ίδιες λειτουργίες με τη διαφορά ότι οι γέφυρες χρησιμοποιούν λογισμικό για να τις εκτελέσουν, ενώ οι μεταγωγοί χρησιμοποιούν μόνο υλικό. Αυτό σημαίνει ότι οι γέφυρες λαμβάνουν τα υπό προώθηση πλαίσια από το υλικό τους και στη συνέχεια τα προωθούν για έλεγχο από ειδικό λογισμικό, ενώ οι μεταγωγοί έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν τα πλαίσια χωρίς τη χρήση ειδικού λογισμικού. Επομένως οι μεταγωγοί επιτελούν τις ίδιες λειτουργίες με τις γέφυρες αλλά πολύ ταχύτερα (Μαθήματα 9.3 και 9.4).

Οι μεταγωγοί χρησιμοποιούν τεχνικές προσωρινής αποθήκευσης ή απευθείας προώθησης προκειμένου να μεταφέρουν στα επιμέρους δίκτυα τα πλαίσια που διαχειρίζονται. Υπάρχουν αρκετοί τύποι μεταγωγών των οποίων η διαφορά έγκειται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των δικτύων που εξυπηρετούν. Οι βασικότεροι από αυτούς είναι δύο, οι μεταγωγοί *ATM* και οι μεταγωγοί τοπικών δικτύων, οι οποίοι φέρουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ Οι **μεταγωγοί ATM** παρέχουν υπηρεσίες που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και μπορούν να υποστηρίξουν μεταβαλλόμενο εύρος ζώνης. Υποστηρίζουν επίσης εφαρμογές φωνής και βίντεο. Είναι σχεδιασμένοι έτσι, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να μεταδώσουν κυψελίδες (*cells*), οι οποίες χρησιμοποιούνται στα δίκτυα επικοινωνίας *ATM*.
- ✓ Οι **μεταγωγοί τοπικών δικτύων** χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των τοπικών δικτύων. Οι μεταγωγοί αυτοί έχουν τη δυνατότητα να αποτρέπουν τις συγκρούσεις των πακέτων, υποστηρίζοντας πολλές επικοινωνίες ταυτόχρονα. Είναι σχεδιασμένοι έτσι, ώστε να μεταδίδουν πλαίσια πληροφοριών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.



Η μεταγωγή πλαισίου αποτελεί εξέλιξη του προτύπου X.25.



## 16.2.5 Δρομολογητές

Οι **δρομολογητές** (*routers*) είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση του πολύ σημαντικού έργου της προώθησης των πακέτων δεδομένων στον προορισμό τους μέσα από το Διαδίκτυο. Οι δρομολογητές και οι μεταγωγοί διαφέρουν ως προς τη λειτουργία που επιτελούν, αφού οι μεταγωγοί δραστηριοποιούνται στο επίπεδο 2 του μοντέλου αναφοράς *OSI*, ενώ οι δρομολογητές στο επίπεδο 3 του μοντέλου αυτού. Η διαφορά αυτή σημαίνει ότι οι δρομολογητές αναλύουν πακέτα δεδομένων, ενώ οι μεταγωγοί πλαισία.

### 16.2.5.1 Βήματα δρομολόγησης

Οι δρομολογητές είναι επιφορτισμένοι να επιτελούν τις δύο παρακάτω βασικές λειτουργίες:

- ✓ Τον προσδιορισμό του καλύτερου μονοπατιού δρομολόγησης. Αυτό σημαίνει ότι οι δρομολογητές πρέπει να βρουν το καλύτερο, σύμφωνα με κάποια κριτήρια, μονοπάτι από το οποίο θα περάσουν οι μονάδες δεδομένων (πακέτα), έτσι ώστε αυτές να φτάσουν στον προορισμό τους σε όσο το δυνατόν συντομότερο χρόνο.
- ✓ Τη μεταγωγή των δεδομένων προς τον επόμενο από το δρομολογητή κόμβο, ο οποίος περιλαμβάνεται στο μονοπάτι που έχει προσδιοριστεί από το προηγούμενο βήμα.

Από τα βήματα αυτά το πιο σημαντικό είναι το βήμα προσδιορισμού του καλύτερου μονοπατιού. Η διαδικασία του προσδιορισμού αυτού αποτελεί ανοιχτό ερευνητικό πρόβλημα επί σειρά ετών και για την επίλυσή του υπάρχουν σήμερα πολλοί αλγόριθμοι και τεχνικές.

### 16.2.5.2 Πίνακας δρομολόγησης

Μέσα σε ένα ΔΕΠ κάθε δρομολογητής συνδέεται με πολλούς κόμβους, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι συνήθως άλλοι δρομολογητές. Όταν ένας δρομολογητής παραλάβει ένα πακέτο δεδομένων, πρέπει να αποφασίσει πώς θα το διαχειριστεί. Αυτό που κάνει αρχικά είναι να ελέγξει τη διεύθυνση του τελικού προορισμού κάθε πακέτου, η οποία αναγράφεται σε ένα από τα πεδία του. Αφού ο δρομολογητής εξακριβώσει τη διεύθυνση του τελικού προορισμού του πακέτου, πρέπει να αποφασίσει ποιος θα είναι ο επόμενος κόμβος του δικτύου στον οποίο θα σταλεί το πακέτο, ώστε να φτάσει το συντομότερο δυνατόν στον προορισμό του. Την απόφαση αυτή ο δρομολογητής την παίρνει, αφού ενημερωθεί από τον **πίνακα δρομολόγησης**, τον οποίο έχει αποθηκευμένο.

Ο πίνακας δρομολόγησης έχει σε γενικές γραμμές την ακόλουθη μορφή.



Παράδειγμα πίνακα δρομολόγησης

Δίκτυο - προορισμός	Πρώθηση προς
27	Κόμβο Α
57	Κόμβο Β
24	Κόμβο Γ
52	Κόμβο Γ
16	Κόμβο Α
26	Κόμβο Β

Όπως φαίνεται από το παραπάνω παράδειγμα, ο πίνακας δρομολόγησης διαθέτει μια στήλη η οποία περιλαμβάνει όλα τα δίκτυα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν τον τελικό προορισμό ενός πακέτου που καταφθάνει στο δρομολογητή. Μια άλλη στήλη περιλαμβάνει τους κόμβους με τους οποίους συνδέεται ο συγκεκριμένος δρομολογητής και οι οποίοι θα αποτελέσουν τους ενδιάμεσους σταθμούς κατά τη διαδικασία προώθησης του πακέτου στον τελικό προορισμό του.

### 16.2.5.3 Αλγόριθμοι δρομολόγησης

Η διαδικασία δρομολόγησης που αναφέρθηκε παραπάνω είναι σχετικά απλή. Όμως, για να επιτελεστεί άρτια, είναι απολύτως απαραίτητη η ύπαρξη ενός ολοκληρωμένου πίνακα δρομολόγησης. Η δημιουργία ενός πίνακα δρομολόγησης είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής κάποιου αλγορίθμου, δηλαδή ενός συνόλου κανόνων που προκύπτουν από την εξέταση ορισμένων συνθηκών. Σημειώνεται ότι κάθε αλγόριθμος σχεδιάζεται για να εξυπηρετήσει έναν ή περισσότερους, διαφορετικούς κάθε φορά, στόχους. Επομένως, αν οι σχεδιαστές αλγορίθμων έχουν διαφορετικούς στόχους, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που θα προκύψουν θα είναι ασφαλώς διαφορετικοί. Το γεγονός αυτό θα έχει άμεσο αντίκτυπο στη δημιουργία των πινάκων δρομολόγησης (που θα είναι διαφορετικοί) και αυτό, με τη σειρά του, στην όλη διαδικασία της δρομολόγησης που περιγράφηκε παραπάνω. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης ταξινομούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, τη διαφορετική επίδραση που έχουν στη λειτουργία κάθε δικτύου, καθώς και ανάλογα με τη χρήση που κάνουν στους πόρους του δικτύου.

Οι γενικές αρχές που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό ενός αλγορίθμου δρομολόγησης είναι κατά κανόνα οι παρακάτω:

- ✓ βελτιστοποίηση,
- ✓ ευκολία στη χρήση και μείωση της επιβάρυνσης των πόρων του δικτύου,
- ✓ αποδοτικότητα και ευστάθεια,
- ✓ γρήγορη ανανέωση,



Στις μέρες μας οι πιο γνωστοί και ευρύτατα διαθεσιμοί αλγόριθμοι δρομολόγησης (λέγονται και **πρωτόκολλα δρομολόγησης**) είναι ο OSPF (*Open Shortest Path First*) και ο BGP (*Border Gateway Protocol*).



- ✓ προσαρμοστικότητα σε νέες δικτυακές συνθήκες.

Αυτές οι γενικές αρχές τηρούνται θεωρητικά από όλους τους σχεδιαστές αλγορίθμων, όμως κάθε σχεδιαστής δίνει διαφορετική βαρύτητα σε καθεμιά και φυσικά την υλοποιεί με διαφορετικό τρόπο. Συνέπεια αυτού του γεγονότος είναι να υπάρχουν σήμερα αρκετοί αλγόριθμοι δρομολόγησης που προσπαθούν να ικανοποιήσουν τις βασικές αρχές σχεδιασμού τους και πετυχαίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, αν εφαρμοστούν σε ένα δίκτυο.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Διανομέας, επαναλήπτης, γέφυρα, μεταγωγός, μεταγωγός *ATM*, μεταγωγός τοπικών δικτύων, δρομολογητής, πίνακας δρομολόγησης, αλγόριθμος δρομολόγησης.



## Μάθημα 16.3: Διαχείριση δικτύου

### 16.3.1 Εισαγωγή

Η ραγδαία εξέλιξη των δικτύων τα τελευταία χρόνια καθιστά τη συντήρησή τους από ανθρώπινο δυναμικό ασύμφορη και χρονοβόρα. Γι' αυτό σήμερα οι διάφοροι κατασκευαστές έχουν μεριμνήσει, ώστε το σύστημα να φροντίζει μόνο του για την καλή λειτουργία του, πράγμα που είναι πολύ πιο οικονομικό. Έτσι με τον όρο **διαχείριση δικτύου** εννοείται η διαδικασία του αυτόματου ελέγχου ενός οποιουδήποτε δικτύου υπολογιστών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους συντήρησής του και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της παραγωγικότητάς του.

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται ευρύτατα στα δίκτυα υπολογιστών (σχήμα 16.2) είναι της μορφής πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης (*client - server*) και ονομάζεται στην ειδική αυτή περίπτωση **μοντέλο διαχειριστή - αντιπροσώπου** (*manager - agent model*). Αποτελείται από τα διαχειριζόμενα **στοιχεία δικτύου** (*NE: Network Elements*), τα οποία διαχειρίζεται ο **διαχειριστής** (*manager*), τους **αντιπροσώπους** (*agents*) και τη **βάση πληροφοριών διαχείρισης** του δικτύου (*MIB: Management Information Base*).

Ως διαχειριζόμενα στοιχεία δικτύου (*NE*) μπορούν να θεωρηθούν οι σταθμοί εργασίας, οι δρομολογητές, οι γέφυρες, οι επαναλήπτες, οι διαποδιαμορφωτές (*modems*) και άλλες συσκευές τις οποίες μπορούμε να βρούμε σε ένα δίκτυο. Ο διαχειριστής αναλαμβάνει τη διαχείριση του δικτύου μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας, τα οποία μεταφέρουν πληροφορίες διαχείρισης προς και από τα *NE*. Τα πρωτόκολλα αυτά



Σχήμα 16.2: Σύστημα διαχείρισης δικτύου





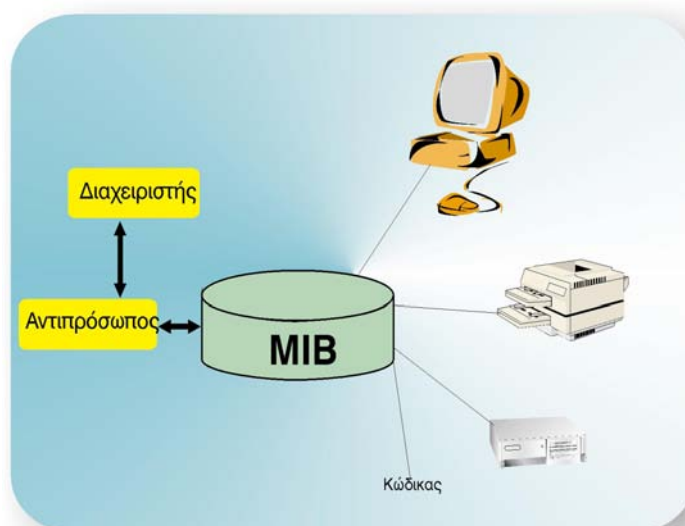
ονομάζονται **πρωτόκολλα διαχείρισης δικτύου** (*NMPs: Network Management Protocols*).

Οι αντιπρόσωποι είναι το λογισμικό που συνήθως εγκαθίσταται στα *NE* και αναλαμβάνουν την αντιπροσώπευσή τους στο δίκτυο. Ενημερώνουν το διαχειριστή σχετικά με την κατάσταση των *NE* και λαμβάνουν από αυτόν κατευθύνσεις για τις ενέργειες που πρέπει να κάνουν τα *NE* που αντιπροσωπεύουν.

Εκτός από τους απλούς αντιπροσώπους, υπάρχουν και οι **πληρεξούσιοι αντιπρόσωποι** (*proxy agents*). Η διαχείριση μέσω πληρεξούσιου αντιπροσώπου εκτελείται, όταν ένα στοιχείο του δικτύου δεν έχει τη δυνατότητα να επικοινωνήσει απευθείας με έναν αντιπρόσωπο. Για παράδειγμα, συσκευές όπως η γέφυρα και ο διαποδιαμορφωτής δεν είναι συνήθως ικανές να υποστηρίξουν πολύπλοκα πρωτόκολλα διαχείρισης. Έτσι, όταν ένα *NE* επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν αντιπρόσωπο - συσκευή που δεν μπορεί να υποστηρίξει κάποιο πρωτόκολλο διαχείρισης, απλώς κατευθύνει την κίνηση προς τον πληρεξούσιο αντιπρόσωπο. Αυτός έχει την ευθύνη να κατανοήσει το πρωτόκολλο διαχείρισης και να επιτελέσει τις λειτουργίες επικοινωνίας με τη διαχειριζόμενη συσκευή.

Η βάση πληροφοριών διαχείρισης (*MIB*) είναι μια βάση δεδομένων την οποία μοιράζονται μεταξύ τους οι διαχειριστές και οι αντιπρόσωποι και παρέχει πληροφορίες σχετικά με τα *NE* (σχήμα 16.3). Τα *NE* εκπροσωπούν, νοητά, τα στοιχεία του δικτύου και βρίσκονται στη *MIB*. Η *MIB* χρησιμοποιείται επίσης στον καθορισμό της δομής και του περιεχομένου της διαχειριζόμενης πληροφορίας. Σχεδιαστικά απεικονίζεται με τη μορφή δέντρου, ενώ τα δεδομένα της παριστάνονται από τα φύλλα του δέντρου.

Ένα σύνθετο σύστημα διαχείρισης μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς διαχειριστές και πολλούς αντιπροσώπους. Ένας διαχειριστής εκτελεί τη διαδικασία διαχείρισης

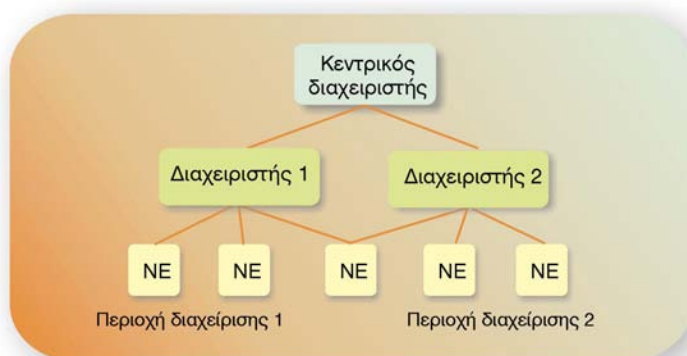


Σχήμα 16.3: Σχέση των επιμέρους μονάδων στη διαχείριση του δικτύου



για τους δικούς του αντιπροσώπους, αλλά μπορεί ταυτόχρονα να αποτελεί αντιπρόσωπο για κάποια άλλη διαδικασία διαχείρισης. Κατ' αυτό τον τρόπο διαχειριστές και αντιπρόσωποι ορίζουν μια μορφή ιεραρχίας από πεδία διαχείρισης, καθένα από τα οποία αποτελεί το πεδίο δράσης ενός συστήματος διαχείρισης (σχήμα 16.4). Τα πεδία αυτά ονομάζονται, σύμφωνα με την ορολογία του μοντέλου αναφοράς *OSI*, **περιοχές διαχείρισης** (*management domains*).

Επειδή σήμερα έχουν επικρατήσει δύο αρχιτεκτονικές δικτύων υπολογιστών, η αρχιτεκτονική *TCP/IP* και η αρχιτεκτονική *OSI*, γίνεται ανάλογη διάκριση και στη διαχείριση δικτύων υπολογιστών, δηλαδή σε διαχείριση δικτύων *TCP/IP* και διαχείριση δικτύων *OSI*.



Σχήμα 16.4: Ιεραρχία διαχειριστικών συστημάτων

### 16.3.2 Πλατφόρμα διαχείρισης δικτύου

Λόγοι κυρίως οικονομικοί αλλά και εξοικονόμησης χώρου, καθώς και η έλλειψη έμπειρων τεχνικών επέβαλαν την ανάγκη διαχείρισης των διάφορων στοιχείων του δικτύου από ένα και μοναδικό σύστημα, το οποίο θα παρουσίαζε τις διασυνδέσεις τους σε ένα δικτυακό χάρτη. Για την κάλυψη της παραπάνω ανάγκης δημιουργήθηκε η **πλατφόρμα διαχείρισης δικτύου** (*network management platform*). Πρόκειται για ένα πακέτο λογισμικού που έχει καθήκον να επιτελεί τις βασικές λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου στα πολλά και διαφορετικά στοιχεία που το απαρτίζουν και τα οποία είναι:

- ✓ Η **γραφική διεπαφή χρήστη** (*GUI: Graphical User Interface*).
- ✓ Ο **δικτυακός χάρτης**, ο οποίος είναι χρησιμότερος σε κάθε περιοχή διαχείρισης του δικτύου. Περιλαμβάνει εργαλεία διαχείρισης βλαβών, που βοηθούν στον εντοπισμό της βλάβης με τη χρωματική παρουσίασή της στο δίκτυο, εργαλεία που εμφανίζουν με γραφική παράσταση τη φυσική και τη νοητή διαμόρφωση του δικτύου, καθώς και εργαλεία παρακολούθησης της απόδοσης του δικτύου, που παρουσιάζουν με χρωματική απεικόνιση την τρέχουσα απόδοση και τη διασύνδεση των συσκευών του δικτύου.

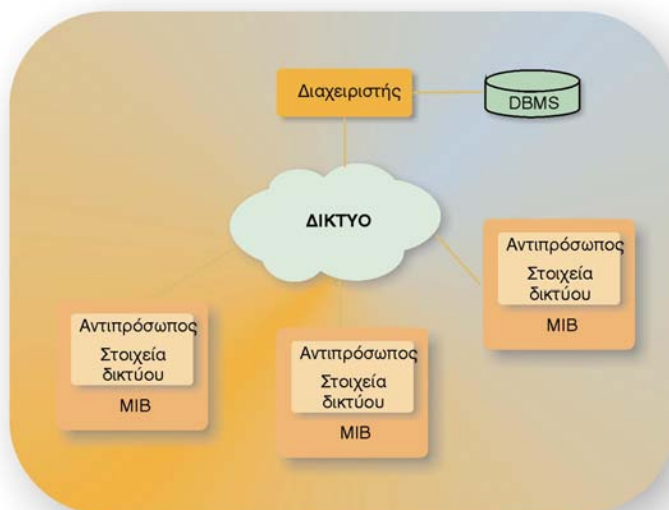


- ✓ Το **προσαρμοζόμενο σύστημα επιλογών**.
- ✓ Το **σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων** (*DBMS: DataBase Management System*), το οποίο μπορούν να χρησιμοποιούν οι εφαρμογές για την αποθήκευση των πληροφοριών.
- ✓ Το **σύστημα πληροφόρησης**, το οποίο είναι μια τυποποιημένη μέθοδος για την άντληση πληροφοριών από τα στοιχεία του δικτύου.
- ✓ Το **ημερολόγιο συμβάντων**.
- ✓ Τα **εργαλεία γραφικών**.
- ✓ Η **διεπαφή προγράμματος εφαρμογής** (*API: Application Programming Interface*), η οποία είναι μια βιβλιοθήκη με συναρτήσεις - προγράμματα που επιτρέπουν την πρόσβαση στις πληροφορίες που υπάρχουν στην πλατφόρμα. Η *API* είναι αναγκαίο να είναι τυποποιημένη για όλες τις πλατφόρμες διαχείρισης του δικτύου και αυτό γιατί, στην περίπτωση που ένας οργανισμός αποφασίσει να αλλάξει πλατφόρμα, τότε θα πρέπει να αλλάξει και κάθε εφαρμογή που επικοινωνεί με την πλατφόρμα.
- ✓ Το **σύστημα ασφάλειας**.

### 16.3.3 Αρχιτεκτονικές διαχείρισης

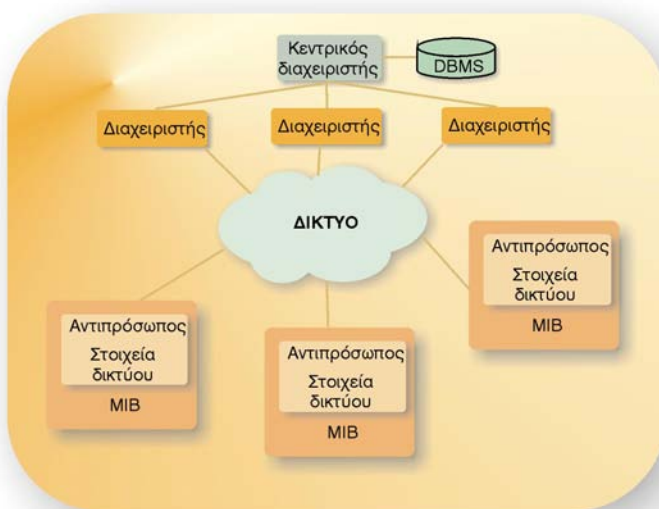
Για να μπορεί μια πλατφόρμα να επιτελεί τις λειτουργίες που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, θα πρέπει να χρησιμοποιεί κάποια αρχιτεκτονική διαχείρισης. Οι αρχιτεκτονικές διαχείρισης που ισχύουν προς το παρόν είναι η **κεντρική** (*centralized*), η **ιεραρχική** (*hierarchical*) και η **κατανεμημένη** (*distributed*).

- ✓ **Κεντρική αρχιτεκτονική.** Είναι η πιο απλή – κλασική πλέον – αρχιτεκτονική. Η πλατφόρμα διαχείρισης του δικτύου βρίσκεται μόνιμα σε ένα σταθμό εργασίας, ο οποίος είναι επιφορτισμένος με όλα τα καθήκοντα διαχείρισης του δικτύου. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι συμβατή με το γνωστό μοντέλο διαχειριστή - αντιπροσώπου (σχήμα 16.5).  
 Η πλατφόρμα διαχείρισης, που είναι ο μόνος κεντρικός διαχειριστής του δικτύου, επιτελεί τις παρακάτω λειτουργίες.
  - Αναλαμβάνει την επικοινωνία με όλα τα διαχειριζόμενα στοιχεία του δικτύου μέσω των αντιπροσώπων και του πρωτοκόλλου διαχείρισης.
  - Διαχειρίζεται την αποθήκευση των πληροφοριών διαχείρισης του δικτύου. Η αποθήκευση των δεδομένων διαχείρισης μπορεί να είναι κεντρική ή για λόγους ασφάλειας κατανεμημένη, αλλά ο έλεγχος –όπως και όλος ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής– είναι καθαρά κεντρικός.
  - Παρέχει μια ενιαία εικόνα του διαχειριζόμενου δικτύου στο διαχειριστή μέσω του κατάλληλου περιβάλλοντος επικοινωνίας με το χρήστη.
- ✓ **Ιεραρχική αρχιτεκτονική.** Η αρχιτεκτονική αυτή χρησιμοποιεί πολλές πλατφόρμες διαχείρισης. Μία από αυτές λειτουργεί σαν κεντρικός σταθμός εξυπηρέτησης του δικτύου, ενώ οι υπόλοιπες λειτουργούν σαν πελάτες. Οι πελά-



Σχήμα 16.5: Κεντρική αρχιτεκτονική διαχείρισης

τες δεν έχουν ξεχωριστό **σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων (DBMS)**, αλλά χρησιμοποιούν το *DBMS* του κεντρικού σταθμού εξυπηρέτησης, ενώ ο συντονισμός των λειτουργιών του γίνεται από το διαχειριστή που βρίσκεται στο υψηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας (σχήμα 16.6).



Σχήμα 16.6: Ιεραρχική αρχιτεκτονική διαχείρισης

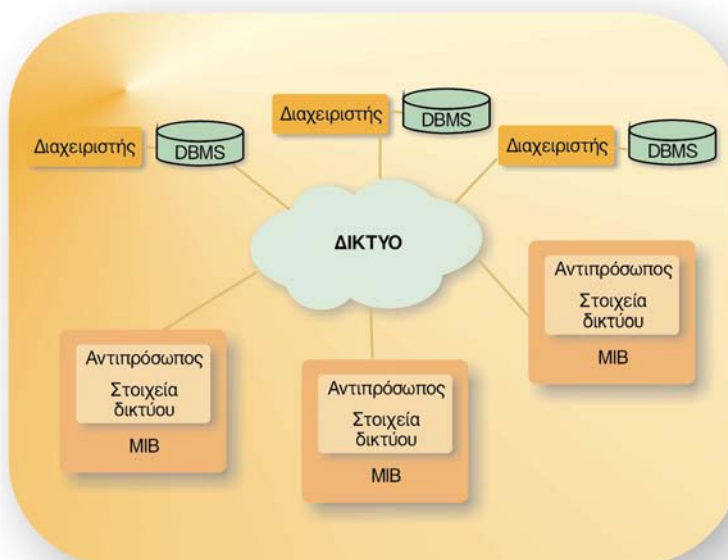


Ορισμένες από τις λειτουργίες του συστήματος επιτελούνται από τον κεντρικό διαχειριστή, ενώ άλλες από τους επιμέρους διαχειριστές. Ο κεντρικός διαχειριστής συγκεντρώνει μόνο τις σημαντικές πληροφορίες, αφήνοντας τις λεπτομέρειες στους διαχειριστές του χαμηλότερου επιπέδου. Η επικοινωνία μεταξύ του κεντρικού και των επιμέρους διαχειριστών γίνεται είτε μέσω των ΝΕ του δικτύου είτε μέσω ανεξάρτητου δικτύου διαχείρισης, ανάλογα με τις απαιτήσεις για αξιοπιστία.

Η ιεραρχική αρχιτεκτονική παρέχει καλύτερο έλεγχο και υψηλότερη απόδοση στη διαχείριση του δικτύου. Επίσης προσφέρεται για ετερογενή δίκτυα, διότι απομονώνει από το επίπεδο του κεντρικού διαχειριστή τα διαφορετικά πρωτόκολλα - διαχειριστές που βρίσκονται χαμηλότερα στην ιεραρχία. Έτσι εξασφαλίζεται ένα ομοιογενές διαχειριστικό περιβάλλον για το ετερογενές δίκτυο και επομένως κοινό περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη.

- ✓ **Κατανεμημένη αρχιτεκτονική.** Η αρχιτεκτονική αυτού του τύπου αποτελεί συνδυασμό της κεντρικής και της ιεραρχικής προσέγγισης (σχήμα 16.7). Δε διαθέτει κεντρική πλατφόρμα διαχείρισης ή μια ιεραρχία από πλατφόρμες της μορφής πελάτης - σταθμός εξυπηρέτησης, αλλά χρησιμοποιεί πολλές ομότιμες πλατφόρμες διαχείρισης, καθεμία από τις οποίες αποτελεί ένα κεντρικό σύστημα. Μία πλατφόρμα είναι επικεφαλής ενός συνόλου από ομότιμα συστήματα διαχείρισης (ιεραρχική αρχιτεκτονική). Κάθε πλατφόρμα μπορεί να έχει μια πλήρη βάση δεδομένων με στοιχεία που αφορούν οποιοδήποτε σημείο του δικτύου.

Η διαχείριση κατανέμεται σε τοπικούς διαχειριστές και ως εκ τούτου έχει λιγό-



Σχήμα 16.7: Κατανεμημένη αρχιτεκτονική διαχείρισης





τερες απαιτήσεις σε υλικό και σε υπολογιστική ισχύ από την κεντρική διαχείριση. Κάθε τοπικός διαχειριστής, απαλλαγμένος από το βάρος της παρακολούθησης ολόκληρου του δικτύου, διαχειρίζεται αρτιότερα τον τομέα της αρμοδιότητάς του, ενώ, όταν χρειαστεί πληροφορίες για περιοχές του δικτύου εκτός της δικής του αρμοδιότητας, τις ζητάει από τον ομότιμό του διαχειριστή.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι



Διαχείριση δικτύου, μοντέλο διαχειριστή - αντιπροσώπου, στοιχεία δικτύου (NE), διαχειριστής, αντιπρόσωπος, βάση πληροφοριών διαχείρισης, πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου, πληρεξούσιος αντιπρόσωπος, πλατφόρμα διαχείρισης δικτύου, γραφική διεπαφή χρήστη, δικτυακός χάρτης, σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων, σύστημα πληροφόρησης, διεπαφή προγράμματος εφαρμογής, κεντρική αρχιτεκτονική, ιεραρχική αρχιτεκτονική, κατανεμημένη αρχιτεκτονική.





## Μάθημα 16.4: Πρωτόκολλα διαχείρισης

### 16.4.1 Εισαγωγή

Τα πρωτόκολλα διαχείρισης των δικτύων ευρείας περιοχής (ΔΕΠ) χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών διαχείρισης μεταξύ του διαχειριστή του δικτύου και των διαχειριζόμενων στοιχείων του δικτύου (NE). Τα πρωτόκολλα αυτά καθορίζουν:

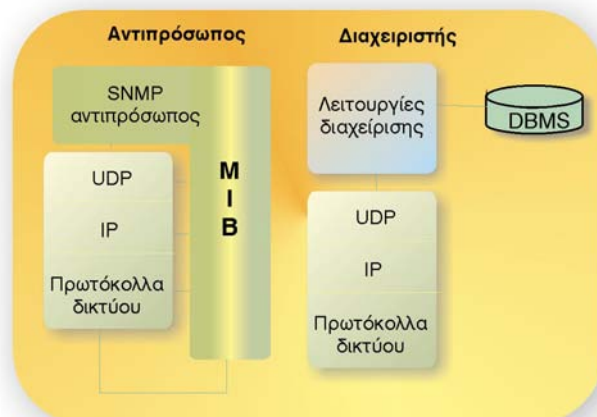
- ✓ τον ακριβή τρόπο επικοινωνίας μεταξύ του διαχειριστή και του αντιπροσώπου,
- ✓ τη μορφή και τη σημασία των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται.

Το **πρωτόκολλο απλής διαχείρισης δικτύου** (SNMP: *Simple Network Management Protocol*) και το **πρωτόκολλο κοινής διαχείρισης πληροφοριών** (CMIP: *Common Management Information Protocol*) είναι τα δύο πιο σημαντικά πρωτόκολλα διαχείρισης. Το πρώτο, μαζί με τη **δομή πληροφοριών διαχείρισης** (SMI: *Structure of Management Information*) και τη βάση πληροφοριών διαχείρισης (MIB), αποτελεί έναν απλό αλλά λειτουργικό τρόπο διαχείρισης των δικτύων TCP/IP. Το δεύτερο, μαζί με την **υπηρεσία κοινής διαχείρισης πληροφοριακών στοιχείων** (CMISE: *Common Management Information Service Element*) και τη γενικότερη αρχιτεκτονική των δικτύων OSI, αποτελεί μια μακροπρόθεσμη λύση στη διαχείριση μεγάλων ετερογενών δικτύων.

### 16.4.2 Διαχείριση TCP/IP - Πρωτόκολλο SNMP

Σύμφωνα με το πρωτόκολλο SNMP, κάθε αντιπρόσωπος (λογισμικό) που είναι ενεργοποιημένος έχει στην κατοχή του ένα σύνολο από μεταβλητές (απεικονίσεις αντικειμένων), όπως διευθύνσεις, τύπους με διάφορα περιβάλλοντα διεπαφής, μετρητές κ.ά., των οποίων οφείλει να γνωρίζει τις τιμές και να τις παρουσιάζει. Οι απεικονίσεις αυτών των αντικειμένων είναι αφαιρετικές παραστάσεις πραγματικών στοιχείων του δικτύου, από τα οποία άλλα έχουν μία απεικόνιση και άλλα περισσότερες (όπως μια σύνδεση TCP), και οργανώνονται, σύμφωνα με το SNMP, σε έναν πίνακα. Το σύνολο των μεταβλητών αυτών αποτελεί τη βάση των πληροφοριών διαχείρισης (MIB). Το πρωτόκολλο SNMP δίνει τη δυνατότητα σε ένα σταθμό διαχείρισης να ελέγχει ή να μεταβάλλει τις μεταβλητές της MIB ενός αντιπροσώπου. Έτσι ο σταθμός διαχείρισης μπορεί να παρακολουθεί την απόδοση ενός δικτύου, να ελέγχει τις παραμέτρους που αφορούν την κατάσταση και τη λειτουργία του, να αναφέρει, να αναλύει και να απομονώνει σφάλματα (σχήμα 16.8).

Κάθε αντιπρόσωπος κρατάει πληροφορίες μόνο για ένα υποσύνολο απεικονίσεων της MIB (MIB view), ανάλογα με τα πρωτόκολλα που υλοποιούνται στο μηχανήμα του (IP, TCP, UDP κ.ά.), ενώ κάθε διαχειριστής διαθέτει διαφορετικό τρόπο πρόσβασης για κάθε απεικόνιση της MIB (ανάγνωση - εγγραφή, μόνο ανάγνωση). Με τους μηχανισμούς αυτούς επιτρέπεται η υλοποίηση κάποιου σχήματος ασφάλειας. Αν η απεικό-



Σχήμα 16.8: Μοντέλο διαχείρισης δικτύων TCP/IP

νιση της *MIB* που κρατάει ο αντιπρόσωπος δεν αφορά το μηχάνημα το οποίο εκτελεί τη διαχείριση αλλά κάποιο άλλο, τότε ο αντιπρόσωπος είναι πληρεξούσιος (*proxy agent*).

Το *SNMP* δίνει στις εφαρμογές διαχείρισης ένα πολύ μικρό σύνολο από πληροφοριακά στοιχεία για τον έλεγχο ή την αλλαγή των τιμών των απεικονίσεων της *MIB* στους διάφορους αντιπροσώπους. Η επικοινωνία μεταξύ διαχειριστών και αντιπροσώπων επιτυγχάνεται με την ανταλλαγή μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου (*PDU*s: *Protocol Data Units*), καθεμία από τις οποίες κωδικοποιείται μέσα σε ένα μοναδικό πακέτο *UPD* (*UDP datagram*) και ανταλλάσσεται μέσω του πρωτοκόλλου *UDP*. Το *SNMP* είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε να εφαρμόζεται ακριβώς επάνω από το *UDP* (σχήμα 16.9).

Το πρωτόκολλο *SNMPv2* (δεύτερη έκδοση) αποτελεί εξέλιξη του πρωτοκόλλου *SNMP* και στοχεύει στην εξάλειψη πολλών μειονεκτημάτων της πρώτης έκδοσης, καθώς και στη διεύρυνση της εφαρμογής του σε δίκτυα βασισμένα τόσο στην ομάδα πρωτο-



Σχήμα 16.9: Μεταφορά μηνυμάτων στο SNMP

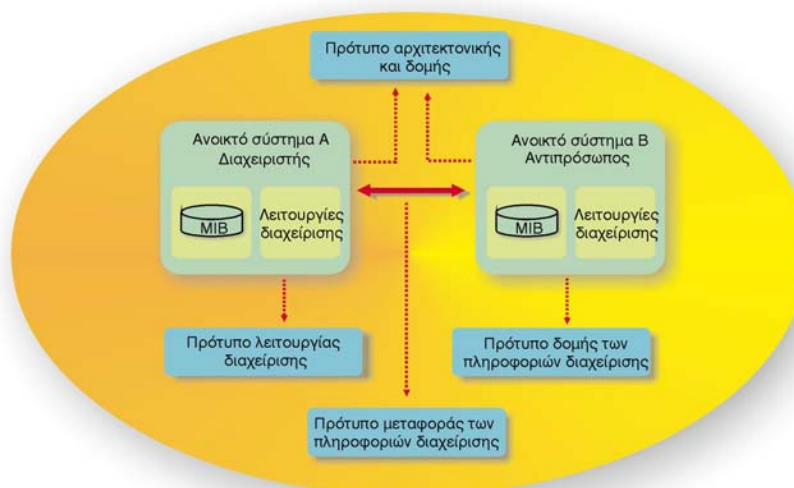


κόλλων *TCP/IP* όσο και σε πρότυπα του μοντέλου αναφοράς *OSI*. Οι βασικές βελτιώσεις και τα πρόσθετα στοιχεία του *SNMPv2* συνοψίζονται στα παρακάτω:

- ✓ βελτιώσεις στη δομή των πληροφοριών διαχείρισης,
- ✓ εισαγωγή νέων λειτουργιών πρωτοκόλλου,
- ✓ νέες *MIB*,
- ✓ μεγαλύτερη ασφάλεια.

### 16.4.3 Διαχείριση OSI - Πρωτόκολλο CMIP

Η διαχείριση ενός δικτύου *OSI* μπορεί να είναι αυτόνομη και να αφορά τη λειτουργία ενός και μοναδικού ανοικτού συστήματος, μπορεί όμως να μην είναι αυτόνομη και να αφορά τη λειτουργία ενός δικτύου μέσω της συνεργασίας ανοικτών συστημάτων.



Σχήμα 16.10: Τα τέσσερα πρότυπα διαχείρισης των δικτύων *OSI*

Το μοντέλο διαχείρισης των δικτύων *OSI* προσδιορίζεται από τέσσερα επιμέρους πρότυπα, καθένα από τα οποία ασχολείται με μια συγκεκριμένη πλευρά του μοντέλου διαχείρισης (σχήμα 16.10). Τα πρότυπα αυτά είναι:

- ✓ Το **πρότυπο αρχιτεκτονικής και δομής**, το οποίο προϋποθέτει μια κατανεμημένη διαχείριση σε ένα δίκτυο μέσω της συνεργασίας ανοικτών συστημάτων. Αποδίδει στα *NE* ενός συστήματος διαχείρισης τους ρόλους του διαχειριστή και του αντιπροσώπου με την προϋπόθεση ότι το σύστημα μπορεί να αναλάβει τις αρμοδιότητες αυτών των ρόλων.
- ✓ Το **πρότυπο δομής των πληροφοριών διαχείρισης**, το οποίο χρησιμοποιεί προσανατολισμένες στο αντικείμενο (αντικειμενοστρεφείς) μεθόδους (*object-*



*oriented methods*) για την αφηρημένη απεικόνιση των *NE* που έχουν σχέση με τη διαχείριση, με αποτέλεσμα να προκύπτουν αρκετές πληροφορίες για τη δομή της *MIB*.

- ✓ Το **πρότυπο λειτουργίας διαχείρισης**, το οποίο διαιρεί όλο το πλέγμα της διαχείρισης σε πέντε λειτουργικές περιοχές: **διάρθρωσης** (*configuration*), **βλάβης** (*fault*), **απόδοσης** (*performance*), **λογιστικής διαχείρισης** (*accounting*) και **ασφάλειας** (*security*).
- ✓ Το **πρότυπο μεταφοράς των πληροφοριών διαχείρισης**, το οποίο βασίζεται στην αρχιτεκτονική του μοντέλου αναφοράς *OSI* και καθορίζει την ανταλλαγή των πληροφοριών διαχείρισης μεταξύ των εφαρμογών διαχείρισης του επιπέδου εφαρμογής. Το σύνολο των σχετικών λειτουργιών περιγράφεται από την υπηρεσία κοινής διαχείρισης πληροφοριακών στοιχείων (*CMISE*), η οποία καθορίζεται από δύο πρότυπα. Το ένα είναι το **πρότυπο κοινής διαχείρισης των υπηρεσιών πληροφοριών** (*CMIS: Common Management Information Service*), το οποίο καθορίζει τις υπηρεσίες που προσφέρονται στο χρήστη της *CMISE*, ενώ το άλλο είναι το πρότυπο *CMIP*, το οποίο αφορά τη μεταφορά των πληροφοριών διαχείρισης, δηλαδή τη μορφή των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου, και τις σχετικές μ' αυτή λειτουργίες.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πρωτόκολλο απλής διαχείρισης δικτύου (*SNMP*), πρωτόκολλο κοινής διαχείρισης πληροφοριών (*CMIP*), δομή πληροφοριών διαχείρισης (*SMI*), υπηρεσία κοινής διαχείρισης πληροφοριακών στοιχείων (*SMISE*), πρότυπο αρχιτεκτονικής και δομής, πρότυπο δομής των πληροφοριών διαχείρισης, πρότυπο λειτουργίας διαχείρισης, πρότυπο μεταφοράς των πληροφοριών διαχείρισης, πρότυπο κοινής διαχείρισης των υπηρεσιών πληροφορόρησης.

