



## Κεφάλαιο

# 1

COPY

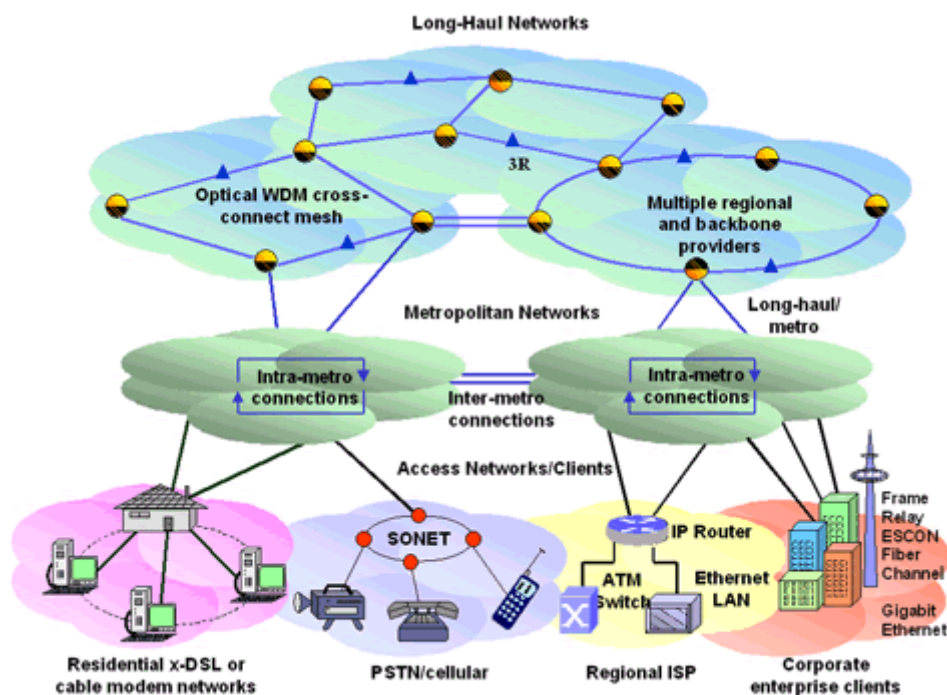
### 1. Εισαγωγή

Στην εισαγωγή της πτυχιακής εργασίας με θέμα *Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος - Εφαρμογές σε Μητροπολιτικά Δίκτυα* θα αναφερθούμε στα επιμέρους τμήματα του παγκόσμιου δικτύου (*Long-Haul, Metropolitan Area, Access Networks*) καθώς και στους λόγους που οδήγησαν στην ανάπτυξη της τεχνολογίας *Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplexing - WDM)*.



## 1.1 Ιεραρχία του Παγκόσμιου Δικτύου [2], [6]

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα *Μητροπολιτικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks - MAN)* επεκτείνονται στην περιοχή ανάμεσα στα *Δίκτυα Κορμού (Long-Haul)* και στα *Δίκτυα Πρόσβασης (Access Networks)* (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1:  
Ιεραρχία του Παγκόσμιου Δικτύου

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των *Μητροπολιτικών Δικτύων* κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε σε άλλες δύο κατηγορίες τα *Δίκτυα Κορμού* και τα *Δίκτυα Πρόσβασης*.

Τα *Δίκτυα Κορμού* είναι συνώνυμα των *Δικτύων Ευρείας Περιοχής (Wide Area Networks - WAN)* και αποτελούν τον κορμό του παγκόσμιου δικτύου. Είναι διασκορπισμένα γεωγραφικά δίκτυα, που βασίζονται σε υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας για τη σύνδεση των διαφόρων τμημάτων τους. Την επικοινωνία αυτή επιτυγχάνουν με χρήση προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών και κυρίως στις τεχνολογίες *SONET (Synchronous Optical Network)* και *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)*. [Αναλυτική περιγραφή των τεχνολογιών στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο - Εισαγωγή στην Τεχνολογία WDM].

Από την άλλη μεριά βρίσκονται τα *Δίκτυα Πρόσβασης* τα οποία αποτελούν και το ακραίο τμήμα των δικτύων προς τον τελικό χρήστη. Χαρακτηρίζονται κυρίως από ποικιλία πρωτοκόλλων και υλοποιήσεων και παρέχουν στους χρήστες τους μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ταχύτητα και το εύρος ζώνης. Οι πελάτες τους είναι κυρίως χρήστες του Internet και μεγάλες εταιρίες ή ιδρύματα.

Ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες δικτύων βρίσκονται τα *Μητροπολιτικά Δίκτυα (Metropolitan Area Networks - MAN)*. Καλύπτουν κυρίως τις περιοχές μιας ολόκληρης πόλης (π.χ. Μητροπολιτικό Δίκτυο της Αθήνας είναι το ΕΔΕΤ2) και συνδέουν επιχειρήσεις, γραφεία, εκπαιδευτικά και επιστημονικά ιδρύματα. Τα *Μητροπολιτικά Δίκτυα* εμφανίζουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα δίκτυα πρόσβασης ως προς τα διαφορετικά πρωτόκολλα και

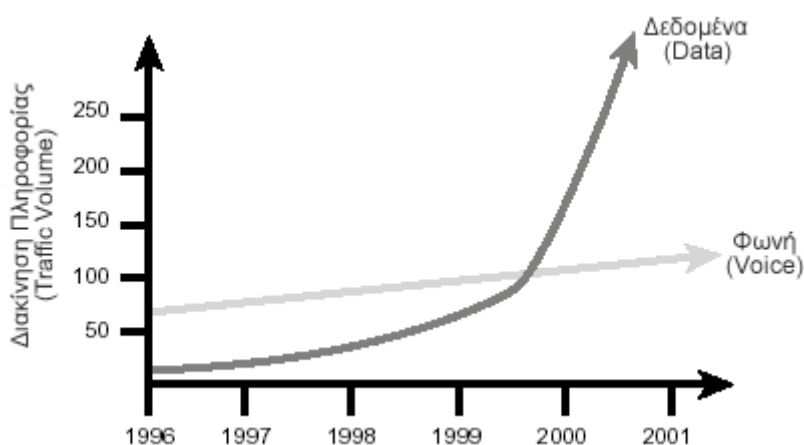


διαφορετικές ταχύτητες. Επίσης τα δίκτυα αυτά έχουν βασιστεί κυρίως στις τεχνολογίες *SONET* (*Synchronous Optical Network*) και *SDH* (*Synchronous Digital Hierarchy*), και χρησιμοποιούν αρχιτεκτονικές (τοπολογίες) *point-to-point* (σημείο-σημειοακό), *ring* (δακτυλίου) με χρήση *Πολυπλεκτών Προσθαφαίρεσης* (*Add/Drop Multiplexers - ADMs*). Τα *Μητροπολιτικά Δίκτυα* βρίσκονται σε μία κρίσιμη στιγμή. Από την μία πρέπει να ικανοποιούν τις ανάγκες που δημιουργούνται από τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης στα *Δίκτυα Κορμού* και από την άλλη πρέπει να ικανοποιούν τις αυξανόμενες απαιτήσεις συνδέσεων και τεχνολογιών πρόσβασης μεγάλων ταχυτήτων.

Τα *Μητροπολιτικά Δίκτυα* πρέπει να υποστηρίζουν περισσότερους τύπους υπηρεσιών σε σχέση με τα *Δίκτυα Κορμού*. Έτσι εκτός από την παραδοσιακή μετάδοση φωνής και των μισθωμένων υπηρεσιών, υποστηρίζουν τη διασύνδεση χώρων αποθήκευσης δεδομένων (*data storage*), κατανεμημένες εφαρμογές (*distributed applications*) και μετάδοση *video*. Βασικά πλεονεκτήματα των *Μητροπολιτικών δικτύων* είναι η *διαφάνεια πρωτοκόλλων και ταχύτητας* (*protocol and speed transparency*), η *δυνατότητα για κλιμάκωση μεγέθους* (*scalability*), και η *δυναμική τροφοδότηση* (*dynamic provisioning*).

## 1.2 Απαιτήσεις σε Εύρος Ζώνης [8]

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στον τομέα των δικτύων τα τελευταία χρόνια είναι η ραγδαία αύξηση των απαιτήσεων σε *εύρος ζώνης* (*bandwidth*) τόσο στα εσωτερικά δίκτυα των επιχειρήσεων όσο και στα δίκτυα των *ISPs*.



Σχήμα 1.2:  
Απαιτήσεις σε Εύρος Ζώνης [2]

Η εποχή κατά την οποία το Internet ήταν μια καθαρά ακαδημαϊκή υπόθεση, και αυτό που κυρίως προσέφερε στους χρήστες του ήταν η ανταλλαγή γραπτών μηνυμάτων (*e-mails*) ανάμεσα σε επιστήμονες για θέματα του ενδιαφέροντός τους, έχει περάσει οριστικά και αμετάκλητα. Μέλη του Internet είναι πλέον από απλοί χρήστες, που αναζητούν σε αυτό νέους τρόπους ψυχαγωγίας, ενημέρωσης αλλά και διεκπεραίωσης των καθημερινών εργασιών τους, μέχρι μεγάλες επιχειρήσεις, που έχουν ως κύριο αντικείμενό τους την παροχή υπηρεσιών μέσω του Διαδικτύου.

Το πλήθος των ανθρώπων που έρχονται σε επαφή με το νέο μέσο συνεχώς αυξάνεται. Αυτή είναι μόνο η μία συνιστώσα της εξάπλωσης του Internet, η ποσοτική. Υπάρχει, όμως και η ποιοτική συνιστώσα, η οποία υποδηλώνει τη μεγάλη αλλαγή και τον εμπλουτισμό των



υπηρεσιών που παρέχει το Internet στους χρήστες. Δηλαδή, οι μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης προήλθαν όχι μόνο από τη συνεχή αύξηση του αριθμού των χρηστών του Internet αλλά και από τις αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτυακών εφαρμογών, οι οποίες αλλάζουν την συμπεριφορά των χρηστών, καθιστώντας τους ολοένα και πιο απαιτητικούς. Παράλληλα, το κόστος για τη μετάδοση αυτού του συνεχώς αυξανόμενου όγκου δεδομένων πρέπει να διατηρείται σε λογικά επίπεδα και η προσφορά του απαιτούμενου εύρους ζώνης να μπορεί να ικανοποιηθεί μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Από πολύ νωρίς η πλειοψηφία των εταιρειών που δραστηριοποιούνται (με τον ένα ή τον άλλο τρόπο) στην παροχή εύρους ζώνης είχαν δύο δυνατότητες: Εγκατάσταση νέων οπτικών ινών ή αύξηση του εύρους ζώνης εγκατεστημένων ινών. Υπολογίζεται ότι η εγκατάσταση μιας νέας οπτικής ίνας φτάνει τα 45.000 € το χιλιόμετρο, κόστος που οφείλεται κυρίως σε δομικά έργα παρά στην ίδια την οπτική ίνα. Επομένως είναι πιο οικονομική η αύξηση του εύρους ζώνης της υπάρχουσας οπτικής ίνας με την αύξηση του αριθμού μηκών κύματος. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση της τεχνολογίας WDM.[2]

Η Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (*Wavelength Division Multiplexing - WDM*) είναι μία νέα τεχνική πολυπλεξίας η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη (δια μέσου του ίδιου ζεύγους οπτικών ινών) μετάδοση πολλών ψηφιακών (TDM) σημάτων (π.χ. 16 ή 32), μέσω της εκχώρησης σε καθένα από αυτά, μιας ιδιαίτερης περιοχής μήκους κύματος. [1] [Αναλυτική περιγραφή της τεχνολογίας WDM γίνεται στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο - Εισαγωγή στην Τεχνολογία WDM].

COPY



## Κεφάλαιο

# 2

COPY

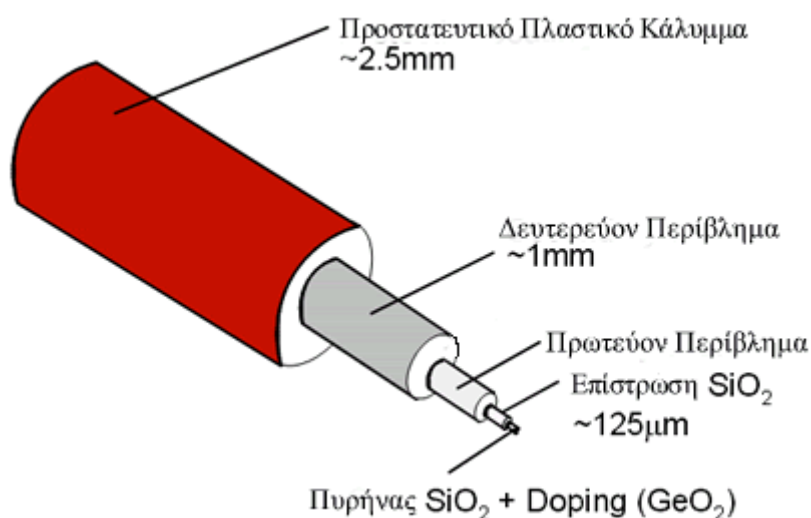
## 2. Οπτικές Ίνες

Η καλύτερη εναλλακτική λύση σήμερα στα ενσύρματα μέσα μετάδοσης εμφανίζεται να είναι η οπτική ίνα, μια λύση με αρκετά πλεονεκτήματα που κερδίζει έδαφος συνεχώς τα τελευταία χρόνια. Σαν μέσο, η οπτική ίνα, εξαναγκάζει την τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών να μεταπηδήσει από τον κόσμο των ηλεκτρονίων στον κόσμο των φωτονίων. Γεγονός είναι, ότι οι οπτικές ίνες, ενώ πριν είκοσι χρόνια ήταν γνωστές μόνο σε ειδικούς, σήμερα είναι ένα εν χρήσει μέσο μετάδοσης πληροφορίας το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και από ιδιώτες. Η εισβολή των οπτικών ινών στις ενσύρματες επικοινωνίες, αλλά και στην καθημερινή μας ζωή είναι κάτι που γίνεται με άλματα και η ετήσια αύξηση είναι της τάξης του 40%.



## 2.1 Δομή Οπτικών Ίνών

Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από πολύ λεπτές υαλώδεις ίνες, και διαθέτουν ικανότητα εκπομπής ίση με τα  $2/3$  της ταχύτητας του φωτός στο κενό. Το σήμα μεταφέρεται μέσα από τον πυρήνα-κεντρική ίνα (core), υπό τη μορφή παλμών φωτός. Ο πυρήνας περιβάλλεται από την επίστρωση (cladding). Την επίστρωση περιβάλλει πλαστικός μανδύας γνωστός ως περίβλημα και δέσμη συνθετικών ινών, οι οποίες έχουν στόχο την προστασία της ίνας κατά την εγκατάσταση, όπου είναι επικίνδυνο να σπάσει το γυαλί. Όλα τα παραπάνω περικλείονται σε εξωτερικό πλαστικό μανδύα όμοιο με αυτό των καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών. (Σχήμα 2.1)



**Σχήμα 2.1:**  
Δομή Οπτικής Ίνας [3]



### Σημείωση

Η βασική χημική αντίδραση από την οποία παράγεται το οπτικό γυαλί είναι:

$\text{SiCl}_4 \text{ (gas)} + \text{O}_2 \text{ (SiO}_2 \text{ (solid))} + 2\text{C}_{12}$  (Υψηλή θερμοκρασία)

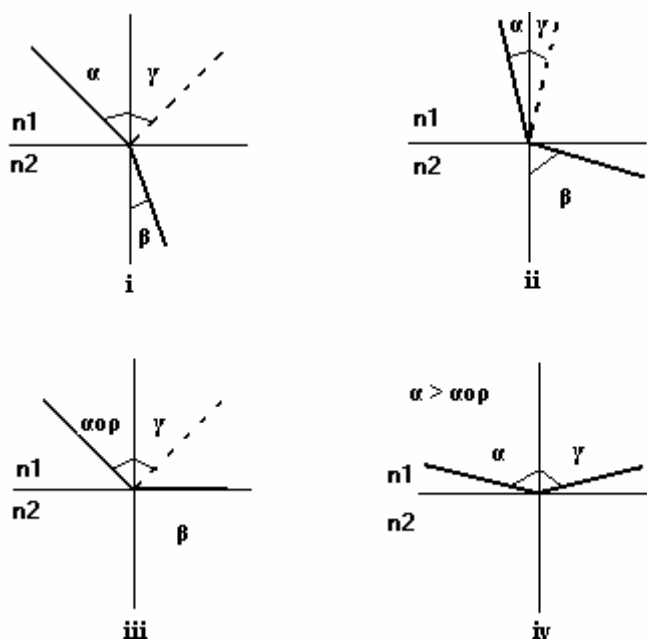
$\text{GeCl}_4 \text{ (gas)} + \text{O}_2 \text{ (GeO}_2 \text{ (solid))} + 2\text{C}_{12}$  (Υψηλή θερμοκρασία) στον πυρήνα

Υπάρχουν οπτικές ίνες, οι οποίες κατασκευάζονται από πλαστικό. Προς το παρόν δεν είναι μέσα στις προδιαγραφές, που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα. Οφείλουμε, όμως, να σημειώσουμε, ότι καταβάλλονται προσπάθειες για να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά τους και ειδικά η πολύτροπη, graded index πλαστική ίνα ενδέχεται να αποτελέσει αξιόπιστο μέσο μετάδοσης εφάμιλλο της γυάλινης ίνας. Μεγάλη εξασθένιση και ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές. [9]



## 2.2 Βασική Αρχή Λειτουργίας [4]

Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η διεύθυνση μετάδοσης της ενέργειας του φωτός, με άλλα λόγια των φωτονίων, είναι πάντα ευθύγραμμη, εφόσον δεν παρεμβάλλονται εμπόδια και αποτελεί μία ακτίνα φωτός. Πολλές ακτίνες συγκροτούν μια δέσμη φωτός. Για τα κύματα του φωτός, ισχύουν τα φαινόμενα της ανάκλασης και της διάθλασης, όταν αυτά προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων. Το σχήμα 2.2i δείχνει τρεις ακτίνες φωτός: προσπίπτουσα, ανακλώμενη, διαθλώμενη. Οι τρεις αυτές ακτίνες βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και ισχύουν τα εξής:



**Σχήμα 2.2:**

Ανάκλαση και διάθλαση φωτεινής δέσμης  
Νόμος του Snell, Αρχή της Ολικής Ανάκλασης

- i. Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης:  $\alpha = \gamma$ . (Νόμος Ανάκλασης)
- ii.  $\frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\beta} = \frac{n_2}{n_1}$  (2.1) όπου  $n_1, n_2$  οι δείκτες διάθλασης των δύο φωτοδιαπερατών μέσων 1 και 2. (Νόμος Διάθλασης)
- iii.  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$  (2.2) όπου  $c_1, c_2$  οι ταχύτητες του φωτός στο 1 και 2.

Συνήθως, έχουμε και τα δύο φαινόμενα μαζί, με αποτέλεσμα η προσπίπτουσα δέσμη φωτός μερικά να ανακλάται και μερικά να διαθλάται. Από το νόμο του Snell, που εκφράζεται από τη σχέση (2.1), μπορούμε να δούμε ότι για  $n_1 > n_2 \rightarrow \beta > \alpha$ . Αυξάνοντας κατάλληλα τη γωνία πρόσπτωσης ( $\alpha$ ), μπορούμε να πετύχουμε ώστε  $\beta = 90^\circ$ , και το διαθλωμένο τμήμα της δέσμης να είναι παράλληλο με την διαχωριστική επιφάνεια των δύο μέσων. Για γωνίες



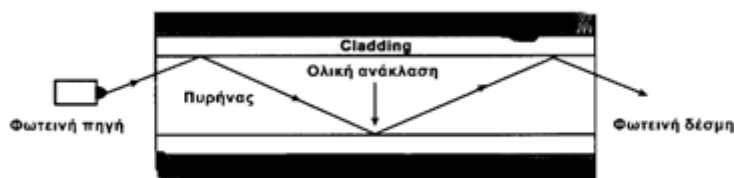
πρόσπτωσης μεγαλύτερες από την προηγούμενη, έχουμε το φαινόμενο της *ολικής ανάκλασης*, όπου η φωτεινή δέσμη ανακλάται εξ ολοκλήρου και δεν υπάρχει διαθλωμένη ακτίνα.

Τα παραπάνω φαίνονται στα σχήματα 2.2.ii,iii,iv. Η «κρίσιμη γωνία» ( $\alpha_{op}$ ) που σημειώνεται στο σχήμα 2.2.iii βρίσκεται από το νόμο του Snell ότι είναι:

$$\alpha_{op} = \text{τοξημ}(n_2 / n_1) \quad (2.3)$$

Η ολική ανάκλαση είναι εύκολο να γίνει αντιληπτή και αποτελεί τη βασική αρχή, πάνω στην οποία βασίζεται η κυματοδότηση ακτίνων διαμέσου οπτικών ινών.

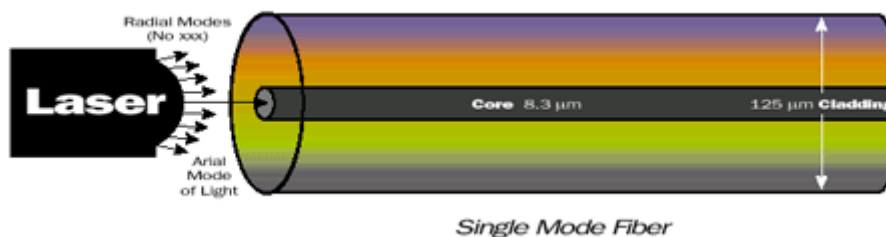
Η φωτεινή δέσμη που μεταφέρει την πληροφορία, μεταδίδεται μέσω του πυρήνα της οπτικής ίνας (core). Η φωτεινή δέσμη οδεύει με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας προς το άλλο άκρο. Η επιτυχία της μετάδοσης αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι το σήμα υφίσταται ολικές ανακλάσεις με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη στην οπτική ίνα. Βασική προϋπόθεση για να συμβεί η ολική ανάκλαση (όπως αναφέραμε και πιο πάνω) είναι αφ' ενός ο δείκτης διάθλασης του εξωτερικού υλικού να είναι μικρότερος του εσωτερικού, αφ' ετέρου η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας να είναι μεγαλύτερη από την «κρίσιμη γωνία». Στο σχήμα 2.3 φαίνεται η βασική λειτουργία της μεθόδου διάδοσης σε οπτικές ίνες. Στην περίπτωση των οπτικών ινών η επίστρωση (cladding) είναι με υλικό που έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από αυτόν του πυρήνα. Ο άλλος στόχος που είναι η πρόσπτωση των ακτίνων με γωνία μεγαλύτερη της ορικής επιτυγχάνεται με τη χρήση ινών πολύ μικρού *αριθμητικού ανοίγματος* (Numerical Aperture). [5] Το αριθμητικό άνοιγμα δίνεται από τη σχέση  $NA = \sin \theta_A$  και παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Καθορίζει την ισχύ του φωτός που συλλέγεται στην οπτική ίνα.



Σχήμα 2.3:  
Μετάδοση σε Πολύτροπη Οπτική Ίνα [5]

## 2.3 Μονότροπες Οπτικές Ίνες

Οι *μονότροπες οπτικές ίνες* (single-mode fiber) διαθέτουν πολύ μικρότερο πυρήνα και επιτρέπουν μόνο ευθύγραμμη μετάδοση του φωτεινού σήματος.



Σχήμα 2.4:  
Μετάδοση σε Μονότροπη Οπτική Ίνα [10]





Περιλαμβάνουν ένα μικροσκοπικό πυρήνα με διάμετρο 8 ως 9 microns, με περίβλημα μικρότερου δείκτη διάθλασης. Το σύνολο να έχει διάμετρο γύρω στα 125  $\mu\text{m}$ . Οι μονότροπες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση οπτικών σημάτων με χρήση πηγών laser στα 1310 nm και 1510 nm. Ως αποτέλεσμα, η πιστότητα του σήματος διατηρείται για πολύ μεγαλύτερη απόσταση και το φαινόμενο της διασποράς περιορίζεται σημαντικά. Οι προαναφερθέντες παράγοντες συντελούν αφενός στο μεγαλύτερο εύρος ζώνης για την κατηγορία αυτή των ινών και αφετέρου στη χαμηλότερη εξασθένιση του σήματος κατά τη μετάδοση. Έτσι, οι μονότροπες ίνες προτιμώνται τόσο για μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις όσο και για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τρία βασικά είδη της μονότροπης οπτικής ίνας όπως αυτά εξελίχθηκαν με διαφοροποίηση ως προς τα χαρακτηριστικά διασποράς (dispersion) σε χρονολογική σειρά:

| Είδος Μονότροπης Οπτικής Ίνας                                                                 | Χαρακτηριστικά                                                                                                                                | ITU-T          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <i>Standard Single-mode Fiber (SMF)</i><br>Τυπική Μονότροπη Οπτική Ίνα                        | Σχεδιάστηκε για να εξασφαλίζει μηδενική διασπορά (zero dispersion) στα 1310nm και να υποστηρίζει long-haul μετάδοση                           | G.652<br>G.654 |
| <i>Dispersion-Shifted Fiber (DSF)</i><br>Ίνα Μετατοπισμένης Διασποράς                         | Σχεδιάστηκε για να εξασφαλίζει μηδενική διασπορά (zero dispersion) στα 1550nm                                                                 | G.653          |
| <i>Non-zero Dispersion-Shifted Fiber (NZDSF)</i><br>Ίνα μη μηδενικής Μετατοπισμένης Διασποράς | Σχεδιάστηκε για να εξασφαλίζει χαμηλή διασπορά (small dispersion) στα 1550nm με σκοπό να περιορίσει τα μη γραμμικά φαινόμενα σε WDM συστήματα | G.655          |

**Πίνακας 2.1:**  
Είδη Μονότροπων Οπτικών Ινών [3]

| Συστάσεις της ITU-T για Οπτικές Ίνες | Χαρακτηριστικά                                                                                                                           |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G.652 (standard type)                | ~ 17 ps/nm/km χρωματική διασπορά στο 3 <sup>ο</sup> παράθυρο<br>Κοινή χρήση                                                              |
| G.653 (dispersion shifted)           | ~ 0 ps/nm/km χρωματική διασπορά στο 3 <sup>ο</sup> παράθυρο<br>Εμφαση στο μη-γραμμικό φαινόμενο της τετρακυματικής μίξης (4-Wave Mixing) |
| G.655 (non-zero dispersion shifted)  | ~ 4 ps/nm/km διασπορά<br>Αποφυγή του μη-γραμμικού φαινομένου της τετρακυματικής μίξης (4-Wave Mixing)<br>Υψηλότερο Κόστος                |

**Πίνακας 2.2:**  
Συστάσεις ITU-T για Οπτικές Ίνες [3]

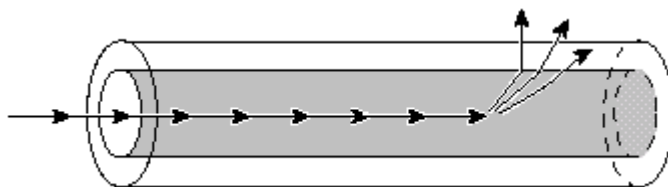


## 2.4 Χαρακτηριστικά Μετάδοσης Οπτικών Ινών

Τα μεταδόμενα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών περιλαμβάνουν φαινόμενα όπως η εξασθένιση του σήματος (attenuation) καθώς αυτό μεταφέρεται, η διασπορά (dispersion, και ειδικότερα η χρωματική διασπορά-chromatic dispersion) και η μη-γραμμικότητα (nonlinearity) λόγω της αλληλεπίδρασης της οπτικής ισχύος του σήματος με το υλικό της ίνας.

### 2.4.1 Εξασθένιση (Attenuation) [4]

Είναι, απαραίτητο να ξέρουμε τις απώλειες που εισάγει μια οπτική ίνα, αφού, μόνο έτσι μπορούμε να καθορίσουμε τη μέγιστη εμβέλεια μιας ζεύξης χωρίς χρήση επαναληπτή. Η εξασθένιση, οφείλεται κυρίως στην απορρόφηση της φωτεινής ενέργειας λόγω μετατροπής της σε θερμότητα και λόγω σκέδασης. Έχουν κατασκευασθεί ίνες που η εξασθένιση που παρουσιάζουν πλησιάζει το όριο σκέδασης Rayleigh (Rayleigh Scattering), που οφείλεται στις μοριακές ανομοιογένειες του γυαλιού (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5:  
Σκέδαση Rayleigh [2]

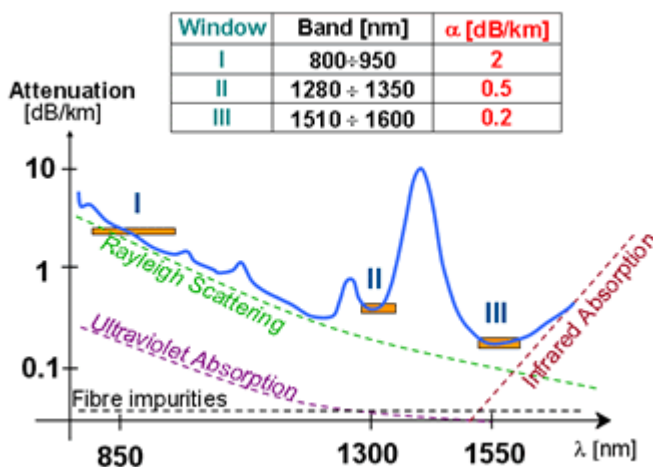


#### Σημείωση

Σκέδαση Rayleigh (Rayleigh Scattering)

Η πιο κοινή μορφή σκέδασης, η σκέδαση Rayleigh, προκαλείται από τις μικρές παραλλαγές στην πυκνότητα του γυαλιού καθώς αυτό δροσίζει. Αυτές οι παραλλαγές είναι μικρότερες από τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος και επομένως ενεργούν σαν διασκορπισμένα αντικείμενα. [2]

Στο σχήμα 2.6 φαίνεται η εξασθένιση που παρουσιάζει μια οπτική ίνα συναρτήσει του μήκους κύματος.



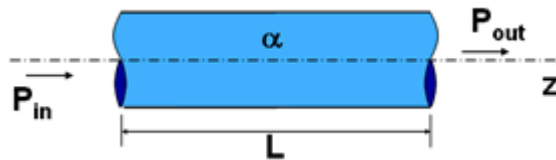
Σχήμα 2.6:  
Καμπύλη Εξασθένισης [3]



Στο μήκος κύματος 850nm, όπου και χρησιμοποιούνται φωτοδιόδοι AlGaAs, το όριο Rayleigh είναι περίπου 2dB/km. Αυτό μειώνεται στα 0,2dB/km στα 1550nm.

Η εξασθένιση μιας περιοχής της οπτικής ίνας μπορεί εύκολα να εκφραστεί από την εκθετική συνάρτηση

$$P_{out} = P_{in} e^{-\alpha L} \quad (2.4) [3]$$



**Σχήμα 2.7:**

Σχηματική περιγραφή εκθετικής συνάρτησης [3]

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| $\alpha$         | σταθερά εξασθένισης  |
| $L$              | μήκος της ίνας       |
| $P_{in}/P_{out}$ | ισχύς εισόδου/εξόδου |

**Πίνακας 2.3:**

Επεξήγηση στοιχείων εκθετικής συνάρτησης [3]

Η σταθερά εξασθένισης  $\alpha$  συνήθως δίνεται σε dB/km

$$\alpha_{dB} = -10 \log_{10} \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad (2.5) [3]$$

Η σχέση μεταξύ του  $\alpha$  και του  $\alpha_{dB}$  είναι

$$\alpha_{dB} = \alpha \cdot 10 \log_{10} e \approx 4,343 \cdot \alpha \quad (2.6) [3]$$

Εκτός από τη σκέδαση Rayleigh, οι ξένες προσμίξεις που υπάρχουν στο υλικό της ίνας, συμμετέχουν στο φαινόμενο της εξασθένισης. Τέτοιες προσμίξεις είναι ιόντα Cr<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> και κυρίως OH<sup>-</sup>. Το τελευταίο, δημιουργεί έντονες ζώνες απορρόφησης στα 950nm και 1400nm και για την αντιμετώπιση του προβλήματος έχουν αναπτυχθεί προχωρημένες μέθοδοι και τεχνικές ξήρανσης.

Ένας ακόμη παράγοντας υπεύθυνος για την εξασθένιση του οπτικού σήματος είναι οι αναπόφευκτες κάμψεις του οπτικού καλωδίου που εμφανίζονται σε μια πρακτική ζεύξη. Το φαινόμενο γίνεται ιδιαίτερα αισθητό όταν η ακτίνα κάμψης είναι μικρότερη από 3cm, είναι δε σημαντικότερο στα μεγαλύτερα μήκη κύματος.

## 2.4.2 Διασπορά (Dispersion) [1], [2]

Διασπορά εμφανίζεται σε φωτεινούς παλμούς καθώς αυτοί ταξιδεύουν μέσα στην οπτική ίνα και οδηγεί στη παραμόρφωση του σήματος (Σχήμα 2.8), και περιορισμού του εύρους ζώνης. Υπάρχουν δύο τύποι διασποράς που επηρεάζουν τις μονότροπες οπτικές ίνες,



η χρωματική διασπορά (chromatic dispersion) και η διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarisation Mode Dispersion – PMD).



Σχήμα 2.8:  
Αρχή της Διασποράς [3]

### 2.4.2.1 Χρωματική Διασπορά [2]

Η χρωματική διασπορά (chromatic dispersion) οφείλεται στο γεγονός ότι τα διαφορετικά μήκη κύματος διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες. Το φαινόμενο της χρωματικής διασποράς αυξάνεται με το τετράγωνο του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (bit rate). Σε μία μονότροπη οπτική ίνα, η χρωματική διασπορά αποτελεί συνδυασμό της διασποράς υλικού (material dispersion) της διασποράς κυματοδηγού (waveguide dispersion). Η διασπορά υλικού οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος ενώ η διασπορά κυματοδηγού στην εξάρτηση της ταχύτητας ομάδας (group velocity) από τα χαρακτηριστικά του κυματοδηγού (πυρήνας, επίστρωση). [1]

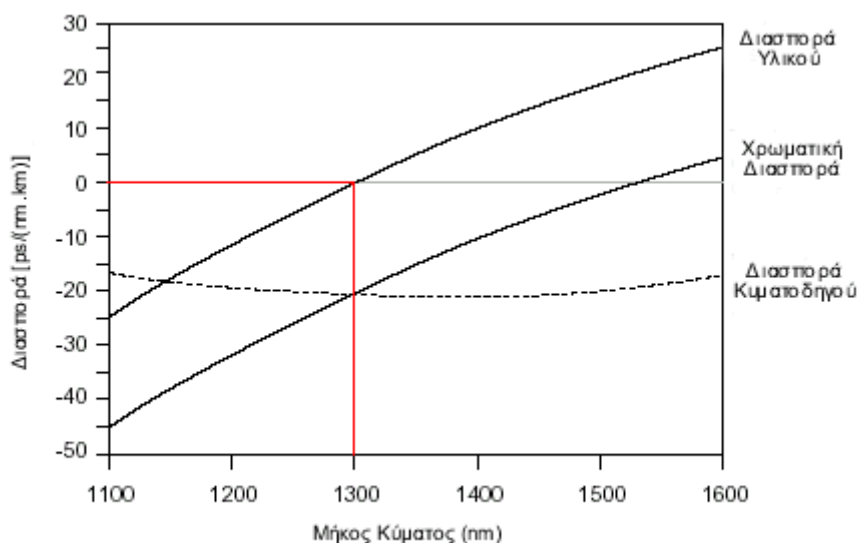
Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι ο πραγματικός δείκτης διάθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος της φωτεινής δέσμης:

- Σε μικρά μήκη κύματος, το φως είναι καλά περιορισμένο μέσα στον πυρήνα. Κατά συνέπεια ο πραγματικός δείκτης διάθλασης είναι κοντά στο δείκτη διάθλασης του υλικού του πυρήνα.
- Σε μεσαία μήκη κύματος, το φως διαδίδεται ελαφρώς μέσα στην επίστρωση. Αυτό μειώνει τον πραγματικό δείκτη διάθλασης.
- Σε μεγάλα μήκη κύματος, ένα μεγάλο ποσοστό της οπτικής ισχύος διαδίδεται στην επίστρωση. Αυτό φέρνει τον πραγματικό δείκτη διάθλασης πολύ κοντά σε αυτόν της επίστρωσης.

Ως αποτέλεσμα του φαινομένου της διασποράς κυματοδηγού είναι η καθυστέρηση διάδοσης και το χρονικό άνοιγμα των φωτοπαλμών.

Στην περίπτωση της χρωματικής διασποράς στα μεταδιδόμενα, διαμέσου της ίνας, ψηφιακά σήματα, οι παλμοί που αναπαριστούν το λογικό “1” υφίστανται διαπλάτυνση η οποία μπορεί να οδηγήσει στην αλληλοεπικάλυψή τους. Η χρωματική διασπορά εκφράζεται μέσω του συντελεστή χρωματικής διασποράς  $\sigma_{ch}$  [ps/(nm.km)] (dispersion coefficient). [1]

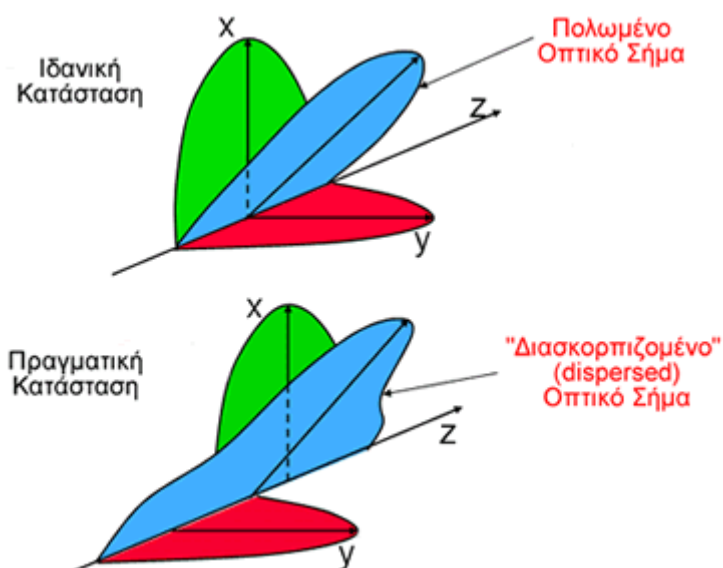
Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.9 τα φαινόμενα της χρωματικής διασποράς και της διασποράς κυματοδηγού είναι αντίστροφα και αλληλοαναιρούμενα. Η συνολική επίδραση του φαινομένου της διασποράς στα 1300 nm είναι 0.



Σχήμα 2.9:  
Χρωματική Διασπορά [2]

#### 2.4.2.2 Διασπορά Τρόπου Πόλωσης [1]

Η διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarisation Mode Dispersion – PMD) οφείλεται στη διαφοροποίηση των ταχυτήτων ομάδας μεταξύ των δύο ορθογώνιων πολώσεων που συνιστούν τον θεμελιώδη τρόπο  $HE_{11}$ . Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με αυτό της χρωματικής διασποράς, διευρύνονται (με κίνδυνο αλληλοεπικάλυψης) οι παλμοί που αναπαριστούν το λογικό “1”. Η κατάσταση επιδεινώνεται λόγω ασυμμετρίας στην κατασκευή της ίνας και λόγω γήρανσης. Στην επόμενη σελίδα φαίνεται σχηματικά (Σχήμα 2.10) η διασπορά τρόπου πόλωσης.



Σχήμα 2.10:  
Διασπορά Τρόπου Πόλωσης [3]

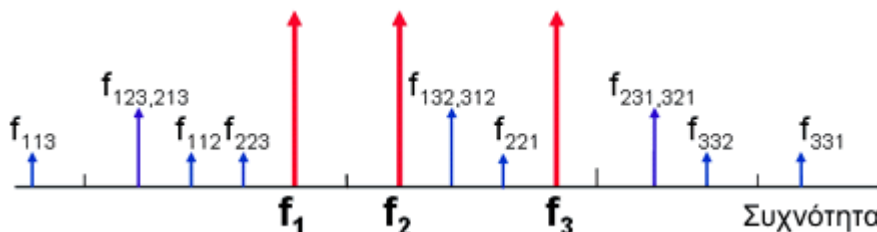


### 2.4.3 Μη Γραμμικά Φαινόμενα [3]

Τα μη γραμμικά φαινόμενα οφείλονται στην παρουσία μεγάλης ισχύος οπτικών σημάτων σε οπτικές ίνες και μπορούν να υποδιαιρεθούν στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

- Τα φαινόμενα που οφείλονται στη μη γραμμικότητα του δείκτη διάθλασης της ίνας (Φαινόμενο Kerr)
  - Διαμόρφωση ίδιας φάσης (Self-Phase Modulation – SPM)
  - Διαμόρφωση διασταυρούμενης φάσης (Cross-Phase Modulation – XPM)
  - Τετρακυματική μίξη (Four-Wave Mixing – FWM)
- Τα φαινόμενα εξαναγκασμένης σκέδασης (Stimulated Scattering)
  - Εξαναγκασμένη σκέδαση Brillouin (Stimulated Brillouin Scattering – SBS)
  - Εξαναγκασμένη σκέδαση Raman (Stimulated Raman Scattering – SRS)

Από τα μη γραμμικά φαινόμενα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αυτό που εκδηλώνεται εντονότερα είναι η τετρακυματική μίξη. (Σχήμα 2.11)



Σχήμα 2.11:

Τετρακυματική Μίξη [3]

Κατά την τετρακυματική μίξη, από την αλληλεπίδραση τριών καναλιών με συχνότητες  $f_i$ ,  $f_j$  και  $f_k$ , προκύπτουν πρόσθετα κανάλια με συχνότητες  $f_i \pm f_j \pm f_k$ , τα οποία μπορεί να συμπέσουν με πολυπλεγμένα κανάλια δημιουργώντας παρεμβολές. Το φαινόμενο εκδηλώνεται εντονότερα μεταξύ παρακείμενων καναλιών (ιδιαίτερα αν η μεταξύ τους απόσταση είναι μικρή και η διάταξή τους είναι συμμετρική, δηλαδή ισαπέχουν) και επιτείνεται από την αύξηση της οπτικής ισχύος μετάδοσης. [1]



## Κεφάλαιο

# 3

COPY

### 3. Εισαγωγή στην Τεχνολογία WDM

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά θα αναφερθούμε στην τεχνολογία *SONET/SDH* που καθορίζει την τυποποίηση για τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικά δίκτυα. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τα τρία είδη πολυπλεξίας, *Πολυπλεξία με Διαίρεση Χρόνου* (*Time Division Multiplexing - TDM*), *Πολυπλεξία με Διαίρεση Συχνότητας* (*Frequency Division Multiplexing - FDM*), *Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος* (*Wavelength Division Multiplexing - WDM*), καθώς και με δύο μορφές της τεχνολογίας WDM, την *Πυκνή και Χονδροειδή Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος* (*Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM*, *Coarse Wavelength Division Multiplexing - CWDM*).





### 3.1 Τεχνολογία SONET/SDH [11]

Οι όροι *SONET* (Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο - *Synchronous Optical Network*) και *SDH* (Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία - *Synchronous Digital Hierarchy*) αναφέρονται σε ένα σύνολο καθορισμένων προτύπων που περιγράφουν την εκπομπή δεδομένων με τη μέθοδο της Πολυπλεξίας με Διαίρεση Χρόνου (*Time Division Multiplexing - TDM*) σε δίκτυα οπτικών ινών (*fiber optical networks*). Ουσιαστικά, πρόκειται για την αμερικανική και την διεθνή έκδοση της ίδιας σειράς προτύπων. Έτσι, το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων (*ANSI*) είναι υπεύθυνο για το συντονισμό και την έκδοση των προτύπων *SONET*, ενώ η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (*ITU*) είναι υπεύθυνη για τη σειρά *SDH*.

Το βασικό πρόβλημα το οποίο επιλύει επιτυχώς η τεχνολογία *SONET/SDH* είναι οι πολύπλοκες διαδικασίες μετατροπών (πολυπλεξής-αποπολυπλεξής κωδικοποίησης-αποκωδικοποίησης) που θα απαιτούνταν για την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών τύπων δικτύων. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τυποποίησης κατά *SONET/SDH* των ρυθμών μεταφοράς και των τρόπων με τον οποίο είναι οργανωμένα τα δεδομένα. Έτσι, είναι δυνατή η μεταφορά πολλών διαφορετικών τύπων δεδομένων μέσω μιας κοινής γραμμής. Ειδικότερα, άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα που εξασφαλίζει η τεχνολογία *SONET/SDH* είναι τα εξής:

- Σχεδιάστηκε για συμφέρουσα, από πλευράς κόστους, και ευέλικτη τηλεπικοινωνιακή δικτύωση. Τα πρότυπα του *SONET/SDH* βασίζονται στις αρχές της άμεσης σύγχρονης πολυπλεξίας, που είναι το κλειδί για οικονομική και ευέλικτη τηλεπικοινωνιακή δικτύωση. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι συγκεκριμένα σήματα εισόδου μπορεί να πολυπλεχθούν κατ' ευθείαν σε ένα *SONET/SDH* σήμα υψηλότερης ταχύτητας, χωρίς ενδιάμεσα στάδια πολυπλεξίας. Στη συνέχεια τα στοιχεία του *SONET/SDH* δικτύου (*network elements*) μπορούν να διασυνδεθούν κατ' ευθείαν στο υπάρχον δίκτυο, με προφανή οφέλη από πλευράς κόστους και οικονομίας συσκευών.
- Εξασφαλίζει ενσωματωμένη χωρητικότητα σήματος, για προηγμένη διαχείριση και συντήρηση δικτύου. Ικανότητες για προηγμένη διαχείριση και συντήρηση δικτύου έτσι ώστε να είναι δραστικά διαχειρίσιμη η ευελιξία του. Περίπου 5% της δομής *SONET/SDH* σήματος χρησιμοποιείται για υποστήριξη διαδικασιών και πρακτικών προηγμένης διαχείρισης και συντήρησης του δικτύου.
- Εξασφαλίζει ευέλικτη μεταφορά σήματος. Το *SONET/SDH* σήμα είναι ικανό να μεταφέρει όλα τα συνηθισμένα σήματα, που υπάρχουν στα σημερινά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Αυτό σημαίνει ότι το *SONET/SDH* μπορεί να αναπτυχθεί σαν ένα πλαίσιο επικάλυψης στο υπάρχον δίκτυο και όπου χρειαστεί, εξασφαλίζει βελτιωμένη ευελιξία δικτύου, μεταφέροντας διαφόρους τύπους σημάτων. Επιπρόσθετα, το *SONET/SDH* έχει τη δυνατότητα να ενσωματώσει εύκολα νέους τύπους σημάτων, που εξυπηρετούν πελάτες, και τα οποία θα ζητηθούν στο μέλλον από τους χρήστες δικτύων.
- Οδηγεί σε μία απλή και ενιαία δομή τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Το *SONET/SDH* μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα παραδοσιακά πεδία εφαρμογής των τηλεπικοινωνιών. Συνεπώς, το *SONET/SDH* καθιστά δυνατή την ύπαρξη ενοποιημένης δομής δικτύου τηλεπικοινωνιών. Το γεγονός ότι το *SONET/SDH* βασίζεται κοινά δικτυακά πρότυπα, σημαίνει ότι μπορούν να διασυνδεθούν χωρίς προβλήματα συσκευές από διαφορετικούς κατασκευαστές.





Το βασικό δομικό στοιχείο των οπτικών διεπαφών (optical interfaces) της τεχνολογίας SONET είναι το *Σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς (Synchronous Transport Signal-STS)*. Το αντίστοιχο για το πρότυπο SDH είναι η *Μονάδα Σύγχρονης Μεταφοράς (Synchronous Transfer Module-STM)*. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι προτυποποιημένοι ρυθμοί για τις πλατφόρμες SONET/SDH, με τους αντίστοιχους συμβολισμούς για το οπτικό και το ηλεκτρικό επίπεδο.

| Οπτικό Επίπεδο | Ισοδύναμο SDH block | Ηλεκτρικό Επίπεδο | Ρυθμός (Mbps) | Payload Rate (Mbps) | Overhead Rate (Mbps) |
|----------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------------|----------------------|
| OC-1           | -                   | STS-1             | 51,840        | 50,112              | 1,728                |
| OC-3           | STM-1               | STS-3             | 155,520       | 150,336             | 5,184                |
| OC-9           | STM-3               | STS-9             | 466,560       | 451,008             | 15,552               |
| OC-12          | STM-4               | STS-12            | 622,080       | 601,344             | 20,736               |
| OC-18          | STM-6               | STS-18            | 933,120       | 902,016             | 31,104               |
| OC-24          | STM-8               | STS-24            | 1244,160      | 1202,688            | 41,472               |
| OC-36          | STM-12              | STS-36            | 1866,240      | 1804,032            | 62,208               |
| OC-48          | STM-16              | STS-48            | 2488,320      | 2405,376            | 82,944               |
| OC-96          | STM-32              | STS-96            | 4976,640      | 4810,752            | 165,888              |
| OC-192         | STM-64              | STS-192           | 9953,280      | 9621,504            | 331,776              |

Πίνακας 3.1:

Η ψηφιακή ιεραρχία SONET/SDH [11]



#### Σημείωση

*STS-1 (Synchronous Transport Signal-Level 1)*. Σήμα 51,840 Mbps γνωστό ως Σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς 1ου επιπέδου. (SONET)

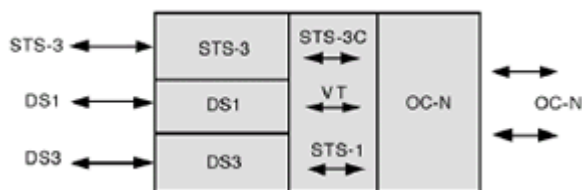
*OC-1 (Optical Carrier-Level 1)*. Οπτικός Φορέας 1ου επιπέδου, είναι το σήμα που λαμβάνεται στην έξοδο ενός ηλεκτροοπτικού μετατροπέα, όταν στην είσοδο εισάγεται στο σήμα STS-1. (SONET)

*STM-1 (Synchronous Transport Module-Level 1)*. Μονάδα Σύγχρονης Μεταφοράς 1ου επιπέδου, 155,520 Mbps. (SDH)

### 3.1.1 Δομοστοιχεία της Τεχνολογίας SONET/SDH [11]

Τα βασικά δομοστοιχεία ενός δικτύου που χρησιμοποιεί την τεχνολογία SONET/SDH περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

- *Τερματικοί Πολυπλέκτες (Terminal Multiplexers - PTEs)*: Επιτελούν το σημαντικότερο έργο της συγκέντρωσης όλων των ψηφιακών (ηλεκτρικών ή οπτικών) σημάτων. Τα σήματα πολυπλέκονται και μεταδίδονται σε οπτικό επίπεδο, μέσω μιας κοινής OC-N γραμμής.

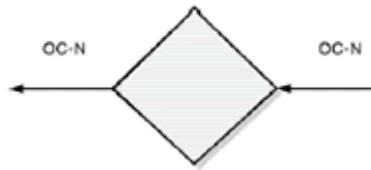


Σχήμα 3.1:

Παράδειγμα λειτουργίας Τερματικού Πολυπλέκτη [11]



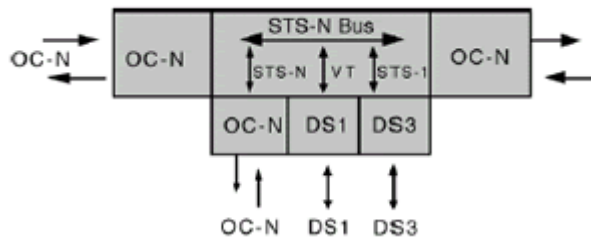
- *Συσκευές Αναγέννησης Σήματος (Regenerators)*: Αυτές οι συσκευές είναι απαραίτητες τις περιπτώσεις κατά τις οποίες, λόγω μεγάλων αποστάσεων μεταξύ των πολυπλεκτών, το σήμα εξασθενίζει σημαντικά.



Σχήμα 3.2:

Αναγεννητής Σήματος [11]

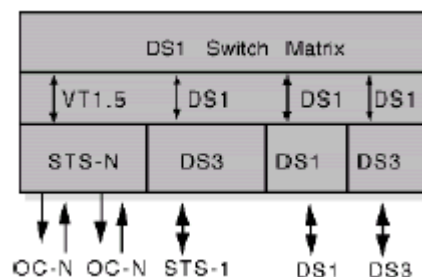
- *Πολυπλέκτες Προσθαφαίρεσης (Add/Drop Multiplexers - ADMs)*: Οι συγκεκριμένες συσκευές αναλαμβάνουν να αποπολυπλέξουν μόνο τα σήματα που είναι απαραίτητο να προσπελαστούν στο δεδομένο σημείο του δικτύου, ενώ τα υπόλοιπα περνούν διαβατικά δίχως να υποστούν οποιαδήποτε επεξεργασία. Οι πολυπλέκτες αυτοί επιτρέπουν τη διασύνδεση μεταξύ των σημάτων SONET/SDH και των διαφορετικού τύπου σημάτων στο δίκτυο.



Σχήμα 3.3:

Πολυπλέκτης Προσθαφαίρεσης [11]

- *Ψηφιακές Διατάξεις Ευρυζωνικής Διασύνδεσης (Wideband Digital Cross-Connects)*: Ο ρόλος τους έγκειται στο να δέχονται πολλαπλά οπτικά σήματα, προσπελάζοντας τα στοιχειώδη σήματα STS-1 και επιτρέποντας τη μεταγωγή τους στο επίπεδο αυτό. Τα στοιχεία αυτά καθιστούν δυνατή τη διασύνδεση πολύ μεγαλύτερου αριθμού STS-1 σημάτων, σε σχέση με τους πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι οι μειωμένες διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης, λόγω του ότι γίνεται προσπέλαση και μεταγωγή μόνο των απαιτούμενων σημάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτών των συσκευών, τις καθιστούν κατάλληλες για εφαρμογές διαχείρισης δικτύων.

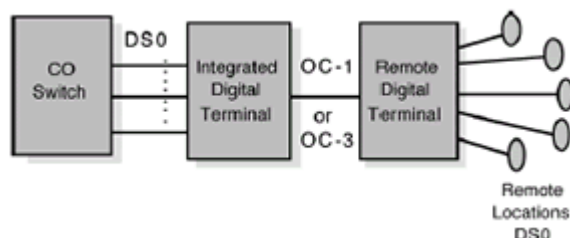


Σχήμα 3.4:

Ψηφιακές Διατάξεις Ευρυζωνικής Διασύνδεσης [11]



- *Μεταφορείς Ψηφιακού Βρόχου (Digital Loop Carriers-DLCs)*: Η συσκευή αυτή περιλαμβάνει ένα σύνολο πολυπλεκτών και διακοπών και μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος συγκεντρωτή υπηρεσιών χαμηλών ταχυτήτων, προτού αυτές εισέλθουν στο Τηλεπικοινωνιακό Κέντρο (CO). Με αυτόν τον τρόπο, ο αριθμός των συνδρομητών που μπορούν να εξυπηρετηθούν δεν περιορίζεται από τον αριθμό των γραμμών που εξυπηρετούνται από το CO.

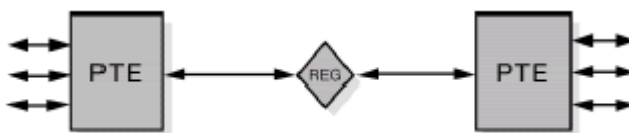


Σχήμα 3.5:  
Μεταφοράς Ψηφιακού Βρόχου [11]

### 3.1.2 Αρχιτεκτονικές Δικτύων SONET/SDH [11]

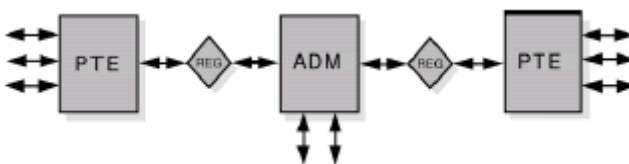
Μετά την εξέταση των δομοστοιχείων του δικτύου SONET/SDH, κρίνεται σκόπιμη η παράθεση των δυνατών αρχιτεκτονικών ενός τέτοιου δικτύου:

- *Σημείο-σημειακή (point-to-point) Αρχιτεκτονική*: Στην απλούστερη έκδοσή του περιλαμβάνει δύο τερματικούς πολυπλεκτές (PTE), οι οποίοι συνδέονται μέσω οπτικής ίνας, με ή χωρίς συσκευή αναγέννησης σήματος (regenerator). Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελεί ταυτόχρονα και την απλούστερη υλοποίηση δικτύων SONET/SDH.



Σχήμα 3.6:  
Αρχιτεκτονική Σημείο-σημειακή (point-to-point) [11]

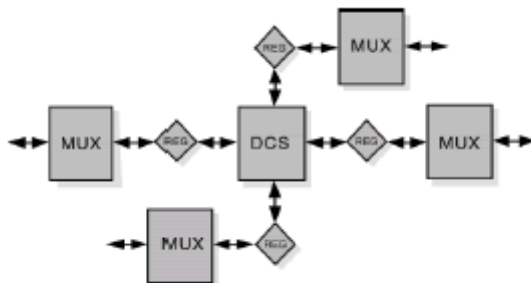
- *Σημείο-πολυσημειακή (point-to multipoint) Αρχιτεκτονική*: Περιλαμβάνει και την εισαγωγή/εξαγωγή κυκλωμάτων (adding/dropping circuits) κατά μήκος της διαδρομής. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η ύπαρξη των πολυπλεκτών προσθαίρεσης (ADMs) για την επιτέλεση της συγκεκριμένης λειτουργίας.



Σχήμα 3.7:  
Αρχιτεκτονική Σημείο-πολυσημειακή (point-to multipoint) [11]

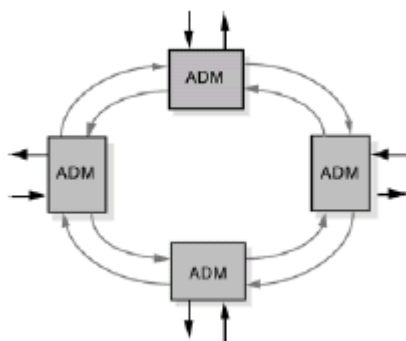


- *Δίκτυο κομβικού σημείου (Hub Network)*: Ένα “hub” αποτελεί το κομβικό σημείο της κίνησης στο δίκτυο, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την επανατροφοδότηση (reprovisioning) των κυκλωμάτων.



Σχήμα 3.8:  
Αρχιτεκτονική Κομβικού Σημείου (Hub) [11]

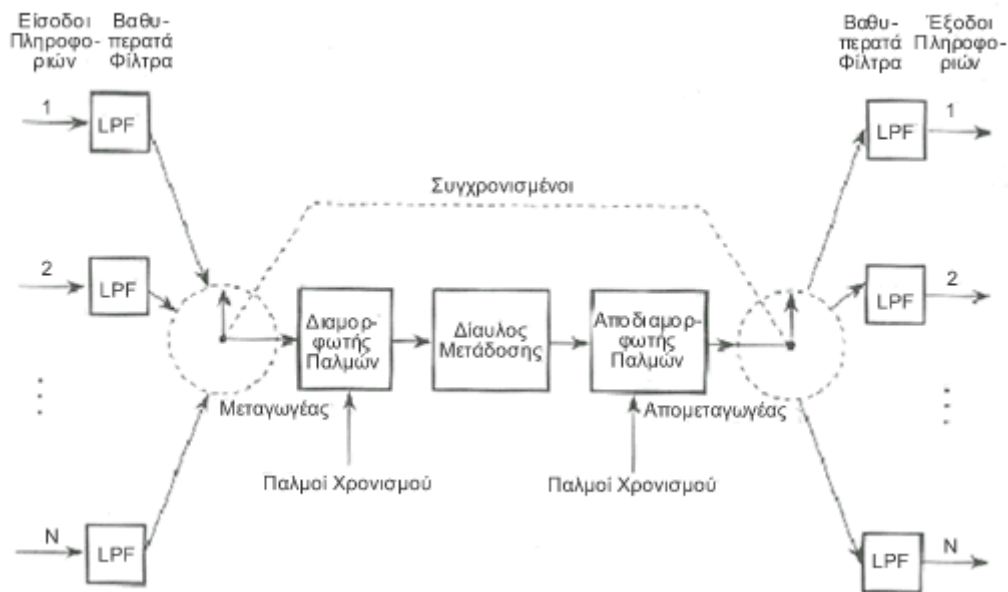
- *Αρχιτεκτονική Δακτυλίου (Ring Architecture)*: Τα βασικά δομικά στοιχεία αυτής της διαμόρφωσης είναι τα ADMs, τα οποία και τοποθετούνται σε τοπολογία δακτυλίου επιτρέποντας την κατεύθυνση της πληροφορίας προς μία ή και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το κύριο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής δακτυλίου είναι η ύπαρξη εναλλακτικής διαδρομής για αναδρομολόγηση σε περίπτωση βλάβης.



Σχήμα 3.9:  
Αρχιτεκτονική Δακτυλίου (Ring Architecture) [11]

### 3.2 Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (TDM) [7]

Η πολυπλεξία (*multiplexing*) είναι μία τεχνική στην οποία ένας αριθμός ανεξάρτητων σημάτων μπορεί να συνδυαστεί σε σύνθετο σήμα κατάλληλο για μετάδοση σε ένα κοινό δίαυλο επικοινωνίας. Για να μεταδώσουμε ένα αριθμό τέτοιων σημάτων στον ίδιο φορέα, πρέπει τα σήματα να κρατηθούν απομακρυσμένα, να μην επηρεάζονται μεταξύ τους και έτσι ώστε να μπορούν να διαχωριστούν εύκολα στη λήψη. Η τεχνική διαχωρισμού των σημάτων στο χρόνο ονομάζεται *Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiplexing - TDM)*. Η αρχή της TDM απεικονίζεται στο διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10:  
Δομικό Διάγραμμα του Συστήματος TDM [7]

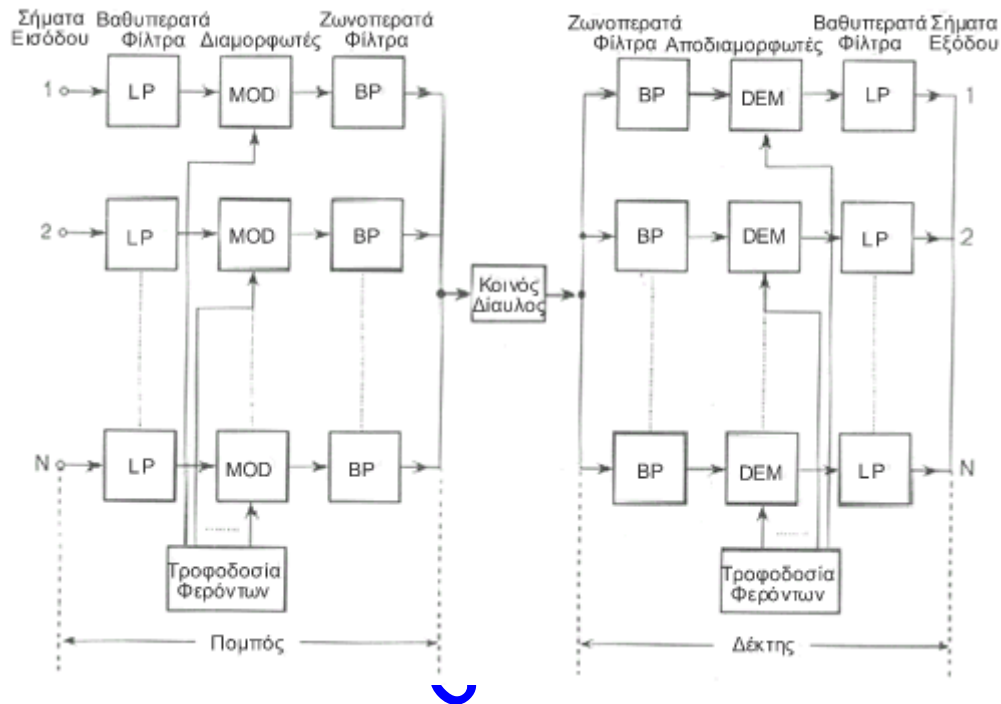
Στην είσοδο του πολυπλέκτη κάθε σήμα πληροφορίας περιορίζεται αρχικά σε εύρος ζώνης από ένα βαθυπερατό φίλτρο που χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει τις συχνότητες που δεν είναι σημαντικές για την ικανοποιητική αναπαράσταση του σήματος. Οι έξοδοι των βαθυπερατών φίλτρων στη συνέχεια εφαρμόζονται σε ένα μεταγωγέα (*commutator*) που υλοποιείται συνήθως με χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Η λειτουργία του μεταγωγέα είναι διπλή: (1) να πάρει ένα στενού εύρους δείγμα καθεμιάς από τις  $N$  πληροφορίες εισόδου με ρυθμό δειγματοληψίας  $1/T$ , που είναι μεγαλύτερος από το  $2W$ , όπου το  $W$  είναι η συχνότητα αποκοπής του βαθυπερατού φίλτρου εισόδου και (2) να ενοποιήσει αυτά τα  $N$  δείγματα μέσα σε ένα διάστημα μετάδοσης. Στην πραγματικότητα, η τελευταία λειτουργία είναι η ουσία της λειτουργίας πολυπλεξίας με διαίρεση του χρόνου. Μετά τη διαδικασία μεταγωγής, το πολυπλεγμένο σήμα εισέρχεται σε ένα διαμορφωτή παλμών (*pulse modulator*), ο σκοπός του οποίου είναι να μετασχηματίσει το πολυπλεγμένο σήμα σε μια μορφή πιο κατάλληλη για μετάδοση μέσω του κοινού διαύλου. Είναι φανερό ότι η χρήση της πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου αυξάνει σημαντικά το εύρος ζώνης, επειδή η διάταξη πρέπει να διαχειριστεί  $N$  δείγματα που προέρχονται από  $N$  ανεξάρτητες πηγές πληροφορίας σε χρονική περίοδο ίση με το διάστημα δειγματοληψίας. Στην πλευρά λήψης του συστήματος, το λαμβανόμενο σήμα οδηγείται σε έναν αποδιαμορφωτή παλμών (*pulse demodulator*) που εκτελεί την αντίστροφη λειτουργία από το διαμορφωτή παλμών. Τα στενού πλάτους δείγματα που παράγονται στην έξοδο του αποδιαμορφωτή, διανέμονται στα κατάλληλα φίλτρα ανακατασκευής μέσω ενός μεταγωγέα (*decommutator*), που λειτουργεί σε συγχρονισμό με τον μεταγωγέα του πομπού.

Η πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου και η πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (που περιγράφεται στην ενότητα 3.3) αποτελούν τις δύο βασικές μορφές πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα που βασίζονται στην μεταγωγή κυκλώματος.



### 3.3 Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDM) [7]

Η τεχνική διαχωρισμού των σημάτων στη συχνότητα αναφέρεται σαν *Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM)*. Η αρχή της FDM απεικονίζεται στο διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 3.11.



Σχήμα 3.11:  
Δομικό Διάγραμμα του Συστήματος FDM [7]

Τα εισερχόμενα σήματα πληροφορίας θεωρούνται βαθυπερατά, αλλά τα φάσματά τους δεν έχουν απαραίτητα μη μηδενικές τιμές όσο πλησιάζουμε τη μηδενική συχνότητα. Μετά το κάθε σήμα εισόδου φαίνεται ένα βαθυπερατό φίλτρο, το οποίο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αποκόπτει συνιστώσες υψηλής συχνότητας που δεν συνεισφέρουν σημαντικά στην αναπαράσταση του σήματος, αλλά είναι δυνατόν να παρενοχλούν άλλα σήματα πληροφορίας που μοιράζονται τον κοινό δίαυλο. Αυτά τα βαθυπερατά φίλτρα μπορούν να παραλειφθούν μόνο αν τα σήματα εισόδου είναι επαρκώς περιορισμένα σε εύρος ζώνης από την αρχή. Τα φιλτραρισμένα σήματα εφαρμόζονται σε διαμορφωτές που μετατοπίζουν τις περιοχές συχνοτήτων των σημάτων, έτσι ώστε να καταλαμβάνουν διαφορετικά μεταξύ τους περιοχές συχνοτήτων. Οι απαραίτητες φέρουσες συχνότητες για αυτές τις μετατοπίσεις συχνοτήτων, λαμβάνονται μέσω μιας γεννήτριας φέρουσων συχνοτήτων. Για τη διαμόρφωση χρησιμοποιούμε τη διαμόρφωση απλής πλευρικής ζώνης. Τα ζωνοπερατά φίλτρα που ακολουθούν τους διαμορφωτές χρησιμοποιούνται για να περιορίσουν τη ζώνη κάθε διαμορφωμένης κυματομορφής στο προδιαγεγραμμένο της εύρος. Οι προκύπτουσες έξοδοι των ζωνοπερατών φίλτρων, στη συνέχεια συνενώνονται, έτσι ώστε να σχηματίσουν την έξοδο στον κοινό δίαυλο. Στην πλευρά της λήψης χρησιμοποιείται μια σειρά ζωνοπερατών φίλτρων, με τις εισόδους τους συνδεδεμένες παράλληλα, για να διαχωρίσει τα σήματα πληροφορίας με βάση τη ζώνη συχνοτήτων που καταλαμβάνουν. Τελικά τα αρχικά σήματα πληροφορίας επανακτώνται και οδηγούνται σε ξεχωριστούς αποδιαμορφωτές.



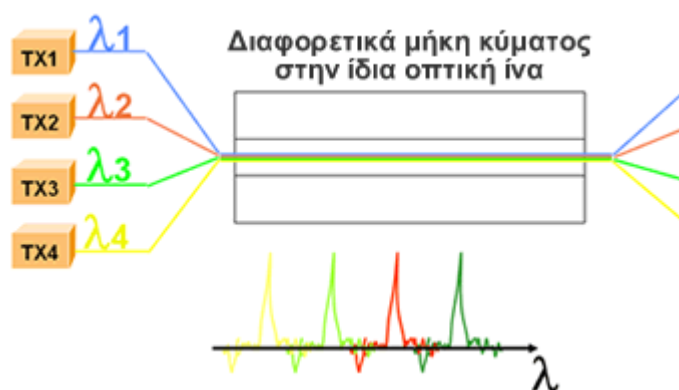


Παρατηρείστε ότι το παραπάνω σύστημα FDM λειτουργεί μόνο κατά τη μία κατεύθυνση. Για να εξασφαλίσουμε μετάδοση δύο κατευθύνσεων, όπως στην τηλεφωνία, θα πρέπει να διπλασιάσουμε πλήρως όλη τη διάταξη πολυπλεξίας, με τα στοιχεία της συνδεδεμένα με αντίθετη φορά και με τα σήματα να προχωρούν από τα δεξιά προς τ' αριστερά.

### 3.4 Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (WDM)

Για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των οπτικών ινών και την μεγιστοποίηση του μεταφερόμενου όγκου δεδομένων μέσα από μια ίνα, έχει εφαρμοσθεί τα τελευταία χρόνια μια νέα τεχνολογία, η τεχνολογία της Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος (*Wavelength Division Multiplexing - WDM*). Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία οπτικών σημάτων με διαφορετικά μήκη κύματος και την μετάδοσή τους μέσα από μια μόνο οπτική ίνα.

Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η νέα τεχνολογία ήταν η εξής: σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη φέρουσα συχνότητα. Είναι δυνατόν από την ίδια ίνα να περάσουν περισσότερα του ενός διαφορετικά σήματα διαφορετικής συχνότητας ή αλλιώς διαφορετικού μήκους κύματος μιας και μιλάμε για οπτικά σήματα, που το καθένα να μεταφέρει διαφορετικά δεδομένα.[8] Τα παραπάνω φαίνονται πολύ παραστατικά στο Σχήμα 3.12:



Σχήμα 3.12:  
Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος [3]

Έτσι, σε ένα σύστημα WDM, ένα πλήθος διαφορετικών σημάτων μεταφέρονται υπό τη μορφή διακριτών μηκών κύματος ή καναλιών μέσω της οπτικής ίνας και αποπολυπλέκονται στο σημείο λήψης. Όπως και με τη μέθοδο TDM, που χρησιμοποιείται από την τεχνολογία SONET/SDH, η ολική χωρητικότητα του μέσου είναι το άθροισμα της χωρητικότητας των εισερχόμενων σημάτων, με τη διαφορά ότι καθένα από τα σήματα αυτά μεταφέρεται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι κάθε κανάλι έχει το δικό του, αποκλειστικό, εύρος ζώνης.

Το προφανέστερο πλεονέκτημα της τεχνολογίας WDM εντοπίζεται στη δυνατότητά της να παρέχει τεράστια αύξηση (πρακτικά απεριόριστη) της χωρητικότητας μετάδοσης. Άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα της WDM συνοψίζονται στα παρακάτω:

- *Διαφάνεια (Transparency)*: Δεδομένου ότι η WDM αποτελεί μια αρχιτεκτονική στο φυσικό επίπεδο, είναι δυνατή η διαφανής υποστήριξη τόσο της TDM τεχνολογίας όσο και δεδομένων τυποποιήσεων όπως ATM, Gigabit Ethernet, ESCON και Fibre





Channel, επιτυγχάνοντας τη διασύνδεση διαφόρων υπηρεσιών μέσω του κοινού φυσικού μέσου.

- *Κλιμάκωση Μεγέθους (Scalability)*: Επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της οπτικής ίνας, ειδικότερα σε επίπεδο, μητροπολιτικών και επιχειρησιακών δικτύων.
- *Δυναμική Παροχή Εύρους Ζώνης (Dynamic Provisioning)*: Η ταχύτατη, απλή και με δυναμικό τρόπο παροχή των δικτυακών συνδέσεων, δίνουν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων για ικανοποίηση αναγκών των χρηστών μέσα σε διάστημα ολίγων ημερών παρά μηνών. [11]

### 3.5 Διάρθρωση ενός WDM συστήματος [2]

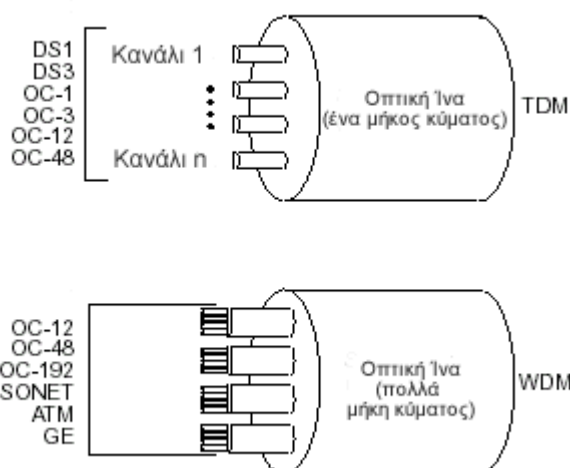
Τα βασικά δομοστοιχεία της τεχνολογίας WDM, με βάση και τη θέση τους στο δίκτυο, είναι συνοπτικά τα ακόλουθα:

- *Πηγές laser*, στην πλευρά της μετάδοσης, για την παροχή με χρήση αναμεταδοτών μηκών κύματος εξαιρετικής ακρίβειας και σταθερότητας.
- *Οπτική ίνα*, στην πλευρά της σύνδεσης, που εμφανίζει χαμηλές απώλειες και υψηλή απόδοση στην φασματική περιοχή μετάδοσης. Επιπλέον, απαραίτητη είναι και η παρουσία *οπτικών ενισχυτών (optical amplifiers)* για την ενίσχυση του σήματος και τη μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις.
- *Οπτικούς Πολυπλέκτες και Αποπολυπλέκτες (optical multiplexers & demultiplexers)*, που επιτρέπουν το συνδυασμό των εισερχόμενων προς μετάδοση σημάτων (σημείο εκπομπής) ή το διαχωρισμό του οπτικού σήματος στα στοιχειώδη σήματα που το απαρτίζουν (σημείο λήψης) αντίστοιχα.
- *Συσκευές φωτοανίχνευσης (photodetectors)*, στην πλευρά του δέκτη.
- *Οπτικούς πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης (add/drop optical multiplexers)* και *οπτικούς διασταυρωτήρες (optical cross-connect components)*.

Τα προαναφερθείσα δομοστοιχεία αναλύονται περαιτέρω με στόχο την καλύτερη κατανόηση της τεχνολογίας WDM. (Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> - Οπτικές Ίνες, Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> - Δομοστοιχεία της Τεχνολογίας WDM).

### 3.6 Σύγκριση TDM-WDM [2]

Η μέθοδος TDM πολυπλέκει περισσότερα σήματα σε ένα ενιαίο υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης και τα μεταδίδει χρησιμοποιώντας ένα φέρον μήκος κύματος μέσα από την οπτική ίνα. Το WDM παίρνει πολλά οπτικά σήματα, σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, και τα πολυπλέκει μέσα σε μία μόνο οπτική ίνα. Η WDM είναι επομένως ίδια με την FDM, όπου κάθε σήμα μεταδίδεται σε διαφορετική φέρουσα συχνότητα, επειδή όμως στα WDM οι συχνότητες αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες και ανήκουν στο οπτικό φάσμα, αναφερόμαστε σε μήκη κύματος ( $\lambda$ ) και όχι συχνότητες ( $F$ ). Επίσης μέσω της τεχνολογίας WDM είναι δυνατή η μεταφορά σημάτων σε διαφορετικά πρωτόκολλα, δίχως να απαιτείται η χρήση μιας ενιαίας τυποποίησης των σημάτων. Μερικές από τις βασικές διαφορές μεταξύ TDM και WDM φαίνονται στο Σχήμα 3.13.



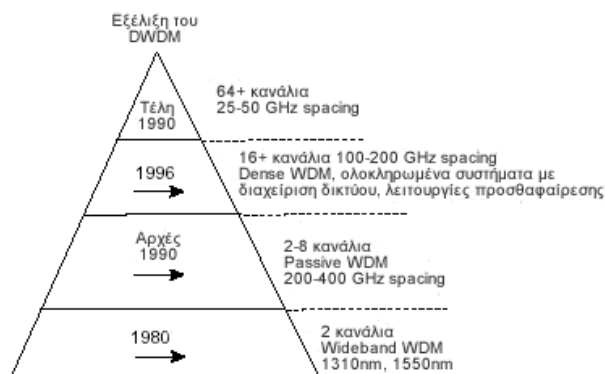
Σχήμα 3.13:

Βασικές Διαφορές TDM και WDM (σχηματική αναπαράσταση) [2]

### 3.7 Πυκνή Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (DWDM)

Συχνά, η τεχνολογία WDM αναφέρεται και ως *Πυκνή Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος-DWDM (Dense-WDM)* και προφανώς η μόνη διαφορά της DWDM έγκειται στο μεγαλύτερο αριθμό των μεταφερόμενων καναλιών, μέσω της διαίρεσης του διαθέσιμου φάσματος σε περισσότερα μήκη κύματος (συνήθως περισσότερα από 16).

Το διαθέσιμο οπτικό φάσμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τεχνολογία DWDM περιλαμβάνει δύο παράθυρα το ένα γύρω από τα 1300 nm, στο οποίο έχουμε την ελάχιστη διασπορά μετάδοσης σε μονότροπες ίνες (G.652) και το άλλο στην περιοχή των 1550 nm στο οποίο έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση μετάδοσης σε μονότροπες ίνες. Σε καθένα από τα δύο αυτά παράθυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος ζώνης γύρω στα 15.000 GHz, δηλαδή με άλλα λόγια το εύρος των παραθύρων είναι γύρω στα 100nm. Θεωρητικά σε αυτό το εύρος είναι δυνατόν να οριστούν γύρω στα 3000 διαφορετικά κανάλια με διαφορά μεταξύ τους περίπου 0.03 nm. Στην πραγματικότητα όμως μέχρι τώρα ο διαχωρισμός των καναλιών στα εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα κυμαίνεται σε τιμές γύρω από το 1nm και το πλήθος των διαφορετικών καναλιών που προσφέρουν είναι από 4 τα πιο παλιά συστήματα μέχρι 80 τα νεότερα. [8] Στο Σχήμα 3.14 φαίνεται παραστατικά η εξέλιξη του DWDM.

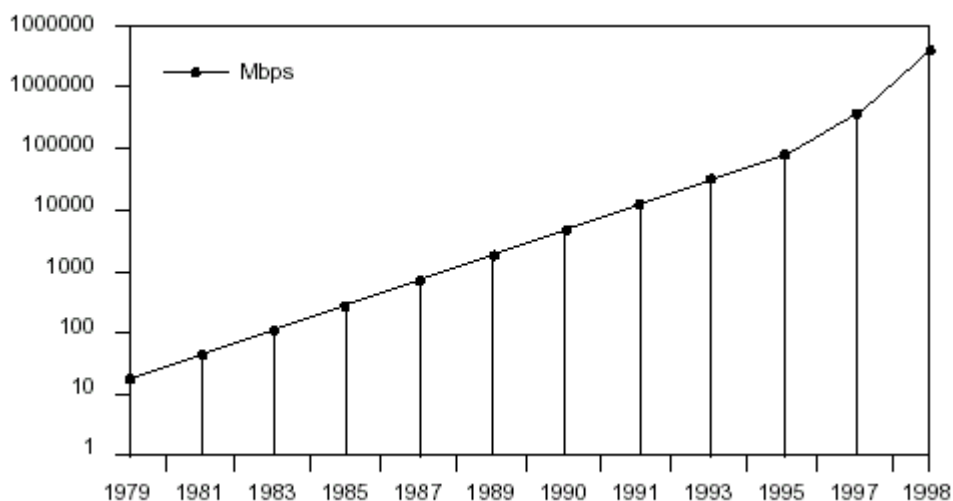


Σχήμα 3.14:

Εξέλιξη της τεχνολογίας DWDM (σχηματική αναπαράσταση) [2]



Στα τέλη της δεκαετίας του '80 εμφανίζεται η μορφή της τεχνολογίας WDM γνωστή ως *wideband WDM*, η οποία χρησιμοποιεί 2 κανάλια στις περιοχές των 1310 nm και 1510 nm. Στις αρχές του 1990 εμφανίζεται μια δεύτερη μορφή, που πολλές φορές ορίζεται ως *narrowband WDM*, και η οποία χρησιμοποιεί από 2 μέχρι 8 κανάλια. Στα μέσα της δεκαετίας του '90 κάνει την εμφάνισή της η τεχνολογία *Dense-WDM* όπου τα συστήματα αρχίζουν χρησιμοποιούν από 16 μέχρι 40 κανάλια. Στα τέλη της δεκαετίας του '90 τα συστήματα DWDM εξελίσσονται και είναι σε θέση να χρησιμοποιούν από 64 έως 160 παράλληλα κανάλια. Η αύξηση του αριθμού των καναλιών, ως αποτέλεσμα της τεχνολογίας DWDM, έχει δραματική επίδραση στην αύξηση της χωρητικότητας της οπτικής ίνας (Σχήμα 3.15).



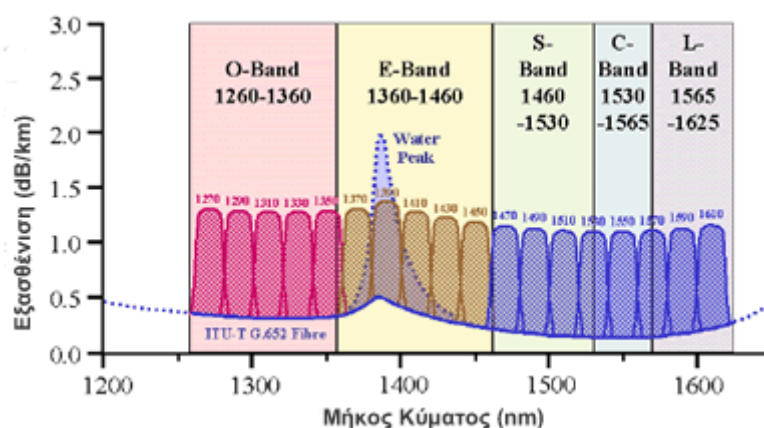
Σχήμα 3.15:  
Αύξηση της Χωρητικότητας της Οπτικής Ίνας [2]

### 3.8 Χονδροειδής Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος

Η Χονδροειδής Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (*Coarse Wavelength Division Multiplexing-CWDM*) είναι μία μορφή πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος η οποία εμφανίζει μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φέροντων μηκών κύματος (γύρω στα 20nm) σε σχέση με την DWDM. Επίσης χρησιμοποιεί μια ευρύτερη περιοχή του οπτικού φάσματος και μπορεί να δεχτεί μέχρι 18 κανάλια. Η τεχνολογία CWDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μονότροπες όσο και σε πολύτροπες οπτικές ίνες. Οι δαπάνες για την χρήση της τεχνολογίας CWDM είναι χαμηλότερες από τις άλλες μορφές WDM. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών CWDM, Wide-WDM και DWDM.

|                                | Coarse WDM                          | Wide-WDM                 | DWDM                        |
|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων | Μεγάλη, από 1,6nm (200GHz) έως 25nm | 1310nm και 1550nm lasers | Μικρή, 200GHz και μικρότερη |
| αριθμός παραθύρων              | O, E, S, C και L                    | O και C                  | C και L                     |
| κόστος ανά κανάλι              | χαμηλό                              | χαμηλό                   | υψηλό                       |
| αριθμός καναλιών               | 17-18                               | 2                        | μεγάλος αριθμός             |
| εφαρμογές                      | Short-haul, metro                   | Passive Optical Networks | Long-Haul                   |

Πίνακας 3.2:  
Μορφές της Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος [18]



Σχήμα 3.16:

CWDM πλέγμα μηκών κύματος κατά την ITU-T (Σύσταση G.694.2) [18]

Η τεχνολογία CWDM έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει αποτελεσματικά και οικονομικά στα μητροπολιτικά δίκτυα. Η δυνατότητα να παρέχει πολλαπλά μήκη κύματος με λογικό κόστος οδηγεί τις εταιρίες παροχής υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών να την επιλέγουν. Πρόσφατα αναπτύχθηκε τυποποίηση G.652.C για μονότροπη οπτική ίνα χωρίς την εξασθένιση στα 1400 nm ενοποιεί τα δύο παράθυρα μετάδοσης επιτρέποντας την καλύτερη εφαρμογή της CWDM.



#### Σημείωση

Η χρήση VCSELs (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers) και uncooled DFB lasers μειώνουν το κόστος ενός συστήματος CWDM ακόμα περισσότερο. [18]



## Κεφάλαιο

# 4

COPY

### 4. Δομοστοιχεία της Τεχνολογίας WDM

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τα βασικά δομοστοιχεία της τεχνολογίας WDM. Θα αναλύσουμε δομοστοιχεία όπως *πηγές φωτός και ανιχνευτές* (Light Sources and Detectors), *αναμεταδότες* (Transponders), *οπτικούς ενισχυτές* (Optical Amplifiers), *οπτικούς πολυπλέκτες-αποπολυπλέκτες* (Multiplexers and Demultiplexers), *οπτικούς πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης* (OADM's) και *οπτικούς διασταυρωτήρες* (OXC's). Επίσης θα αναλύσουμε κάποιες *τεχνικές πολυπλεξίας-αποπολυπλεξίας* και θα αναφερθούμε στην *δρομολόγηση μήκους κύματος*.

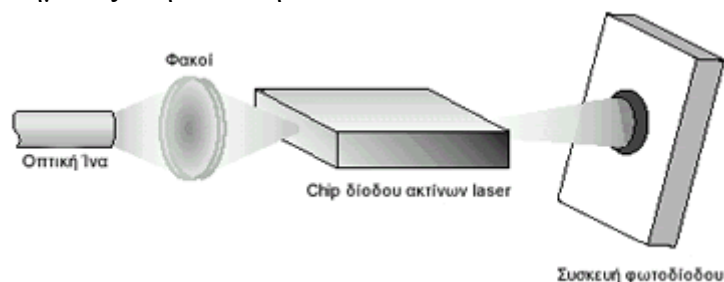


## 4.1 Πηγές Φωτός και Ανιχνευτές [2]

Οι πηγές φωτός και οι συσκευές φωτοανίχνευσης (Light Sources and Detectors) βρίσκονται στα αντίθετα άκρα ενός συστήματος οπτικής εκπομπής.

Οι πηγές/πομποί οπτικών σημάτων αναλαμβάνουν τη μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε παλμούς φωτός. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται είτε μέσω της εξωτερικής διαμόρφωσης ενός συνεχούς οπτικού σήματος, είτε με τη χρήση κατάλληλης συσκευής που παράγει άμεσα διαμορφωμένους παλμούς φωτός. Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι συσκευών εκπομπής φωτός, οι *δίοδοι φωτοεκπομπής (LED's)* και οι *δίοδοι ακτίνων laser ή ημιαγωγοί laser (laser diodes/semiconductor lasers)*.

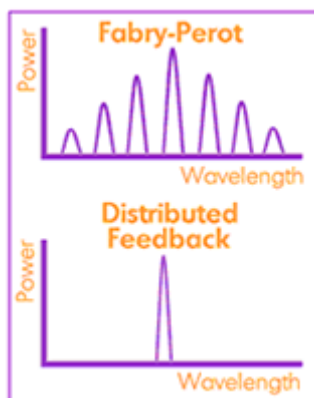
Οι δίοδοι φωτοεκπομπής (LED's) αποτελούν συσκευές χαμηλών ταχυτήτων, κατάλληλες για εφαρμογές με ταχύτητες χαμηλότερες από 1 Gbps, ενώ παράγουν ακτινοβολία σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα. Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές πολύτροπων οπτικών ινών. Από την άλλη, οι ημιαγωγοί laser (semiconductor lasers) διαθέτουν χαρακτηριστικά και απόδοση που τους καθιστά καταλληλότερους για εφαρμογές μονότροπης οπτικής ίνας. Στο ακόλουθο σχήμα, περιγράφονται οι γενικές αρχές εισαγωγής οπτικού σήματος στην οπτική ίνα.



**Σχήμα 4.1:**

Τυπικός σχεδιασμός για την τροφοδοσία παλμών φωτός σε οπτική ίνα [2]

Τα είδη των laser που συναντάμε είναι τα τύπου *κατανεμημένης ανάδρασης - Distributed Feedback (DFB)* και τα *Fabry-Perot*. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός, ότι τα DFB εκπέμπουν ένα μόνο μήκος κύματος, ενώ τα Fabry-Perot εκπέμπουν πολλά μήκη κύματος το ένα κοντά στο άλλο. (Σχήμα 4.2)



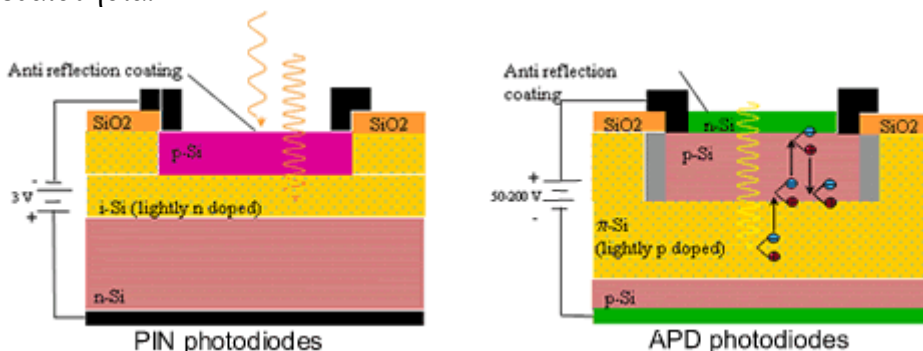
**Σχήμα 4.2:**

DFB και Fabry-Perot laser

Οι συσκευές φωτοανίχνευσης είναι διαθέσιμες σε δύο γενικούς τύπους, τις φωτοδιόδους PIN (Positive Intrinsic Negative) και τις φωτοδιόδους χιονοστιβάδας APD



(Avalanche PhotoDiodes). Ο πρώτος τύπος, βασίζεται στην αντίστροφη αρχή λειτουργίας των LED's, μετατρέποντας τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρόνια μέσω μιας σχέσης 1:1. Ο δεύτερος τύπος διαφέρει από τον προηγούμενο στο γεγονός ότι παρέχει επιπλέον και τη διεργασία της ενίσχυσης, μέσω της μετατροπής ενός φωτονίου σε πολλά ηλεκτρόνια (Σχήμα 4.3). Τα κύρια πλεονεκτήματα των PIN φωτοδιόδων περιλαμβάνουν το χαμηλό κόστος και την αξιοπιστία, ενώ οι APD φωτοδιόδοι έχουν μεγαλύτερο κόστος, υψηλότερη ακρίβεια αλλά και ευαισθησία.

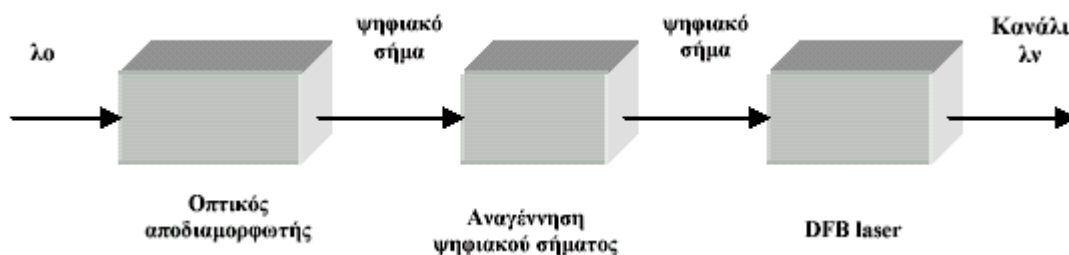


Σχήμα 4.3: PIN και APD φωτοδιόδοι [3]

## 4.2 Αναμεταδότες [1]

Ο ρόλος των αναμεταδοτών (Transponders) είναι η δημιουργία οπτικών σημάτων συμβατών με την τεχνολογία WDM. Τα οπτικά σήματα που τροφοδοτούν τους αναμεταδότες προέρχονται από άλλα ιννοοπτικά δίκτυα και δεν ικανοποιούν κατ' ανάγκη τις απαιτήσεις των συστημάτων WDM. Έτσι, ο κάθε αναμεταδότης λαμβάνει ένα οπτικό σήμα, εξάγει (μέσω ηλεκτροοπτικής αποδιαμόρφωσης) το αντίστοιχο ψηφιακό σήμα πληροφορίας και με αυτό διαμορφώνει ένα laser τα χαρακτηριστικά του οποίου (μήκος κύματος εκπομπής, οπτική ισχύς εξόδου, εύρος μήκους κύματος) είναι προκαθορισμένα και συμβατά με τις απαιτήσεις της τεχνολογίας WDM.

Το laser αυτό είναι υψηλών επιδόσεων (συνήθως τύπου κατανεμημένης ανάδρασης - Distributed FeedBack – DFB) και κατασκευασμένο έτσι ώστε να εκπέμπει σε μία από τις προκαθορισμένες (για τη ζεύξη WDM) περιοχές μήκους κύματος. Με τον τρόπο αυτόν, από τους διαθέσιμους αναμεταδότες, δημιουργούνται ισάριθμα οπτικά κανάλια (με κεντρικά μήκη κύματος τα  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ) καθένα από τα οποία χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ενός ψηφιακού σήματος πληροφορίας. Στις εξόδους των αναμεταδοτών, μπορούν να τοποθετηθούν εξασθενητές για την προσαρμογή της οπτικής ισχύος στις απαιτήσεις του πολυπλέκτη και των οπτικών ενισχυτών που ακολουθούν (Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4:  
Δομικό διάγραμμα αναμεταδότη [1]





## Σημείωση

Η χρήση αναμεταδοτών μπορεί να αποφευχθεί (με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους) όταν έχει ληφθεί πρόνοια τα προς πολυπλεξία οπτικά σήματα να είναι συμβατά με την προς ανάπτυξη ζεύξη WDM (κάτι τέτοιο είναι π.χ. δυνατόν όταν μια ζεύξη WDM εγκαθίσταται μαζί με το ιννοοπτικό δίκτυο που παρέχει τα προς πολυπλεξία οπτικά σήματα). [1]

*Τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση της εξόδου του DFB laser του αναμεταδότη.*

Η διαμόρφωση αυτή (τύπου κλειδώματος πλάτους - Amplitude Shift Keying - ASK) μπορεί να είναι είτε άμεση (με εφαρμογή του ψηφιακού σήματος απευθείας στην τροφοδοσία του laser) είτε εξωτερική, συνήθως με χρήση ηλεκτροοπτικών διαμορφωτών Mach-Zehnder. [1]

Η ανάγκη για συμβατότητα μεταξύ των χρησιμοποιούμενων διατάξεων και συστημάτων έχει οδηγήσει την ITU-T στην υιοθέτηση συγκεκριμένων μηκών κύματος στα οποία μπορεί να εκπέμψει ένας αναμεταδότης (Σύσταση G.692). Αυτά τα μήκη κύματος (και οι αντίστοιχες συχνότητες) συνιστούν ένα “πλέγμα” (grid) τιμών (πίνακας 4.1) με συχνότητα αναφοράς τα 193.100 GHz (1552,527 nm) και απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων  $\Delta f = 100$  GHz ( $\Delta \lambda = 0,8$  nm). [1]

| f (THz) | λ (nm)   | f (THz) | λ (nm)   | f (THz) | λ (nm)   | f (THz) | λ (nm)   | f (THz) | λ (nm)   |
|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 197,100 | 1521,020 |         |          |         |          |         |          |         |          |
| 197,000 | 1521,792 | 195,000 | 1537,400 | 193,000 | 1553,331 | 191,000 | 1569,597 | 189,000 | 1586,206 |
| 196,900 | 1522,565 | 194,900 | 1538,189 | 192,900 | 1554,137 | 190,900 | 1570,419 | 188,900 | 1587,046 |
| 196,800 | 1523,338 | 194,800 | 1538,978 | 192,800 | 1554,943 | 190,800 | 1571,242 | 188,800 | 1587,886 |
| 196,700 | 1524,113 | 194,700 | 1539,769 | 192,700 | 1555,750 | 190,700 | 1572,066 | 188,700 | 1588,728 |
| 196,600 | 1524,888 | 194,600 | 1540,560 | 192,600 | 1556,557 | 190,600 | 1572,891 | 188,600 | 1589,570 |
| 196,500 | 1525,664 | 194,500 | 1541,352 | 192,500 | 1557,366 | 190,500 | 1573,716 | 188,500 | 1590,414 |
| 196,400 | 1526,441 | 194,400 | 1542,145 | 192,400 | 1558,175 | 190,400 | 1574,543 | 188,400 | 1591,258 |
| 196,300 | 1527,218 | 194,300 | 1542,939 | 192,300 | 1558,986 | 190,300 | 1575,370 | 188,300 | 1592,103 |
| 196,200 | 1527,997 | 194,200 | 1543,733 | 192,200 | 1559,797 | 190,200 | 1576,199 | 188,200 | 1592,949 |
| 196,100 | 1528,776 | 194,100 | 1544,528 | 192,100 | 1560,609 | 190,100 | 1577,028 | 188,100 | 1593,796 |
| 196,000 | 1529,556 | 194,000 | 1545,325 | 192,000 | 1561,422 | 190,000 | 1577,858 | 188,000 | 1594,643 |
| 195,900 | 1530,337 | 193,900 | 1546,122 | 191,900 | 1562,235 | 189,900 | 1578,689 | 187,900 | 1595,492 |
| 195,800 | 1531,118 | 193,800 | 1546,919 | 191,800 | 1563,050 | 189,800 | 1579,520 | 187,800 | 1596,342 |
| 195,700 | 1531,901 | 193,700 | 1547,718 | 191,700 | 1563,865 | 189,700 | 1580,353 | 187,700 | 1597,192 |
| 195,600 | 1532,684 | 193,600 | 1548,517 | 191,600 | 1564,681 | 189,600 | 1581,187 | 187,600 | 1598,044 |
| 195,500 | 1533,468 | 193,500 | 1549,318 | 191,500 | 1565,499 | 189,500 | 1582,021 | 187,500 | 1598,896 |
| 195,400 | 1534,253 | 193,400 | 1550,119 | 191,400 | 1566,316 | 189,400 | 1582,856 | 187,400 | 1599,749 |
| 195,300 | 1535,038 | 193,300 | 1550,921 | 191,300 | 1567,135 | 189,300 | 1583,692 | 187,300 | 1600,603 |
| 195,200 | 1535,825 | 193,200 | 1551,723 | 191,200 | 1567,955 | 189,200 | 1584,529 | 187,200 | 1601,458 |
| 195,100 | 1536,612 | 193,100 | 1552,527 | 191,100 | 1568,775 | 189,100 | 1585,367 | 187,100 | 1602,314 |

Πίνακας 4.1:

Πλέγμα συχνοτήτων (μηκών κύματος) κατά την ITU-T (Σύσταση G.692) [1]

## 4.3 Οπτικοί Ενισχυτές [2], [8]

Η παρουσία συσκευών ενίσχυσης οπτικού σήματος καθίσταται απαραίτητη λόγω της εξασθένησής του κατά τη μετάδοσή του μέσα από την ίνα.

Πριν την ανάπτυξή τους, ο μόνος τρόπος να ενισχυθεί το σήμα ήταν μέσω ηλεκτρικής αναγέννησης, δηλαδή να μετατραπεί το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, να ενισχυθεί, να επαναμετατραπεί σε οπτικό και ακολούθως να μεταδοθεί. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε μία



ξεχωριστή συσκευή (regenerator - αναγεννητή) για κάθε μήκος κύματος. Αντιθέτως, ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος σε μια ίνα. Έτσι, το κόστος της ενίσχυσης μπορεί να κατανεμηθεί σε διάφορους χρήστες ή εφαρμογές.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι πως επειδή είναι αυστηρά οπτικές συσκευές, είναι ανεξάρτητες από πρωτόκολλο και ρυθμό μετάδοσης. Αυτό το γεγονός παρέχει ευελιξία στο ότι μια σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα (π.χ. ATM, SONET, PPP) με οποιονδήποτε ρυθμό μετάδοσης. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως πρόκειται για μικρές σε μέγεθος συσκευές και με ελάχιστες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ κάτι που αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα.

Επιπρόσθετα της χρήσης των συσκευών αυτών στις οπτικές συνδέσεις, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και για την ενίσχυση της ισχύος του σήματος μετά από διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης, οι οποίες προκαλούν απώλειες στο σύστημα. Ειδικά για την περίπτωση της τεχνολογίας WDM, η οποία επιβάλλει την εκπομπή υψίρρυθμων σημάτων και σε μεγάλες αποστάσεις, ο ιδανικός τύπος οπτικού ενισχυτή είναι ο *Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου* (*Erbium-Doped Fiber Amplifier-EDFA*).

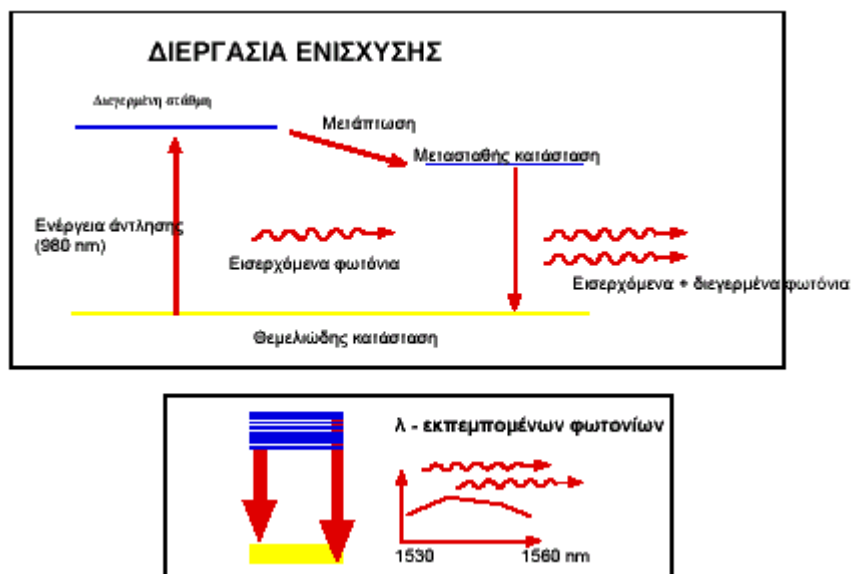
### 4.3.1 Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (EDFA) [1]

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ινοοπτικά δίκτυα είναι Ινο-Οπτικοί Ενισχυτές Ερβίου (*Erbium-Doped Fibre Amplifiers - EDFAs*). Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, μήκους μερικών δεκάδων μέτρων, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα αυτή τροφοδοτηθεί με τη δέσμη ενός laser άντλησης (pump laser), με τη «μεσολάβηση» των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία «αναστροφής πληθυσμών», η οποία οδηγεί σε (αμιγώς οπτική) ενίσχυση των πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων. Λόγω του ότι, στους συνήθεις EDFAs, η οπτική ενίσχυση, επιτελείται στην περιοχή 1525 - 1565 nm, οι ζεύξεις WDM λειτουργούν στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm.

Ο μηχανισμός της οπτικής ενίσχυσης στους EDFAs απεικονίζεται στο σχήμα 4.5. Λόγω της παρουσίας των ιόντων Ερβίου στο υλικό της ίνας ενίσχυσης, δημιουργείται μια δομή τριών ενεργειακών ζωνών, με ενεργειακές διαφορές  $\Delta E_{12}$  και  $\Delta E_{31}$ , τέτοιες ώστε τα αντίστοιχα μήκη κύματος  $\lambda_{12} = hc/\Delta E_{12}$  και  $\lambda_{31} = hc/\Delta E_{31}$  να είναι ίσα με 980 nm και 1525-1565 nm αντίστοιχα. (Ως γνωστόν, ενεργειακή διαφορά  $\Delta E$  αντιστοιχεί σε φωτόνια συχνότητας  $f$  (αντίστοιχα, μήκους κύματος  $\lambda=c/f$ ), μέσω του τύπου  $\Delta E = hf = hc/\lambda$ , όπου  $h$  είναι η σταθερά του Plank)

Υπό την επίδραση της δέσμης του laser άντλησης ( $\lambda_{12} = 980$  nm), φωτόνια «μεταφέρονται» στην ανώτερη ζώνη, από την οποία «μεταπίπτουν» στην ενδιάμεση. Η ζώνη αυτή είναι μετασταθής (metastable) και, λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής της ( $\tau_a = 10$  ms), προσφέρεται για τη «συσσώρευση» ηλεκτρονίων και τη δημιουργία κατάστασης «αναστροφής πληθυσμών» σε βάρος της βασικής ζώνης. Έτσι, μεταξύ της μετασταθούς και της βασικής ζώνης ξεκινάει μια διεργασία «εξαναγκασμένης εκπομπής» (lasing) η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φωτονίων μηκών κύματος  $\lambda = 1525$ - $1565$  nm και την ενίσχυση του αρχικού οπτικού σήματος (που περιέχει τα πολυπλεγμένα κανάλια).

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4, η διεργασία άντλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με laser μήκους κύματος 1480 nm (τα φωτόνια «μεταφέρονται» απευθείας στην ενδιάμεση μετασταθή ζώνη). Πράγματι, lasers άντλησης 1480 nm χρησιμοποιούνται στους ενισχυτές ίνας Ερβίου, προσφέροντας μεγαλύτερες ενισχύσεις αλλά και υψηλότερο θόρυβο.



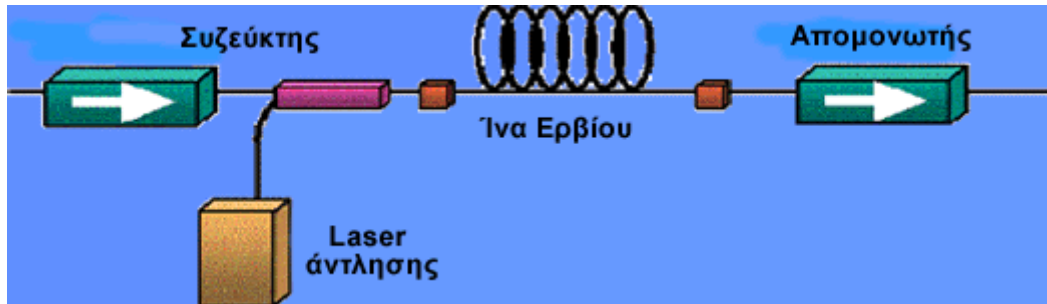
**Σχήμα 4.5:**  
Μηχανισμός Οπτικής Ενίσχυσης Ερβίου [1]

Επειδή αυτός ο μηχανισμός ενίσχυσης είναι ανεξάρτητος από το μήκος κύματος εντός μιας συγκεκριμένης φασματικής περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μηκών κύματος στην ίδια οπτική ίνα. Έτσι, περισσότεροι τέτοιοι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά για τη διάδοση του οπτικού σήματος μέσω μιας οπτικής ίνας για χιλιάδες χιλιόμετρα. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο μέγιστος αριθμός ενισχυτών σε σειρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τους έξι, λόγω θορύβου που εισάγουν και που ενισχύεται σε κάθε βαθμίδα. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι οι οπτικοί ενισχυτές δουλεύουν ικανοποιητικά στο κομμάτι εκείνο του φάσματος στο οποίο λειτουργούν τα συστήματα οπτικών ινών.

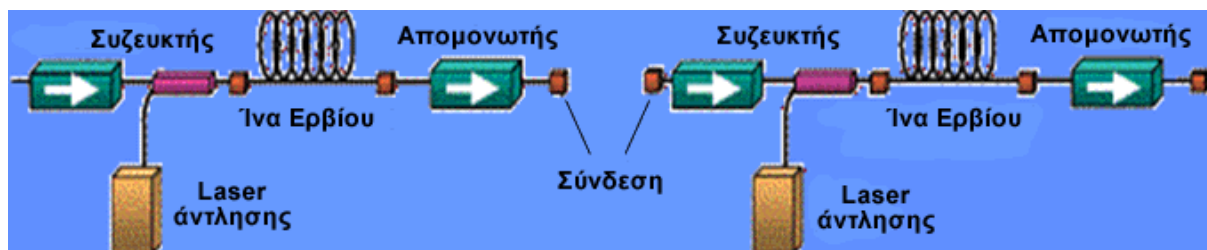
Σε ότι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μία ζεύξη WDM, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ισχύος (booster amplifier ή postamplifier) μετά την έξοδο του πολυπλέκτη, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενίσχυση του σύνθετου (aggregate) οπτικού σήματος.
- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής γραμμής (in-line amplifier) για την ενίσχυση του σήματος σε τακτές αποστάσεις (συνήθως 80-120 km).
- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως προενισχυτής (pre-amplifier) πριν την είσοδο του αποπολυπλέκτη, προκειμένου το οπτικό σήμα να αποκτήσει επαρκή ισχύ για τη διεργασία της αποπολυπλεξίας και τη λήψη των αποπολυπλεγμένων καναλιών από τους επιμέρους δέκτες.

Η βασική διάταξη ενός Ινο-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου φαίνεται στο σχήμα 4.6. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται η ενίσχυση με δύο βαθμίδες, η οποία επιτυγχάνει ενίσχυση με χαμηλό θόρυβο στην πρώτη βαθμίδα και μεγαλύτερη ενίσχυση στην δεύτερη.



Σχήμα 4.6:  
Βασική σχεδίαση Ivo-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου [3]



Σχήμα 4.7:  
Ενίσχυση με δύο βαθμίδες [3]

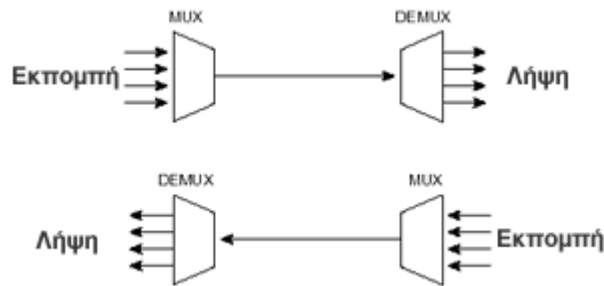
Το μειονέκτημα των EDFA είναι ότι λειτουργούν στο διάστημα 1530-1560 nm, ενώ η εξασθένηση του σήματος στην περιοχή 1500-1600nm είναι ελάχιστη. Ένα πρόσθετο πρόβλημα είναι ότι η απόσταση μεταξύ των διαφορετικών μηκών κύματος είναι πολύ μικρή, στο διάστημα 0.8-1.6nm, κάτι που προκαλεί crosstalk. Γι' αυτούς τους λόγους οδηγηθήκαμε στους *Silica Erbium fiber-based Dual-band fiber amplifier (DBFA)*, οι οποίοι δρουν στο διάστημα 1528-1610nm. Οι DBFA ουσιαστικά είναι σαν τους EDFA με λειτουργία σε πρόσθετο διάστημα, κάτι που έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους EDFA όπως το ότι φτάνουν στον κόρο πιο αργά και ότι εμφανίζουν λιγότερο θόρυβο.

#### 4.4 Οπτικοί Πολυπλέκτες-Αποπολυπλέκτες [2], [8]

Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης επιτρέπουν το συνδυασμό των εισερχόμενων προς μετάδοση σημάτων (σημείο εκπομπής) ή το διαχωρισμό του οπτικού σήματος στα στοιχειώδη σήματα που το απαρτίζουν (σημείο λήψης) αντίστοιχα.

Συνήθως οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε μία συσκευή, αν και σε κάποιες περιπτώσεις ο πολυπλέκτης και ο αποπολυπλέκτης είναι διαφορετικές συσκευές. Πολλές συσκευές πολύπλεξης-αποπολύπλεξης λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική παροχή, δηλαδή είναι εντελώς παθητικά στοιχεία και συμπεριφέρονται σαν φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα μήκη κύματος του οπτικού σήματος. Τα περισσότερα παθητικά στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και όταν αντιστραφεί η φορά του οπτικού σήματος.

Οι διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με το αν τα συστήματα μετάδοσης είναι μονόδρομης ή αμφίδρομης κατεύθυνσης (*Unidirectional/Bidirectional Systems*). Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στα ακόλουθα σχήματα:



**Σχήμα 4.8:**  
Εκπομπή/Λήψη σε Διαφορετικές Οπτικές Ίνες [2]

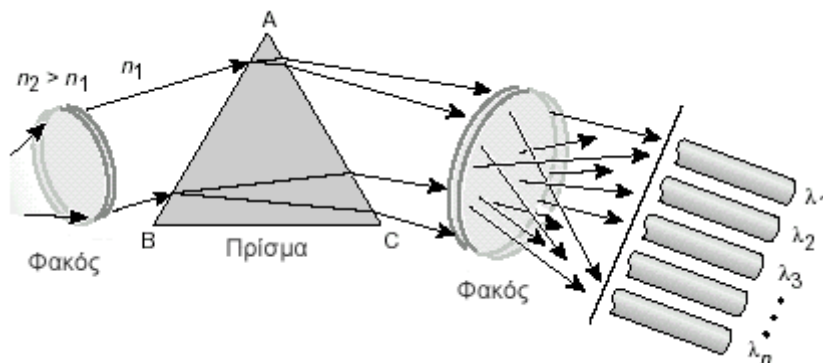


**Σχήμα 4.9:**  
Εκπομπή/Λήψη σε μία Οπτική Ίνα [2]

#### 4.4.1 Συσκευές Πολυπλεξίας-Αποπολυπλεξίας

Όσον αφορά τις υφιστάμενες τεχνικές αποπολύπλεξης, αυτές απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα. Είναι προφανές ότι οι ίδιες διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντίστροφα για την πολύπλεξη πολλών μηκών κύματος σε μια οπτική ίνα.

Μια απλή τεχνική πολυπλεξίας-αποπολυπλεξίας βασίζεται στη χρήση ενός πρίσματος. Το σχήμα 4.10 δείχνει τη διάταξη αποπολυπλεξίας. Μια παράλληλη ακτίνα του πολυχρωματικού φωτός προσπίπτει στην επιφάνεια ενός πρίσματος. Κάθε μήκος κύματος διαθλάται με διαφορετική γωνία. Αυτό είναι φαινόμενο αντίστοιχο της ανάλυσης του φωτός στο «ουράνιο τόξο» (rainbow effect). Ένας φακός εστιάζει κάθε μήκος κύματος στο σημείο εισαγωγής ανεξάρτητης οπτικής ίνας.

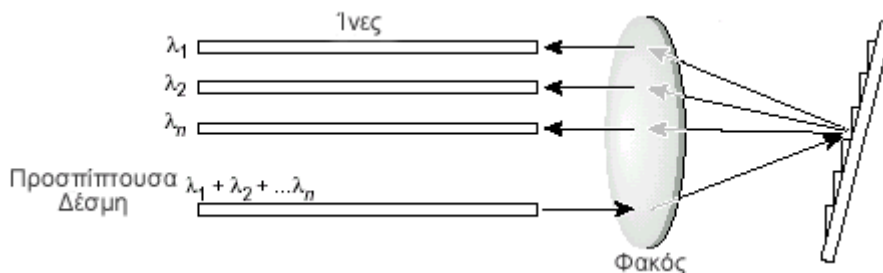


**Σχήμα 4.10:**  
Διάταξη Αποπολύπλεξης με χρήση Πρίσματος (Prism Refraction Demultiplexing) [2]





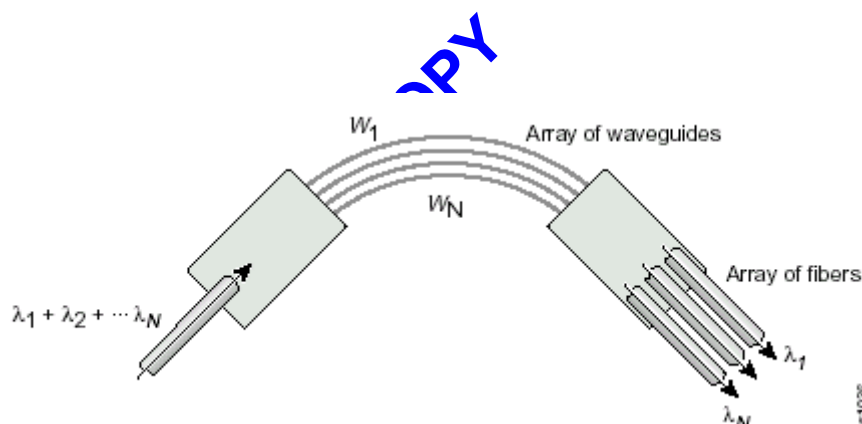
Μια άλλη τεχνική είναι βασισμένη στις αρχές της διάθλασης και της οπτικής περίθλασης. Όταν μία πολυχρωματική πηγή φωτός προσπίπτει σε ένα οπτικό φράγμα (Σχήμα 4.11), κάθε μήκος κύματος ανακλάται με διαφορετική γωνία. Με τη χρήση ενός φακού, μπορούμε να συλλέξουμε τα μήκη κύματος να τα στρέψουμε πάνω σε μεμονωμένες οπτικές ίνες.



Σχήμα 4.11:

Κυματοδηγός πλέγματος περίθλασης (Waveguide Grating Diffraction) [2]

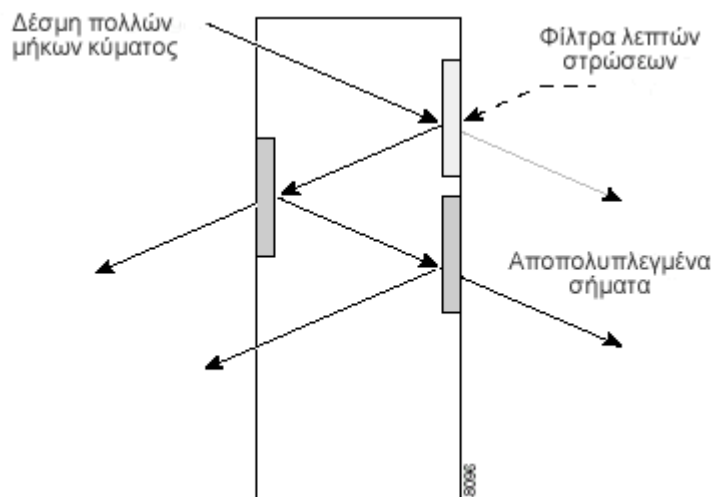
Η τεχνική του πλέγματος κυματοδηγών (AWG) είναι επίσης βασισμένη στις αρχές της συμβολής του φωτός. Μια συσκευή AWG, που πολλές φορές καλείται οπτικός κυματοδηγός δρομολόγησης ή κυματοδηγός δρομολόγησης πλέγματος, αποτελείται από μια σειρά κυματοδηγών -κυρτών καναλιών- με σταθερή διαφορά στο μήκος μετάδοσης (Σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.12:

Πλέγμα Κυματοδηγών (Arrayed Waveguide Grating-AWG) [2]

Μια διαφορετική τεχνική χρησιμοποιεί φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας σε συσκευές που ονομάζονται *φίλτρα λεπτών στρώσεων* ή *φίλτρα παρεμβολής πολλαπλών στρωμάτων*. Με τον προσδιορισμό θέσης των φίλτρων, που αποτελούνται από λεπτές στρώσεις διαφορετικού συντελεστή διάθλασης, τα μήκη κύματος μπορούν να αποπολυπλεχτούν (Σχήμα 4.13).



Σχήμα 4.13:

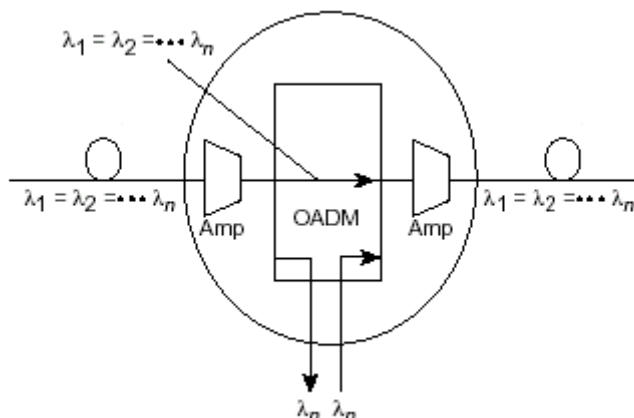
Φίλτρα πολλαπλών στρωμάτων (Multilayer Interference Filters) [2]

Οι τεχνικές AWG και των φίλτρων πολλαπλών στρωμάτων φαίνεται να υπερτερούν. Η τεχνική των φίλτρων παρεμβολής προσφέρει υψηλή σταθερότητα και απομόνωση μεταξύ των καναλιών με ικανοποιητικό κόστος, έχοντας ωστόσο μεγάλες απώλειες παρεμβολής του συστήματος (insertion losses). Η τεχνική AWG έχει ως βασικότερο πλεονέκτημα τη δυνατότητα σχεδιασμού ώστε οι διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Επιπλέον, είναι κατάλληλη όταν απαιτείται μεγάλος αριθμός καναλιών, ενώ εμφανίζει χαμηλότερες απώλειες παρεμβολής (insertion losses). Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η θερμοκρασιακή ευαισθησία των διατάξεών της, καθιστώντας την έτσι ακατάλληλη για ορισμένα περιβάλλοντα.

## 4.5 Οπτικοί Πολυπλέκτες Προσθαφαίρεσης [1], [2]

Μια ειδική κατηγορία οπτικών πολυπλεκτών, αυτή των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης (Optical Add/Drop Multiplexers-OADM's) κατέχει σημαντικότατο ρόλο στην προσπάθεια δημιουργίας εξολοκλήρου οπτικών δικτύων. Ο ρόλος τους είναι η εξαγωγή (dropping) από το σύνθετο (aggregate) οπτικό σήμα ή/και η εισαγωγή (adding) σε αυτό, ενός ή περισσότερων οπτικών καναλιών (Σχήμα 4.14). Ένας OADM μπορεί να εκτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες απευθείας στο οπτικό επίπεδο (optical layer) χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο. [1] Η λειτουργία τους έχει πολλά κοινά σημεία με τις αντίστοιχες ADM/SONET διατάξεις, με τη βασική διαφορά-πλεονέκτημα της μη μετατροπής του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό πριν το διαχωρισμό. Η σημαντικότερη παράμετρος για έναν OADM είναι ο αριθμός των καναλιών τα οποία μπορεί να εισάγει/εξάγει. Ανάλογα με τον κατασκευαστή, ο αριθμός αυτός ποικίλει από 4 έως 32.





Σχήμα 4.14:

Οπτικός πολυπλέκτης προσθαφαίρεσης (σχηματική αναπαράσταση) [2]

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι των OADM's. Ο πρώτος τύπος είναι μια σταθερή συσκευή που είναι φυσικά διαμορφωμένη ώστε να εξαγάγει (drop) συγκεκριμένα και προκαθορισμένα μήκη κύματος καθώς εισάγει (add) άλλα. Ο δεύτερος τύπος είναι ικανός να επιλέγει δυναμικά ποια μήκη κύματος να εισάγει (add) και ποια να εξαγάγει (drop).

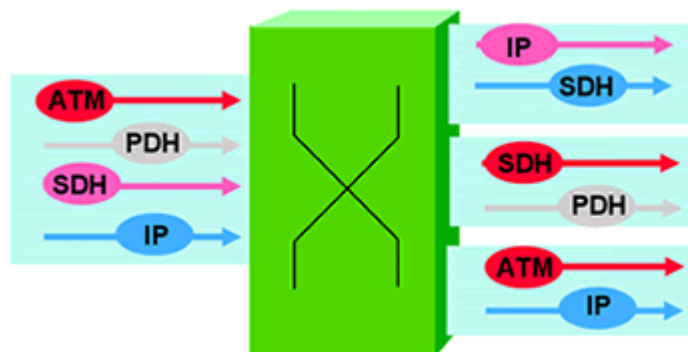


#### Σημείωση

Τα φίλτρα λεπτών στρώσεων ή φίλτρα παρεμβολής πολλαπλών στρωμάτων έχουν αποδειχθεί ως η καλύτερη επιλογή για OADM's μητροπολιτικών WDM συστημάτων λόγω του χαμηλότερου κόστους και της σταθερότητάς τους. [2]

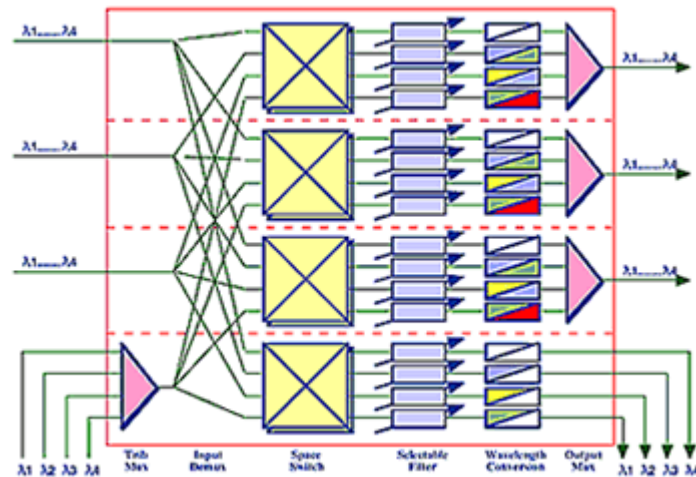
## 4.6 Οπτικοί Διασταυρωτήρες [1]

Ένας οπτικός διασταυρωτήρας (Optical Cross Connect – OXC) είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία, στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών (στο οπτικό επίπεδο, χωρίς εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο) από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο και μάλιστα δυναμικά. Η σημασία μιας τέτοιας διάταξης, για την ανάπτυξη ευέλικτων ολο-οπτικών δικτύων (all-optical networks) είναι προφανής.



Σχήμα 4.15:

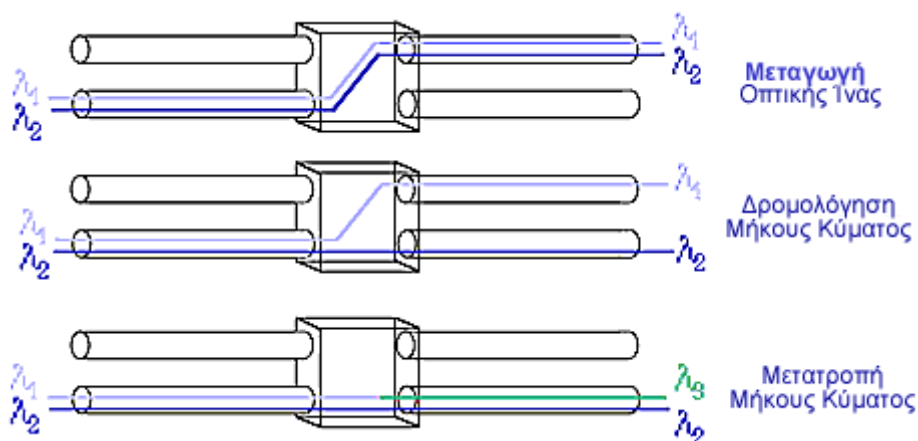
Οπτικός διασταυρωτήρας (σχηματική αναπαράσταση) [3]



Σχήμα 4.16:  
Οπτικός Διασταυρωτήρας (Block διάγραμμα) [16]

Στην οπτική περιοχή, όπου μπορούν να μεταδοθούν 40 οπτικά κανάλια από μία μόνο οπτική ίνα, απαιτείται ένα στοιχείο δικτύου να μπορεί να δέχεται διάφορα μήκη κύματος στις εισόδους του και να τα καθοδηγεί στις κατάλληλες εξόδους. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο οπτικός διασταυρωτήρας (OXC) χρειάζεται τρεις δομικές μονάδες. (Σχήμα 4.15) [16]

- *Μεταγωγή οπτικής ίνας (fiber switching)* – Η ικανότητα να καθοδηγούνται όλα τα μήκη κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε μια διαφορετική οπτική ίνα εξόδου.
- *Δρομολόγηση μήκους κύματος (wavelength switching)* – Η ικανότητα δρομολόγησης συγκεκριμένων μήκων κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε πολλαπλές οπτικές ίνες εξόδου.
- *Μετατροπή μήκους κύματος (wavelength conversion)* – Η ικανότητα μετατροπής επαναχρωματισμού των εισερχόμενων μήκων κύματος και η μετάδοσή τους με άλλη συχνότητα στην έξοδο.



Σχήμα 4.17:  
Δομικές μονάδες OXC [16]

Αν και επί του παρόντος, δεν διατίθενται οπτικοί διασταυρωτήρες από τους κατασκευαστές, αρκετές εταιρείες έχουν ανακοινώσει τη μελλοντική (μέχρι το 2002)



διάθεση των πρώτων σχετικών προϊόντων. Στα ερευνητικά εργαστήρια, έχουν δοκιμαστεί και δοκιμάζονται διάφορες τεχνικές με ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Κύριοι στόχοι, στις προσπάθειες αυτές, είναι η μείωση του χρόνου διασταύρωσης (cross-connection time), σήμερα της τάξης των 2 – 30 ms (ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνική), η μείωση των απωλειών παρεμβολής (insertion losses) και η επίτευξη υψηλής (80 dB) διακαναλικής απομόνωσης (interchannel isolation) για την αποφυγή αλληλοπαρεμβολών. [1]

## 4.7 Δρομολόγηση Μήκους Κύματος [8]

Ένα οπτικό δίκτυο περιλαμβάνει *δρομολογητές μήκους κύματος (wavelength switches)* και τελικούς κόμβους που συνδέονται ανά ζεύγη. Οι *μεταγωγείς δρομολόγησης μήκους κύματος (wavelength-routing switches)* διασυνδέονται μέσω οπτικής ίνας. Παρόλο που κάθε σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει πολλά σήματα, απαιτείται κάθε ένα από αυτά να έχει ξεχωριστό μήκος κύματος. Οι δρομολογητές (routers) μεταδίδουν το σήμα στο ίδιο μήκος κύματος με το οποίο το λαμβάνουν. Ένα πλήρως οπτικό wavelength-routed δίκτυο είναι ένα δίκτυο το οποίο μεταφέρει δεδομένα από τον ένα σταθμό στον άλλο χωρίς να γίνεται καμία οπτική ή ηλεκτρική μετατροπή.

### 4.7.1 Μεταγωγείς Μήκους Κύματος (Wavelength Switches)

Οι *μεταγωγείς μήκους κύματος (wavelength switches)* χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες :

- *Μη επαναδιαμορφώσιμος μεταγωγέας:* Αυτού του είδους οι μεταγωγείς, για κάθε θύρα εισόδου και κάθε μήκος κύματος μεταδίδουν προς ένα καθορισμένο σύνολο θυρών εξόδου στο ίδιο μήκος κύματος. Αυτό δε μπορεί να αλλάξει από τη στιγμή που θα διαμορφωθεί η διάταξη μεταγωγής. Τα δίκτυα που περιέχουν μόνο τέτοιους μεταγωγείς ονομάζονται μη-επαναδιαμορφώσιμα δίκτυα.
- *Επαναδιαμορφώσιμος ανεξάρτητος από το μήκος κύματος μεταγωγέας:* Αυτού του είδους οι μεταγωγείς έχουν μια σχέση εισόδου-εξόδου που μπορεί να αλλάξει δυναμικά. Αυτή η σχέση δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος του σήματος, δηλαδή υπάρχουν καθορισμένα σύνολα θυρών εξόδου όπου μπορεί να μεταδοθεί ένα εισερχόμενο σήμα.
- *Επαναδιαμορφώσιμος εξαρτώμενος από το μήκος κύματος μεταγωγέας:* Αυτού του είδους οι μεταγωγείς συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο πρώτων κατηγοριών. Είναι επίσης γνωστά ως γενικευμένοι (generalized) μεταγωγείς, και εκτός από το ότι μπορούν να αλλάξουν δυναμικά, η σχέση εισόδου-εξόδου είναι συνάρτηση του μήκους κύματος του εισερχόμενου σήματος.

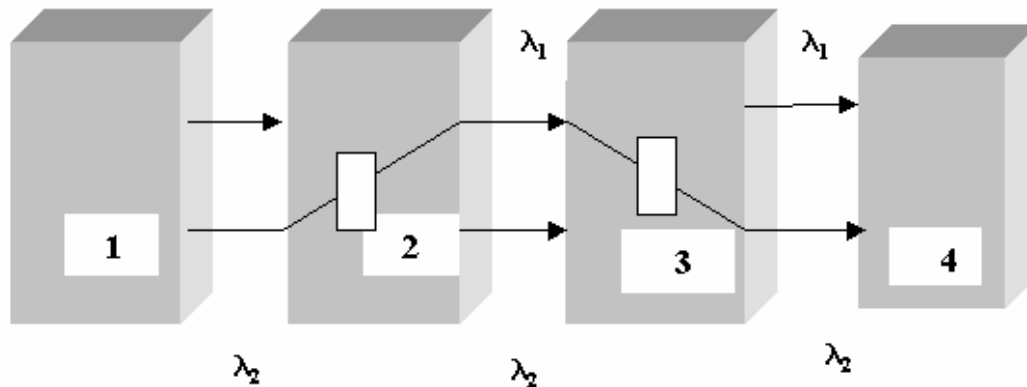
Οι επαναδιαμορφώσιμοι μεταγωγείς είναι πεπερασμένου βαθμού, ενώ οι μη-επαναδιαμορφώσιμοι μπορεί και να μην είναι. Αυτό σημαίνει ότι η πολυπλοκότητα ενός μη-επαναδιαμορφώσιμου δικτύου μπορεί να αγνοηθεί, καθώς δεν είναι σταθερού βαθμού. Αντίθετα, η πολυπλοκότητα ενός διαμορφώσιμου δικτύου είναι ισχυρά εξαρτημένη από το βαθμό περιορισμού.

### 4.7.2 Μετατροπή Μήκους Κύματος

Έστω ότι το δίκτυο παρουσιάζει την εικόνα του σχήματος 4.18. Τα μήκη κύματος  $\lambda_1$  και  $\lambda_2$  που φαίνονται είναι ελεύθερα μεταξύ των κόμβων 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Υπάρχουν



δύο μετατροπείς μήκους κύματος, ένας στον κόμβο 2 και ο άλλος στον κόμβο 3. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι δυνατή η δημιουργία διαδρομής από τον κόμβο 1 στον κόμβο 4 χωρίς μετατροπή, επειδή τα διαθέσιμα μήκη κύματος είναι διαφορετικά για κάθε σύνδεση.



Σχήμα 4.18:  
Μετατροπή Μήκους Κύματος [8]

Θα μπορούσαμε λοιπόν να επιλύσουμε αυτό το πρόβλημα μετατρέποντας το μήκος κύματος, που χρησιμοποιούν τα δεδομένα που φτάνουν από τον κόμβο 1 στον 2, από  $\lambda_1$  σε  $\lambda_2$ , στη σύνδεση των κόμβων 2 και 3. Αυτή η τεχνική καλείται μετατροπή μήκους κύματος. Λειτουργικά, ένα τέτοιο δίκτυο μοιάζει με δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων. Για οποιοδήποτε μοντέλο οπτικής δρομολόγησης, πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Οι μετατροπείς μήκους κύματος προτάθηκαν ως λύση γι' αυτό το πρόβλημα, και παρέχουν βελτίωση της τάξης 10%-40% στην αξιοποίηση μέσω επαναχρησιμοποίησης, όταν υπάρχουν λίγα διαθέσιμα μήκη κύματος.

Υπάρχουν οι ακόλουθες δυνατότητες μετατροπής μήκους κύματος:

- *Καμία μετατροπή:* δεν γίνεται μετατροπή μήκους κύματος.
- *Πλήρης μετατροπή:* κάθε αλλαγή μήκους κύματος είναι δυνατή και επομένως τα κανάλια μπορούν να συνδεθούν ανεξάρτητα από τα διαθέσιμα μήκη κύματος.
- *Μερική μετατροπή:* η αλλαγή μήκους κύματος είναι περιορισμένη και δεν είναι δυνατός ο συνδυασμός όλων των καναλιών.
- *Σταθερή μετατροπή:* είναι προκαθορισμένες οι αλλαγές μήκους κύματος, που μπορούν να γίνουν μεταξύ των καναλιών.
- *Αραιή μετατροπή:* το δίκτυο περιέχει τόσο κόμβους που υποστηρίζουν πλήρη μετατροπή όσο και κόμβους που δεν υποστηρίζουν μετατροπή.

Μολαταύτα, η μετατροπή μήκους κύματος έχει πολύ υψηλό κόστος ως τεχνολογία και δεν είναι ρεαλιστική η θεώρηση, ότι όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής του μήκους κύματος. Επομένως, εξετάζεται περισσότερο η περίπτωση που δεν υφίσταται πλήρης μετατροπή. Οι συχνότερες περιπτώσεις που συναντώνται στη βιβλιογραφία είναι η αραιή και η περιορισμένη.



### Σημείωση

Ο όρος *μήκος κύματος (wavelength)* χρησιμοποιείται αντί του όρου *συχνότητα (frequency)* για αποφυγή συγχύσεων με άλλες χρήσεις του όρου frequency. Ο όρος *μήκος κύματος (wavelength)* πολλές φορές εμφανίζεται και ως *lambda* ή *channel*. [2]

---

COPY



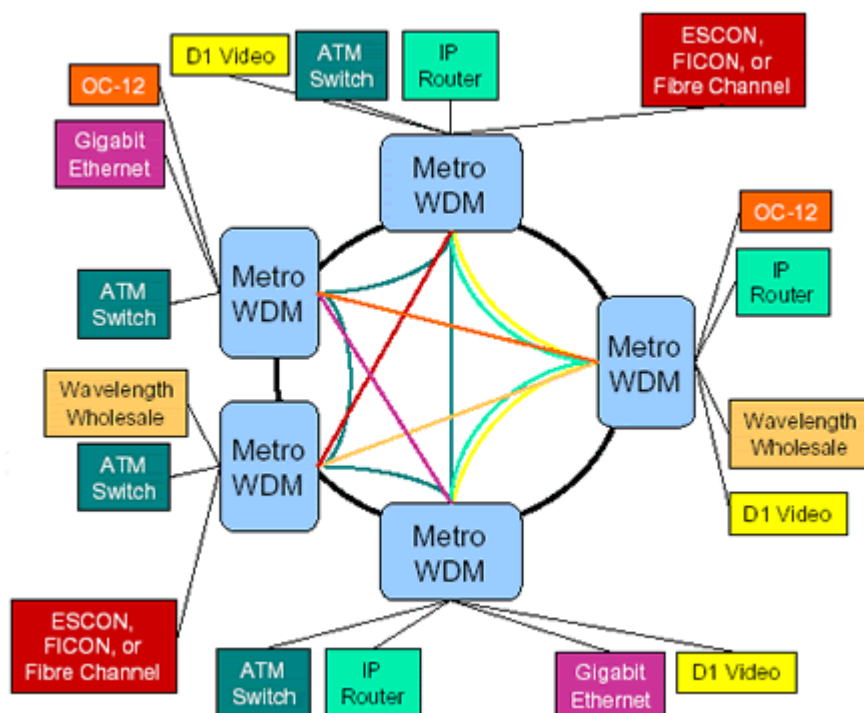
## Κεφάλαιο

# 5

COPY

### 5. WDM σε Μητροπολιτικά Δίκτυα

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε διάφορες τεχνολογίες μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στα Μητροπολιτικά Δίκτυα όπως *SDH*, *ATM - Asynchronous Transfer Mode*, *IP*, *Gigabit Ethernet*, *Fibre Channel*, *FDDI - Fiber Distributed Data Interface*, *ESCON - Enterprise System CONnection*, *FICON - Fiber channel CONnection*. Στη συνέχεια εν συντομία θα αναφερθούμε σε διάφορες παρεχόμενες εφαρμογές και υπηρεσίες (*xDSL*, *SAN*, *SMDS*, κλπ) καθώς και στις τοπολογίες, που μπορούν να εφαρμοσθούν στα Μητροπολιτικά Δίκτυα. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 5.1) φαίνονται παραστατικά μερικές από τις τεχνολογίες μετάδοσης που μπορούν να εφαρμοσθούν στα Μητροπολιτικά Δίκτυα.



Σχήμα 5.1:

Τεχνολογίες Μετάδοσης στα Μητροπολιτικά Δίκτυα (σχηματική αναπαράσταση)

## 5.1 Τεχνολογίες Μετάδοσης στα Μητροπολιτικά Δίκτυα

### 5.1.1 SONET/SDH [2]

Η τεχνολογία *SONET/SDH* αποτελεί την βασική τεχνολογία που χρησιμοποιείται από τηλεπικοινωνιακές εταιρείες στο δίκτυο κορμού. Έχει πλήρως τυποποιηθεί και χρησιμοποιείται λόγω της υψηλής αξιοπιστίας, της κεντρικής διαχείρισης και της εναλλακτικότητας στη διαδρομή, που σε συνδυασμό με την τοπολογία δακτυλίου διασφαλίζει αδιάλειπτη λειτουργία σε περίπτωση βλάβης. Βασίζεται στην μεταγωγή κυκλώματος και ως εκ τούτου είναι κατάλληλη κυρίως για τηλεφωνικά κυκλώματα, ενώ για μετάδοση δεδομένων υστερεί σημαντικά προς την IP. Παρά ταύτα αποτελεί σήμερα τον βασικό κορμό του τηλεφωνικού δικτύου (δίκτυο κορμού και ζευκτικό δίκτυο) και η κατάσταση αυτή αναμένεται να διατηρηθεί για αρκετό ακόμα καιρό. Για την τεχνολογία *SONET/SDH* μιλήσαμε αναλυτικά στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

### 5.1.2 ATM (Asynchronous Transfer Mode) [19]

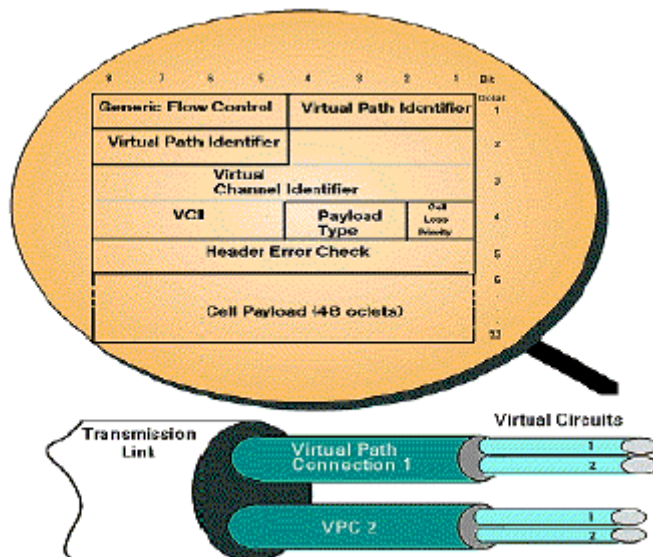
Ο ασύγχρονος τρόπος μετάδοσης (*Asynchronous Transfer Mode - ATM*) είναι μια τεχνολογία μεταγωγής κυψελίδας και πολυπλεξίας με μεγάλες δυνατότητες που επιτρέπει σε πακέτα καθορισμένου μεγέθους να μεταφέρουν διάφορους τύπους κίνησης. Η ATM δίνει τη δυνατότητα για διασύνδεση LAN υψηλών ταχυτήτων, μεταφορά φωνής και βίντεο, αλλά και





υποστήριξη των μελλοντικών απαιτητικών εφαρμογών πολυμέσων, τόσο στο επιχειρησιακό περιβάλλον βραχυπρόθεσμα, όσο και στο περιβάλλον των απλών συνδρομητών.

Στα δίκτυα ATM, η πληροφορία τοποθετείται σε κυψελίδες καθορισμένου μεγέθους των 48 bytes (8 bits per byte) με 5 bytes για την επικεφαλίδα της κυψελίδας (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2:

Καθορισμένου μήκους κυψελίδες των δικτύων ATM [19]

Η ATM έχει την ιστορία της στην ανάπτυξη του ευρυζωνικού ISDN τις δεκαετίες 1970 και 1980. Τεχνικά, μπορεί να προσδιοριστεί ως εξέλιξη της μεταγωγής πακέτου (packet switching). Η (τεχνολογία) ATM ενοποιεί τις λειτουργίες πολυπλεξίας και μεταγωγής, είναι κατάλληλη για κυκλοφορία σε ριπές (bursty traffic) και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών, που λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες. Αντίθετα με τη μεταγωγή πακέτου, η ATM είναι σχεδιασμένη για δικτυακή υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Η τεχνολογία ATM, εφαρμόζεται επίσης σε ένα πολύ ευρύ φάσμα δικτυακών συσκευών (networking devices), από συνδέσεις για PC και σταθμούς εργασίας, μέχρι και μεταγωγείς κορμού ATM.

Η ATM προσφέρει ακόμα, μια δυνατότητα, που μπορεί να προσφερθεί και ως υπηρεσία για τον τελικό χρήστη από τις εταιρίες παροχής δικτυακών υπηρεσιών ή και ως δικτυακή υποδομή για την υποστήριξη διαφόρων άλλων υπηρεσιών. Αυτή είναι η δυνατότητα για τα νοητά κυκλώματα (virtual circuits), τα οποία είναι συνδέσεις από άκρο σε άκρο των οποίων τα τελικά σημεία και η διαδρομή καθορίζονται χωρίς όμως να δεσμεύεται εύρος ζώνης γι. αυτές. Το εύρος ζώνης κατανέμεται δυναμικά από το δίκτυο ανάλογα με τη ζήτηση, καθώς οι χρήστες του δικτύου επιθυμούν να καλύψουν τις απαιτήσεις τους. Ακόμα, η ATM καθορίζει διάφορες κλάσεις υπηρεσιών (classes of service) ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες μιας μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών.

Η ATM αποτελεί και μια ομάδα διεθνών προτύπων που καθορίστηκαν από την International Telecommunications Union - Telecommunications (ITU-T) (την πρώην CCITT). Ο ATM Forum είναι ένας επίσης διεθνής εθελοντικός οργανισμός, που περιλαμβάνει προμηθευτές, παροχείς υπηρεσιών, ερευνητικούς οργανισμούς και χρήστες. Ο σκοπός του είναι να προωθήσει τη χρήση των προϊόντων και υπηρεσιών ATM στις σημερινές συνθήκες της παγκόσμιας δικτύωσης και διασύνδεσης. Έτσι, ο συγκεκριμένος οργανισμός έχει παίξει βασικό ρόλο στην αγορά του ATM, από το 1991 που ιδρύθηκε και έπειτα.



Η ενοποίηση των WDM και ATM είναι κάτι που επιδιώκεται. Το εύρος ζώνης που μπορεί να εξοικονομηθεί μέσω της συγκεκριμένης ενοποίησης αποτελεί ένα πραγματικά πολύ ισχυρό κίνητρο προώθησης της συγκεκριμένης έρευνας. Καθώς όλο και περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούν φωνή και βίντεο ταυτόχρονα με ένα αυξανόμενο ποσό δεδομένων, η ανεπάρκεια εύρους ζώνης που αντιμετωπίζουν οι παραπάνω εφαρμογές γίνεται περισσότερο εμφανής. Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης για το Internet διπλασιάζονται κάθε χρόνο και το πρόβλημα αυτό γίνεται ιδιαίτερα εμφανές στον κορμό του δικτύου. Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών οδηγείται σε τεράστιες επενδύσεις, έτσι ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για χωρητικότητα/εύρος ζώνης. Παράλληλα, οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς καλούνται να παρέχουν βελτιωμένη Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service), να προβλέπουν για διάφορες κλάσεις υπηρεσιών, να ανταποκρίνονται στις αυστηρές απαιτήσεις φωνής και βίντεο και τέλος να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις τεράστιες ποσότητες δεδομένων στα δίκτυα τους. Τα καλά νέα, για τις συγκεκριμένες συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί, είναι ότι η λύση των παραπάνω προβλημάτων είναι διαθέσιμη σήμερα. Ο συνδυασμός της τεχνολογίας πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (WDM) με την τεχνολογία ασύγχρονου τρόπου μετάδοσης (ATM) μπορεί να λύσει ικανοποιητικά τα ζητήματα εύρους ζώνης και ποιότητας υπηρεσιών με έναν αποδοτικό, όσο και οικονομικό τρόπο. Επομένως το ATM είναι μια σωστή λύση στα Μητροπολιτικά Δίκτυα, υποστηρίζοντας εφαρμογές όπως το xDSL, το VoIP και το Frame Relay.

### 5.1.3 IP (Internet Protocol)

Το βασικότερο στοιχείο του Internet είναι το πρωτόκολλο *IP (Internet Protocol)* βάσει του οποίου μεταφέρονται και δρομολογούνται τα δεδομένα μεταξύ των χρηστών σε μορφή πακέτων. Το IP είναι εξαιρετικά απλό και βασίζεται στη δρομολόγηση των πακέτων με τη βοήθεια της επικεφαλίδας τους.

Τα IP πακέτα αποστέλλονται από τον ένα δρομολογητή στον άλλο και διατρέχουν το δίκτυο με κατεύθυνση τον τελικό αποδέκτη. Κάθε δρομολογητής διατηρεί πίνακες δρομολόγησης βάσει των οποίων, το κάθε πακέτο αποστέλλεται στη κατάλληλη πόρτα εξόδου προς τον τελικό προορισμό. Όταν ένα πακέτο φθάνει σε ένα δρομολογητή αποθηκεύεται προσωρινά σε έναν καταχωρητή ουράς. Όταν φθάσει στην αρχή της ουράς, ο δρομολογητής διαβάζει την διεύθυνση του αποδέκτη που υπάρχει στην επικεφαλίδα του πακέτου, και αποστέλλει στη συνέχεια το πακέτο προς την κατάλληλη πόρτα εξόδου.

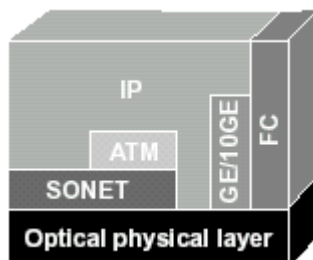
Το IP σχεδιάστηκε αρχικά για το δίκτυο ARPANET με στόχο να δημιουργηθεί ένα δίκτυο ασφαλές και ευέλικτο ώστε να αντέχει σε πολεμικές επιθέσεις. Οι πίνακες δρομολόγησης ενημερώνονται συχνά ώστε να λαμβάνουν υπ' όψη τους διακοπές γραμμών, και προβλήματα δρομολογητών ή αλλαγές στον προγραμματισμό του δικτύου.

Η απλότητα του IP και η δυνατότητά του να προσαρμόζεται σε προβλήματα και αλλαγές στο δίκτυο είναι δύο από τους λόγους που έκαναν το IP τόσο επιτυχημένο. Ιδιαίτερα η δυνατότητα του IP να προσαρμόζεται σε αλλαγές του δικτύου επέτρεψε το Internet να εξαπλωθεί με ταχύτητα σε όλο τον κόσμο και να διασυνδέει εύκολα δίκτυα διαφόρων τύπων και μεγεθών.[5]

Όπως το ATM έτσι και το IP είναι μια τεχνολογία μετάδοσης και μπορεί να προσαρμοσθεί στο WDM. Στην περίπτωση των Μητροπολιτικών Δικτύων παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως, απλουστευμένη υποδομή, χαμηλό κόστος λόγω μικρότερου αριθμού συσκευών και πλήθους οπτικών ινών, «ανοικτές» διεπαφές, αυξημένη ευελιξία και σταθερότητα. Η ερώτηση όμως που πρέπει να απαντηθεί, είναι με ποια μορφή πρέπει το IP να εφαρμοσθεί στο οπτικό δίκτυο: IP over ATM over SONET, IP over SONET (ή POS), ή IP



over Gigabit Ethernet ή 10 Gigabit Ethernet ή IP over DWDM; Ερώτηση που επιχειρείται να απαντηθεί μέσα από την έρευνα των τηλεπικοινωνιακών εταιριών και οργανισμών. (Σχήμα 5.3) [2]



Σχήμα 5.3:

Τεχνολογίες Μετάδοσης πάνω στο Οπτικό Επίπεδο [2]

### 5.1.4 Gigabit Ethernet

Τα τελευταία 25 χρόνια, το Ethernet έχει εξελιχθεί στο πιο δημοφιλές πρότυπο τοπικών δικτύων, ικανό να μεταδώσει 100 εκατομμύρια bps πάνω από καλώδιο UTP και οπτική ίνα.

Το Νοέμβριο του 1995 η IEEE 802.3 σχημάτισε μια νέα ομάδα για να ερευνήσει τη δυνατότητα του Ethernet να λειτουργήσει στα 1 Gbps. Το Μάρτιο του 1996, η IEEE σχημάτισε το νέο 802.3z group για να τυποποιήσει το Gigabit Ethernet. Το Μάιο του 1996, οι εταιρείες της Fast Ethernet Alliance μαζί με κάποιες νέες, οργάνωσαν την Gigabit Ethernet Alliance (GEA). Στο σημείο αυτό δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι ποιοι ήταν οι εφευρέτες του Gigabit Ethernet. Η εταιρεία Packet Engines έκανε την πρώτη δημόσια ανακοίνωση τον Σεπτέμβριο του 1995 και φιλοξένησε το πρώτο industry meeting τον Οκτώβριο του 1995.

Στόχος του Gigabit Ethernet ήταν αρχικά μεταγόμενη αμφίδρομη λειτουργία (switched full-duplex operation) πάνω από οπτική ίνα. Ο λόγος ήταν ότι το Gigabit Ethernet θα χρησιμοποιείτο αρχικά για να συνδέσει διαφορετικά δίκτυα κορμού (backbones) ή υπερεξυπηρετητές (superservers) και σταθμούς εργασίας (workstations). Μερικά μέλη της IEEE σκέφτηκαν όμως, ότι μια υλοποίηση βασισμένη σε χαλκό και τοπολογία κοινού δρόμου έπρεπε να συμπεριληφθεί. Έτσι η IEEE υιοθέτησε ένα συμβιβασμό. Μια νέα task force, η 802.3ab, θα εξέταζε την δυνατότητα λειτουργίας με χρήση καλωδίου UTP κατηγορίας 5.

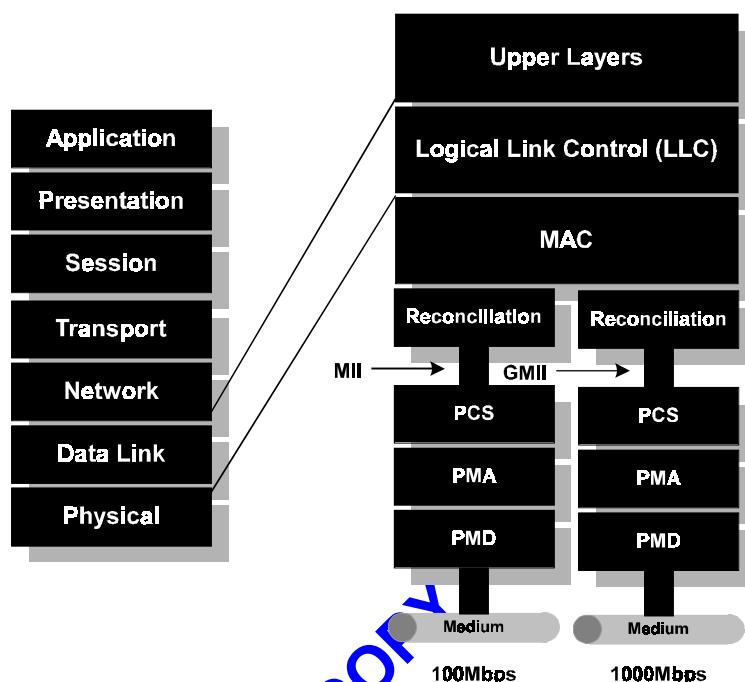
Το πρότυπο καλωδίωσης του Gigabit Ethernet προήλθε από μια την τεχνολογία Fiber Channel, και το Gigabit Ethernet περιλαμβάνει ένα επαναληπτή, που επιτρέπει να χτιστούν οικονομικοί, επαναληπτές κοινού δρόμου.

Το πρότυπο 802.3z ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 1998. Η τελική τυποποίηση περιλαμβάνει μια μηχανή CSMA/CD MAC καθώς και τρία καλωδιακά πρότυπα - το 1000BASE - SX και LX για οπτική ίνα, και το 1000BASE-CX για υψηλής ποιότητας καλωδίωσης χαλκού.

Για την επίτευξη της ταχύτητας 1Gbps χρειάζεται να γίνουν πολλές αλλαγές σε επίπεδο του φυσικού μέσου. Αποφασίστηκε επίσης ότι από το επίπεδο σύνδεσης και πάνω το Gigabit Ethernet πρέπει να ταυτίζεται σε συμπεριφορά με το Ethernet. Έτσι για την υλοποίηση επιλέχθηκε ο συνδυασμός δύο τεχνολογιών (προτύπων): της IEEE 802.3 Ethernet



και της ANSI X3T11 Fibre Channel. Αυτό σημαίνει ότι το πρότυπο μπορεί να εκμεταλλευτεί την υφιστάμενη, υψηλής ταχύτητας πρόσβαση στο φυσικό μέσο, τεχνολογία του Fibre Channel, ενώ διατηρείται ταυτόχρονα το πρότυπο πλαισίου του Ethernet και η προς τα πίσω συμβατότητα με την εγκατεστημένη βάση συστημάτων. Το αρχιτεκτονικό μοντέλο του Gigabit Ethernet παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4:

Αρχιτεκτονική IEEE 802.3z Gigabit Ethernet

Επειδή το οπτικό φυσικό επίπεδο μπορεί να υποστηρίξει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια από τα παραδοσιακά καλώδια UTP κατηγορίας 5, το Gigabit Ethernet πάνω από οπτική ίνα (1000BASE - SX και LX) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα Μητροπολιτικά Δίκτυα χρησιμοποιώντας τεχνολογία WDM. Το Gigabit Ethernet προσφέρει τα τεχνικά πλεονεκτήματα μιας αποδεδειγμένης, προσαρμόσιμης, αξιόπιστης, και απλής τεχνολογίας. Οι εφαρμογές είναι τυποποιημένες και λειτουργικές, και το κόστος είναι πολύ μικρότερο από τη χρήση τεχνολογίας SONET/SDH ή ATM. Επίσης η πρόσφατη πρόοδος του Ethernet στην τεχνολογία, 10Gigabit Ethernet, οδηγεί στην διασύνδεση Ethernet τοπικών δικτύων (LAN), μέσω Μητροπολιτικών Δικτύων με ταχύτητες 10, 100 ή 1000Mbps, χωρίς να είναι αναγκαία η χρήση τεχνολογίας SONET/SDH ή ATM. [2]



#### Σημείωση

Category 5 UTP (Unshielded Twisted Pair copper wiring) Αθωράκιστο χάλκινο καλώδιο συνεστραμμένων ζεύγους Κατηγορίας 5. Το καλώδιο αυτό περιέχει οκτώ σύρματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αποστάσεις έως 30 μέτρα. [6]



## 5.1.5 Fibre Channel

Το *Fibre Channel* είναι η κυρίαρχη τεχνολογία διασύνδεσης δεδομένων που χρησιμοποιείται στα δίκτυα αποθήκευσης (*Storage Area Networks - SAN*), για τα οποία θα μιλήσουμε σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου. Το *Fibre Channel* αποτελεί την πιο οικονομικά αποδεκτή αντικατάσταση του πρωτοκόλλου *Small Computer System Interface (SCSI)* ως μέσο διασύνδεσης για εφαρμογές όπως εφεδρική αποθήκευση δεδομένων (*data backup*), αποκατάσταση δεδομένων (*recovery*) και *mirroring*. Οι διασυνδέσεις του *Fibre Channel* είναι σήμερα διαθέσιμες στα 100 MBps. Στο εγγύς μέλλον περιμένουμε διασυνδέσεις των 200 MBps, ενώ βρίσκονται σε δοκιμαστικό στάδιο διασυνδέσεις των 400 MBps (**Προσοχή μιλάμε για MBps, megabytes per second**). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του *Fibre Channel* είναι ότι δεν περιορίζεται στις μικρές αποστάσεις, όπως το *SCSI*. Το *Fibre Channel* μπορεί να εφαρμοστεί σε σημείο-σημειακό τοπολογίες (*point-to-point*), δακτυλίου (*ring*) και πλέγματος (*mesh*) χρησιμοποιώντας έναν δρομολογητή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το *Fibre Channel* όπως και άλλα πρωτόκολλα, μπορεί να μεταφερθεί άμεσα στο οπτικό στρώμα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία *WDM*. [2]

## 5.1.6 FDDI (Fiber Distributed Data Interface) [6]

Το *FDDI* είναι το ακρόνυμο των λέξεων *Fiber Distributed Data Interface* (*Κατανεμημένη Διασύνδεση Δεδομένων με Οπτικές Ίνες*). Όπως σίγουρα καταλαβαίνετε βασίζεται στις οπτικές ίνες. Επίσης βασίζεται σε τοπολογία δακτυλίου και σε μεταβίβαση σκυτάλης (*token passing*). Αποτελεί, βέβαια, εφαρμογή της τεχνολογίας δακτυλίου με πέρασμα σκυτάλης σε δίκτυο οπτικών ινών.



### Σημείωση

*Token Passing (Μεταβίβαση Σκυτάλης)*. Ένας τρόπος ελέγχου της προσπέλασης του δικτύου με τη χρήση ενός μικρού πακέτου, της σκυτάλης (*token*), το οποίο κυκλοφορεί στο δίκτυο από κόμβο σε κόμβο. Ο κάθε κόμβος επιτρέπεται να μεταδώσει μόνον όταν κατέχει τη σκυτάλη. [6]

*Token Ring*. Αναφέρεται στην αρχιτεκτονική διαύλου με σκυτάλη που ανέπτυξε η IBM και εφαρμόστηκε ευρέως στα δίκτυα μεταβίβασης σκυτάλης. Τα δίκτυα *Token Ring* συνήθως είναι δίκτυα δακτυλίου με αστεροειδή καλωδίωση (*star-wired ring*), στα οποία οι κόμβοι συνδέονται με *hubs* γνωστά με το όνομα *Μονάδες Προσπέλασης Πολλών Σταθμών (Multistation Access Units - MAU)*. Τα δίκτυα αυτά συνήθως λειτουργούν στα 4 Mbps ή στα 16 Mbps, αν και υπάρχουν σε εξέλιξη εκδόσεις 100 Mbps και 1 Gbps. [6]

Το *FDDI* εξελίχθηκε για δύο κύριους λόγους: για να υποστηρίξει και να βοηθήσει στην επέκταση των δυνατοτήτων των παλαιότερων LAN, όπως είναι το *Ethernet* και το *Token Ring*, και για να παρέχει μια αξιόπιστη υποδομή για επιχειρήσεις. Οι προδιαγραφές *FDDI*, που βασίζονται σε ένα πρότυπο το οποίο ανέπτυξε μια επιτροπή του ANSI γνωστή ως *X3T9.5*, παρουσιάστηκαν το 1986.

Αν και το *FDDI* δεν είναι πραγματική τεχνολογία WAN (οι δακτύλιοί του περιορίζονται στα 100 χιλιόμετρα), η εμβέλειά του το κάνει κατάλληλο για χρήση στα δίκτυα κορμού, και επίσης μπορεί να αποτελέσει τον πυρήνα μεγαλύτερων δικτύων όπως είναι τα Μητροπολιτικά Δίκτυα. Με αυτή την έννοια το *FDDI*, είναι πιο κοντά στα LAN από ό,τι στα WAN. Επιπλέον, επειδή το *FDDI* μεταδίδει πληροφορίες στα 100 Mbps, χρησιμοποιείται συχνά για τη σύνδεση συσκευών υψηλών ταχυτήτων, όπως είναι τα συστήματα κεντρικών





υπολογιστών (mainframe), οι mini υπολογιστές, και τα περιφερειακά τους ή για τη σύνδεση συσκευών μεγάλων ταχυτήτων μέσα στα πλαίσια ενός LAN.

Όπως δείχνει και το όνομά του, το FDDI εξελίχθηκε με βάση την ιδέα χρήσης οπτικού καλωδίου. Και πράγματι, αυτός είναι ο τύπος καλωδίου χρησιμοποιείται, ειδικά αν απαιτείται μετάδοση υψηλής ταχύτητας για σχετικά μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο, σε μικρότερες αποστάσεις (περίπου 100 μέτρα), το FDDI μπορεί να υλοποιηθεί και μέσω φθηνότερων χάλκινων καλωδίων.

Η τοπολογία και η λειτουργία του FDDI είναι παρόμοια με αυτή του Token Ring. Επιπλέον το FDDI χαρακτηρίζεται από δύο δακτυλίους *αντίθετης περιστροφής* (τοπολογία γνωστή ως *τοπολογία διπλού δακτυλίου - dual ring topology*).

Ένα δίκτυο FDDI δεν μπορεί να περιλαμβάνει δακτυλίους μήκους άνω των 100 km ο καθένας. Άλλος ένας περιορισμός των δικτύων FDDI είναι ότι δεν μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερους από 500 κόμβους ανά δακτύλιο.

Το FDDI είναι ένα δίκτυο υψηλής ταχύτητας και μεγάλου εύρους ζώνης το οποίο βασίζεται κυρίως σε μετάδοση με οπτικές ίνες. Η υλοποίησή του είναι σχετικά δαπανηρή, αν και το κόστος μπορεί να συγκρατηθεί αν συνδυάσουμε καλώδια οπτικών ινών με χάλκινα. Ωστόσο, επειδή υπάρχει εδώ και λίγα χρόνια, έχει δεχθεί τις απαραίτητες ρυθμίσεις για να παρέχει υψηλό επίπεδο ευστάθειας κατά την λειτουργία.

### 5.1.7 ESCON (Enterprise System CONnection)

Η *ESCON (Enterprise System CONnection - Σύνδεση Επιχειρηματικών Συστημάτων)* είναι μία τεχνολογία σύνδεσης καναλιών της IBM (International Business Machines Corporation), που χρησιμοποιεί οπτικές ίνες και παρέχει ρυθμό μετάδοσης της τάξεως των 17 MBps. Η τεχνολογία ESCON παρέχει άμεσες κανάλι-με-κανάλι (channel-to-channel) συνδέσεις μεταξύ συστημάτων κεντρικών υπολογιστών (mainframe) και των περιφερειακών τους μονάδων πάνω από οπτικές ίνες και σε αποστάσεις της τάξεως των 60 km. Η τεχνολογία ESCON έρχεται να αντικαταστήσει την τεχνολογία του Original Equipment Manufacturer Interface (OEMI) που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά πριν από 25 χρόνια και αφορούσε την επεξεργασία δεδομένων σε μεγάλα I/O συστήματα.

### 5.1.8 FICON (Fiber channel CONnection)

Το *FICON (Fiber channel CONnection)* είναι ένα αμφίδρομο πρωτόκολλο καναλιών νέας γενιάς που χρησιμοποιείται για να συνδέει συστήματα κεντρικών υπολογιστών (mainframe) άμεσα με τις μονάδες ελέγχου ή τους δρομολογητές ESCON. Το πρωτόκολλο FICON τρέχει πάνω σε Fibre Channel με ρυθμό μετάδοσης της τάξεως των 1,06 Gbps. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του FICON είναι ότι η απόδοσή του δεν υποβαθμίζεται σε σχέση με την απόσταση όπως συμβαίνει στο ESCON. Το FICON μπορεί να φθάσει σε μια απόσταση 100 km πριν εμφανίσει οποιαδήποτε σημαντική πτώση στον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων.

Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας που περιέχει τις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, καθώς και τους ρυθμούς μετάδοσής αυτών.



| Κύριες τεχνολογίες μετάδοσης & πρωτόκολλα                                           | Ρυθμοί μετάδοσης (bit rates) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>SONET &amp; SDH</b>                                                              |                              |
| STM-1/STM-1c & OC-3/OC-3c                                                           | 155 Mbps                     |
| STM-4/STM-4c & OC-12/OC-12c                                                         | 622 Mbps                     |
| STM-16/STM-16c & OC-48/OC-48c                                                       | 2,488 Gbps                   |
| STM-64/STM-64c & OC-192/OC-192c                                                     | 9,953 Gbps                   |
| <b>Ethernet</b>                                                                     |                              |
| Fast Ethernet 100base-FX                                                            | 125 Mbps                     |
| Gigabit Ethernet 100base-SX                                                         | 1,25 Gbps                    |
| Gigabit Ethernet 100base-LX                                                         | 1,25 Gbps                    |
| 10 Gigabit Ethernet LAN PHY                                                         | 10 Gbps                      |
| 10 Gigabit Ethernet WAN PHY                                                         | 9,953 Gbps                   |
| <b>ESCON/FICON</b>                                                                  |                              |
| ESCON                                                                               | 200 Mbps                     |
| FICON                                                                               | 1,06 Mbps                    |
| <b>Fibre Channel</b>                                                                |                              |
| 12-M6-LE-I (133 Mbps)                                                               | 133 Mbps                     |
| 25-SM-LL-I (266 Mbps)                                                               | 266 Mbps                     |
| 50-M5-SL-I (531 Mbps)                                                               | 531 Mbps                     |
| 100-SM-LL-I (1,062 Gbps)                                                            | 1,062 Gbps                   |
| <b>FDDI</b>                                                                         |                              |
| FDDI SM                                                                             | 125 Mbps                     |
| FDDI MM                                                                             | 125 Mbps                     |
| <b>FX:</b> Πολύτροπη οπτική ίνα για 100 Mbps Ethernet                               |                              |
| <b>SX:</b> Μικρής κλίμακας (short range < 550m) με χρήση πολύτροπης οπτικής ίνας    |                              |
| <b>LX:</b> Μεγάλης κλίμακας (long range μέχρι 5km) με χρήση μονότροπης οπτικής ίνας |                              |
| <b>PHY:</b> Physical Layer Protocol (Φυσικό Επίπεδο)                                |                              |
| <b>MM:</b> Multi Mode (Πολύτροπη Οπτική Ίνα)                                        |                              |
| <b>SM:</b> Single Mode (Μονότροπη Οπτική Ίνα)                                       |                              |

Πίνακας 5.1:

Τεχνολογίες Μετάδοσης και Πρωτόκολλα στα Μητροπολιτικά Δίκτυα [17]

## 5.2 Εφαρμογές & Υπηρεσίες στα Μητροπολιτικά Δίκτυα

Μέχρι πρόσφατα η τεχνολογία WDM είχε περιοριστεί κυρίως στα δίκτυα κορμού. Οι γρήγορα εξελισσόμενοι τομείς της αγοράς των Μητροπολιτικών Δικτύων για ευρυζωνικές υπηρεσίες πρόσβασης και δεδομένων όπως *xDSL* (*Digital Subscriber Line*), *SAN* (*Storage Area Networks*), και *SMDS* (*Switched Multimegabit Data Service*) καθιστούν την τεχνολογία WDM ιδανική για την εξάλειψη φαινομένων όπως κυκλοφοριακή συμφόρηση και μεγάλων απαιτήσεων σε εύρος ζώνης.

### 5.2.1 xDSL (Digital Subscriber Line) [6]

Η τεχνολογία *xDSL* (*Digital Subscriber Line* - Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) αποτελεί ένα νέο και πολλά υποσχόμενο σύνολο τεχνικών ψηφιακής επικοινωνίας, που μπορούν να παρέχουν υψηλής ταχύτητας πρόσβαση σε δίκτυα, μέσω των συνηθισμένων





χάλκινων καλωδίων που συνδέουν τα σπίτια και τα γραφεία με την τηλεφωνική εταιρεία. Το γράμμα x πριν το DSL έχει τη θέση διαφόρων γραμμάτων, που προσδιορίζουν τα διαφορετικά είδη των βασικών επιλογών του DSL.

Η τεχνολογία DSL έχει προκαλέσει πάρα πολύ το ενδιαφέρον επειδή λειτουργεί σε υφιστάμενα τηλεφωνικά ζεύγη. Για να πετύχει τις υψηλές αυτές ταχύτητες, που κυμαίνονται από 8 Mbps μέχρι και 52 Mbps, το DSL βασίζεται στη διαμόρφωση DMT. Αν και η πραγματική ταχύτητα, που επιτυγχάνεται εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, στους οποίους περιλαμβάνεται η απόσταση από το τηλεφωνικό κέντρο καθώς και η ποιότητα του καλωδίου, οι ταχύτητες του DSL είναι αρκετά υψηλές ώστε να επιτρέπουν την ομαλή μετάδοση κινούμενης εικόνας, ήχου και βίντεο υψηλής ποιότητας. Ως πρόσθετο όφελος, οι τεχνολογίες DSL επιτρέπουν ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων, ώστε η λειτουργία να μην επηρεάζει τα κοινά τηλεφωνήματα.

Σήμερα, τουλάχιστον στη μορφή που επικρατεί περισσότερο, τη μορφή ADSL, το DSL θεωρείται κυρίως ένας τρόπος γρήγορης πρόσβασης για κοινούς συνδρομητές και μικρές επιχειρήσεις μέσω τηλεφώνου στο δίκτυο Internet. Όπως όμως είπαμε και προηγουμένως, το DSL διατίθεται σε διάφορες μορφές και πιθανότατα, θα φανεί χρήσιμο και σε μεγαλύτερα δίκτυα.

### 5.2.1.1 ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

Το ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line – Ασυμμετρική Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή*), λέγεται Ασυμμετρικό επειδή το μεγαλύτερο μέρος του εύρους ζώνης είναι αφιερωμένο στις κατερχόμενες μεταδόσεις, θεωρώντας ότι στις συνδέσεις με το Internet και τα ενδοδίκτυα, όπου είναι πιθανότερο να χρησιμοποιηθεί το ADSL, απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα για το κατερχόμενο σήμα και μικρότερη για το ανερχόμενο.. Το ADSL, σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με την απόσταση από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο, μπορεί να μετάδοση κατερχόμενου σήματος έως και 8 Mbps, ενώ στο ανερχόμενο η μέγιστη ταχύτητα είναι 640 Kbps. (Όσο πλησιέστερα βρίσκεται κανείς στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο και όσο καλύτερης ποιότητας είναι το καλώδιο, τόσο αυξάνει η ταχύτητα μετάδοσης.) Συνήθως, το ADSL απαιτεί εγκατάσταση ενός DSL μόντεμ, και ενός διαμεριστή τηλεφωνίας (POTS splitter) για το διαχωρισμό των καναλιών φωνής και δεδομένων.

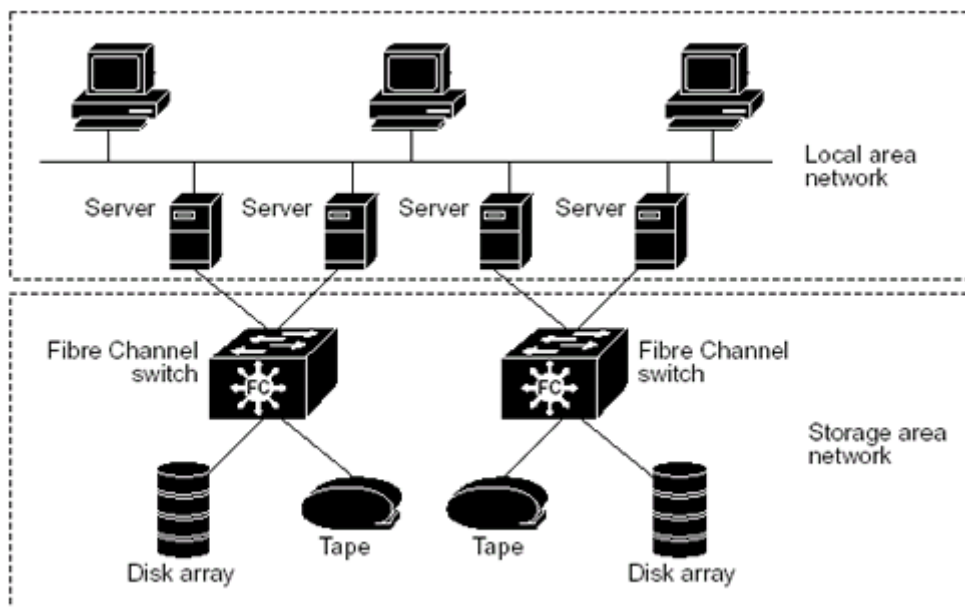
### 5.2.2 SAN (Storage Area Networks)

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια σημαντική αύξηση στις απαιτήσεις για χωρητικότητα, η οποία οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη διαρκή συσσώρευση δεδομένων, στην ανάπτυξη και εξάπλωση των εφαρμογών client/server, στην ανάγκη για απαιτητικά δεδομένα (εικόνα, ήχος, κ.α.), στην ανάπτυξη εφαρμογών πολυμέσων, και στην δυναμική εμφάνιση του Internet.

Στο μέλλον οι απαιτήσεις προβλέπεται πως θα είναι ακόμη μεγαλύτερες, αφού αναμένεται μεγαλύτερη εξάπλωση των Αντικειμενοστραφών Βάσεων Δεδομένων (Object Oriented Databases) και των εφαρμογών ηλεκτρονικού εμπορίου και βέβαια, οι απαιτήσεις για διαθεσιμότητα του πληροφοριακού συστήματος αυξάνουν. Η σημερινή αρχιτεκτονική (LAN based storage) έχει αρχίσει να φθάνει στα όριά της, ειδικά σε ότι αφορά τις υλοποιήσεις υψηλής διαθεσιμότητας, την δυνατότητα ταυτόχρονης πρόσβασης στα δεδομένα από πολλαπλούς κόμβους επεξεργασίας και την ευκολία κλιμάκωσης.



Η δικτύωση *Περιοχών Αποθήκευσης Δεδομένων (SAN - Storage Area Networking)* αποτελεί υλοποίηση της δικτύωσης μεταξύ των συστημάτων αποθήκευσης (δίσκοι, RAID, Tape Libraries, κλπ.) των κεντρικών υπολογιστών και των ισχυρών σταθμών εργασίας, και βασίζεται σε ταχύτατες ζεύξεις επικοινωνίας και στην χρήση τεχνολογιών δικτύου. (Σχήμα 5.5)



Σχήμα 5.5:  
Αρχιτεκτονική των Storage Area Networks [2]

Το SAN συνδυάζει την εξαιρετική ευελιξία συνδεσμολογίας των παραδοσιακών LAN με την αυξημένη απόδοση που προσφέρει το *Fibre Channel* προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι αυξημένες ανάγκες διακίνησης δεδομένων μεταξύ των σταθμών επεξεργασίας και αποθήκευσης.

Εκτός από το *Fibre Channel*, υπάρχουν και άλλοι τύποι τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν κεντρικούς υπολογιστές με συσκευές, σε ένα SAN, όπως η επικρατέστερη μέχρι στιγμής *ESCON (Enterprise System CONnection)* της IBM. Και οι δύο τεχνολογίες, εντούτοις, παρουσιάζουν σημαντικούς περιορισμούς ως προς την εμβέλεια. Παραδείγματος χάριν, η τυποποιημένη μέγιστη απόσταση χωρίς αναγεννητές είναι περίπου 3 km για το *ESCON* και περίπου 10 km για το *Fibre Channel* στα 100 MBps. Όσο αυξάνεται η εμβέλεια τόσο μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης των παραπάνω τεχνολογιών. Το σημαντικό αυτό μειονέκτημα μπορεί να ξεπεραστεί με τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ μιας ή περισσότερων επιχειρησιακών σταθμών εργασίας και ενός ή περισσότερων SAN πάνω από το οπτικό στρώμα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία *WDM*. [2]

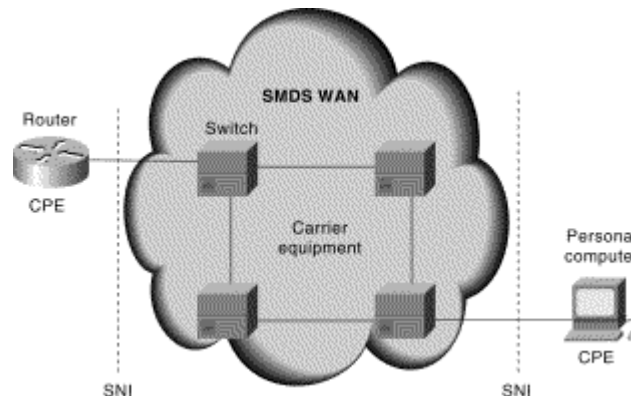
Εκτός από τους περιορισμούς στην απόσταση, η τεχνολογία *WDM* μπορεί επίσης να μειώσει τις απαιτήσεις σε πλήθος οπτικών ινών στα SAN. Τόσο το *ESCON* όσο και το *Fibre Channel* απαιτούν ένα ζευγάρι οπτικών ινών για κάθε κανάλι. Με την πολυπλεξία αυτών των καναλιών μέσω *WDM*, μειώνεται σημαντικά η απαίτηση σε οπτικές ίνες, αφού όλες εξυπηρετούνται από το ίδιο ζευγάρι.



### 5.2.3 SMDS (Switched Multimegabit Data Service) [6], [20]

Με την ανάπτυξη τοπικών δικτύων ευρείας ζώνης αρχίζει να δημιουργείται από τους χρήστες η απαίτηση για την ανάπτυξη τρόπου διασύνδεσης των τοπικών τους δικτύων, τόσο σε μητροπολιτικό επίπεδο, όσο και σε περιοχές ευρύτερης γεωγραφικής κάλυψης, που να υποστηρίζει ευρυζωνικές εφαρμογές (γρήγορη μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας) και να είναι το δυνατόν ανεξάρτητος από τεχνολογική πλατφόρμα, ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί πάνω από την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία.

Η SMDS (*Switched Multi-Megabit Data Service - Υπηρεσία Μεταγωγής Δεδομένων Υψηλής Ταχύτητας*) είναι μια υπηρεσία που σχεδιάστηκε για να ικανοποιήσει αυτή την απαίτηση, υποστηρίζοντας τόσο μεταφορά πακέτων δεδομένων με υψηλές ταχύτητες, όσο και την παροχή αυτής της υπηρεσίας για τη διασύνδεση τοπικών δικτύων με μεγάλη γεωγραφική διασπορά. Η SMDS αποτελεί μια υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων που υποστηρίζει λύσεις για εφαρμογές από άκρο σε άκρο και στηρίζεται στη φιλοσοφία των υπηρεσιών ασυνδεσμικής (connectionless) μεταγωγής πακέτων, παρέχοντας υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (τυπικά 34, 45 ή και 155 Mbps).



**Σχήμα 5.6:**  
Switched Multi-Megabit Data Service

Καθώς τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μοιάζουν με τα χαρακτηριστικά των τοπικών δικτύων, η SMDS αποτελεί βασική επιλογή σε περιπτώσεις, που απαιτείται ένα ενιαίο σχήμα διασύνδεσης τοπικών δικτύων (Ethernet, Token-Ring, FDDI, ATM LANs) με μεγάλη γεωγραφική διασπορά. Συγχρόνως έχει την ικανότητα να υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών client/server, με ταυτόχρονη δυνατότητα υποστήριξης εφαρμογών ευρείας ζώνης, όπως πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων, μεταφορά αρχείων, εφαρμογές εικόνας με υψηλή ανάλυση, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο κτλ. Ανήκει στις λεγόμενες ευρυζωνικές τεχνολογίες, ταχείας μεταγωγής πακέτου, όπως η Frame Relay, ATM, B-ISDN, κτλ. Αποτελεί το πρώτο βήμα για την εισαγωγή υπηρεσιών μεγάλων ταχυτήτων τόσο σε δίκτυα ευρείας περιοχής όσο και σε Μητροπολιτικά Δίκτυα.

Η SMDS αναπτύχθηκε στα εργαστήρια της BellCore βασιζόμενη στα πρότυπα των μητροπολιτικών δικτύων MANs-IEEE 802.6 και αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση για την εισαγωγή υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων σε δίκτυα WAN.

Η SMDS αποτελεί στην ουσία περισσότερο μια μορφή υπηρεσίας στο δίκτυο παρά μια τεχνολογία, που δημιουργεί ένα «υποδίκτυο» μέσα στο ευρύτερο επικοινωνιακό περιβάλλον του χρήστη. Αυτό που κάνει την SMDS να θεωρείται μια υπηρεσία είναι το



γεγονός ότι δεν εξαρτάται από την δικτυακή τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο δίκτυο, αλλά μπορεί να υποστηριχθεί από διάφορες τεχνολογικές πλατφόρμες.

Η βάση μιας σύνδεσης SMDS είναι μια δικτυακή σύνδεση σχεδιασμένη αντίστοιχα με την τηλεφωνία, με αριθμό κλήσης τηλεφώνου ο οποίος περιλαμβάνει κωδικό χώρας και περιοχής, και στη συνέχεια τον τοπικό αριθμό. Τη διεύθυνση αυτή εκχωρείται από τον φορέα και χρησιμοποιείται στην σύνδεση LAN με LAN. Οι χρήστες που θέλουν να μεταδίδουν πληροφορίες σε ένα ή περισσότερα LAN, απλώς επιλέγουν την κατάλληλη διεύθυνση για να δηλώσουν που πρέπει να μεταδοθούν οι πληροφορίες. Από εκεί και πέρα αναλαμβάνει το SMDS για να μεταφέρει τα πακέτα στον προορισμό τους. Δεν ελέγχει τα σφάλματα μετάδοσης, ούτε προσπαθεί να ελέγξει τη ροή. Τα πακέτα που μεταφέρονται μέσω του SMDS είναι απλά πακέτα μεταβλητού μήκους, και περιέχουν τις διευθύνσεις αποστολής και προορισμού, καθώς και μέχρι 9188 byte δεδομένων. Τα πακέτα αυτά δρομολογούνται ξεχωριστά και μπορεί να περιλαμβάνουν δεδομένα σε οποιαδήποτε μορφή χειρίζεται το LAN, που κάνει την αποστολή. Στην ουσία, το SMDS απλώς μεταφέρει πληροφορίες από το ένα άκρο της σύνδεσης στο άλλο και δεν ασχολείται με τη μορφή και το είδος των δεδομένων.

#### 5.2.4 IP over SONET/SDH [11]

Ο όρος *IP over SONET/SDH*, ή αλλιώς *Packet over SONET/SDH*, αναφέρεται ουσιαστικά στην συνεργασία διασυνδέσεων SONET/SDH με κάποιον δρομολογητή, που αποτελεί τερματικό στοιχείο για τη διακίνηση δεδομένων, μέσω του πρωτοκόλλου PPP (Point-to-Point Protocol - PPP). Το πρωτόκολλο PPP αποτελεί το ευρύτερα αποδεκτό πρωτόκολλο δευτέρου επιπέδου για την μετάδοση δεδομένων στο Internet (Internet Protocol - IP traffic).

Στην πραγματικότητα, η κυκλοφορία IP μέσω ενός SONET/SDH μεταγωγέα προσομοιάζεται ως μια σειριακή ροή δεδομένων (data stream) που μετακινείται κατά μήκος του δικτύου, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο PPP για τις λειτουργίες μορφοποίησης και συμπίκνωσής της. Αυτές οι ροές δεδομένων διακινούνται σε καθορισμένα STS πλαίσια. Τα πλαίσια μπορούν να έχουν τυπικό ρυθμό μετάδοσης OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 και OC-48/STM-16. Σε κάθε κόμβο του δικτύου το IP πακέτο δεδομένων απομονώνεται από το PPP πλαίσιό του, εξετάζεται η διεύθυνση προορισμού του και τελικά αυτό εντάσσεται σε ένα νέο PPP πλαίσιο για να συνεχιστεί η μεταφορά του.

Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσέφερε η τεχνολογία *IP over SONET/SDH*, συνοψίζονται στα εξής :

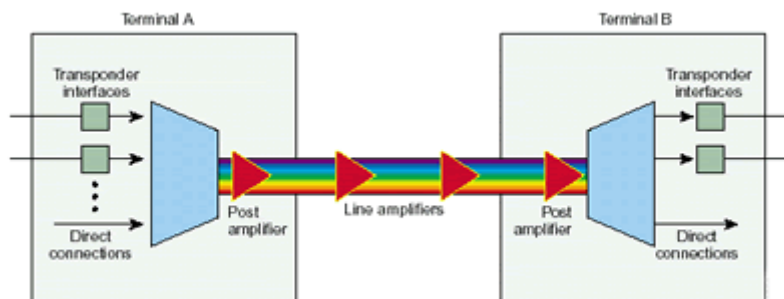
- Η αποτελεσματική/χαμηλού *overhead* από σημείο-σε-σημείο μεταφορά της IP κυκλοφορίας.
- Η πρόβλεψη σχετικά υψηλούς εύρους ζώνης για την παροχή μη διαφοροποιημένων υπηρεσιών (nondifferentiated services).

Ωστόσο, κατά τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων στο Internet είναι σημαντική. Κάθε χρόνο ο όγκος της διακινούμενης πληροφορίας προβλέπεται ότι θα υπερδιπλασιάζεται και αυτό αναμένεται να διατηρηθεί και κατά τα επόμενα έτη.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, κρίθηκε αναγκαία η ενσωμάτωση της τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM), στην υπάρχουσα *IP over SONET/SDH* τεχνολογία. Έτσι, προέκυψε μια νέα βελτιωμένη τεχνική μετάδοσης IP δεδομένων η οποία αναφέρεται ως *IP over SONET/SDH over WDM*.



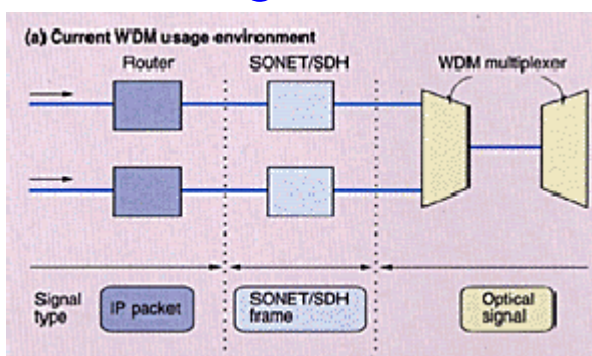
Σε ένα τέτοιο σύστημα, καθοριστικό ρόλο έχει αναμεταδότης (transponder), ο οποίος αναλαμβάνει τη μετατροπή του συμβατού με το πρότυπο SONET/SDH οπτικού σήματος, που περιέχει τις πληροφορίες του IP πακέτου, σε κατάλληλα «χρωματισμένο» οπτικό σήμα. Η αρχή λειτουργίας του transponder απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 5.7:



Σχήμα 5.7:

Η Αρχή Λειτουργίας του Transponder [2]

Ένα σύστημα *IP over SONET/SDH over WDM* περιλαμβάνει πολλές διατάξεις τύπου transponder, καθεμιά από τις οποίες μετατρέπει τις πληροφορίες του πακέτου που δέχεται σε ένα σαφώς καθορισμένο μήκος κύματος. Στη συνέχεια, τα μήκη κύματος όλων των transponders του συστήματος πολυπλέκονται οπτικά και μεταφέρονται διαμέσου της οπτικής ίνας. Στο άκρο λήψης, λαμβάνει χώρα η αντίστροφη διαδικασία. Αναλυτικότερα, τα μήκη κύματος διαχωρίζονται (διαδικασία οπτικής αποπολύπλεξης) και καθένα από αυτά τροφοδοτείται σε έναν transponder. Έτσι, το σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μέσω μιας προτυποποιημένης SONET/SDH διασύνδεσης τα IP πακέτα ανασυντίθενται. Στο παρακάτω Σχήμα 5.8 φαίνεται ένα τυπικό περιβάλλον *IP over SONET/SDH over WDM*.



Σχήμα 5.8:

IP over SONET/SDH over WDM περιβάλλον (σχηματική αναπαράσταση) [11]

Η προσθήκη της τεχνολογίας WDM στα συστήματα IP over SONET/SDH προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

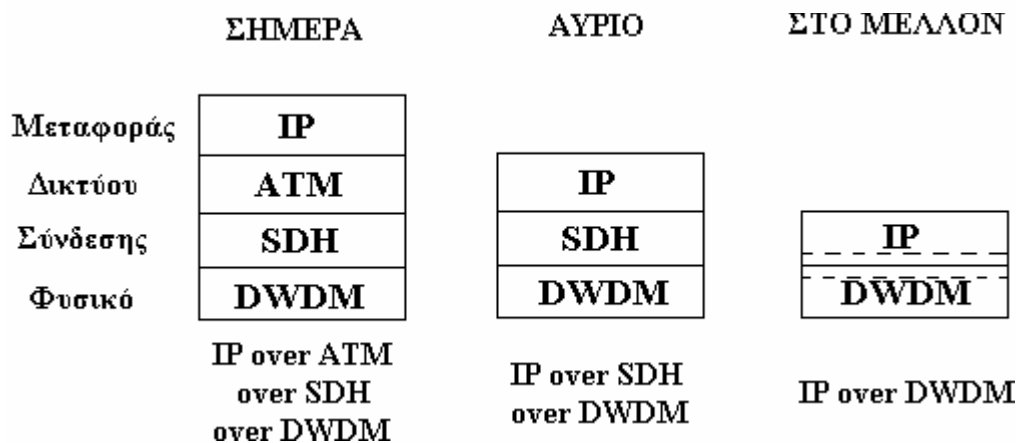
- Η αύξηση της χωρητικότητας της υπάρχουσας οπτικής ίνας, δίχως να απαιτείται η εγκατάσταση επιπλέον οπτικών ινών.
- Η διαδικασία προσθήκης νέων καναλιών στο δίκτυο απλοποιείται σημαντικά.

Επίσης, σημειώνεται ότι η χρήση της τεχνολογίας WDM θα μπορούσε να αποτελέσει πολύτιμη λύση στις περιπτώσεις Μητροπολιτικών Δικτύων υψηλών απαιτήσεων και





γενικότερα σε περιπτώσεις που υπάρχουν περιθώρια μείωσης του κόστους σε ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση του WDM συστήματος προσφέρει οικονομική εφεδρική χωρητικότητα, υπό τη μορφή αχρησιμοποίητων μηκών κύματος, η οποία θα είναι διαθέσιμη στην εξαιρετικά πιθανή περίπτωση αύξησης των μελλοντικών απαιτήσεων. Πρόσφατα οι ADM του SDH απέκτησαν διεπαφές για IP. (Σχήμα 5.9)



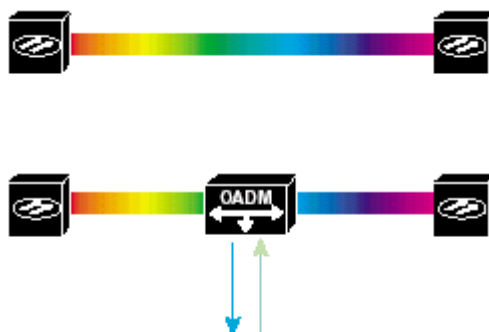
Σχήμα 5.9  
IP over διαφόρων τεχνολογιών

## 5.3 Τοπολογίες [2]

Οι δικτυακές τοπολογίες βασίζονται σε πολλούς παράγοντες, όπως το είδος των εφαρμογών και πρωτοκόλλων, οι αποστάσεις, οι τρόποι χρήσης και πρόσβασης κ.α. Στην αγορά των Μητροπολιτικών Δικτύων έχουμε τριών ειδών τοπολογίες, *Σημείο-σημειακή (Point-to-Point)* που προτιμώνται για την σύνδεση διαφόρων επιχειρησιακών δικτύων, *Δακτύλιου (Ring)* οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση επιχειρήσεων μέσω τηλεπικοινωνιακών κέντρων (Δακτύλιοι Μεγάλων Πελατών) και *Πλέγματος (Mesh)* για τη σύνδεση με τα δίκτυα πρόσβασης. Στις παρακάτω ενότητες περιγράφονται αναλυτικά και σχηματικά όλα οι τύποι των παραπάνω τοπολογιών.

### 5.3.1 Σημείο-σημειακή (Point-to-Point)

Οι από *Σημείο-σημειακή* τοπολογίες μπορούν να εφαρμοστούν με ή χωρίς τη χρήση οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης (*Optical Add/Drop Multiplexers-OADM's*).



Σχήμα 5.10:  
Τοπολογία Σημείο-σημειακή [2]



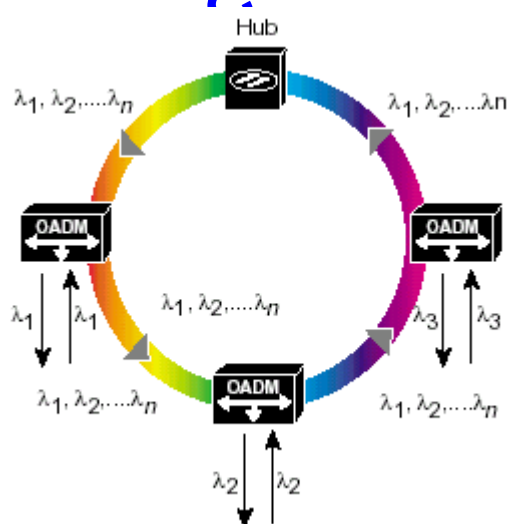


Τα δίκτυα αυτά χαρακτηρίζονται από τις πολύ υψηλές ταχύτητες καναλιών (10 έως 40 Gbps), την υψηλή ακεραιότητα και την αξιοπιστία των σημάτων, και τη γρήγορη αποκατάσταση «διαδρομών» (fast path restoration). Δύο είναι οι όροι που μπορούν να χαρακτηρίσουν την Σημείο-σημειακή τοπολογία: *απλότητα* και *αποδοτικότητα*. Η απλότητά της βασίζεται στο γεγονός ότι είναι πολύ απλή η ανάπτυξή της (καθώς και τα προβλήματα που μπορεί να παρουσιάσει) ενώ η αποδοτικότητά της οφείλεται στο ότι κατά την μετάδοση είναι σπάνια η χρήση αναγεννητών. Ένα τυπικό σύστημα μπορεί να μεταδώσει σήματα σε αποστάσεις μέχρι 100 km χωρίς αναγεννητές, αποστάσεις που εμφανίζονται συχνά τόσο σε συνδέσεις μεταξύ επιχειρήσεων όσο και στα Μητροπολιτικά Δίκτυα. Χωρίς χρήση αναγεννητών ή επιπρόσθετου εξοπλισμού η Σημείο-σημειακή τοπολογία είναι μια απλή, φθηνή και αποτελεσματική λύση στα Μητροπολιτικά Δίκτυα.

### 5.3.2 Δακτυλίου (Ring)

Η *τοπολογία Δακτυλίου (Ring Topology)* είναι η πιο κοινή αρχιτεκτονική που εμφανίζεται στις μητροπολιτικές περιοχές και εκτείνεται σε αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Η οπτική ίνα της τοπολογίας δακτυλίου μπορεί να περιέχει το λιγότερο τέσσερα κανάλια μήκους κύματος. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι της τάξεως των 622 Mbps έως 10 Gbps ανά κανάλι.

Οι σχηματισμοί της τοπολογίας δακτυλίου μπορούν να επεκταθούν με ένα ή περισσότερα συστήματα WDM, που υποστηρίζουν κίνηση όλων προς όλους (any-to-any traffic), ή μπορούν να έχουν έναν κεντρικό σταθμό συγκέντρωσης (hub) και έναν ή περισσότερους κόμβους οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης OADM (Σχήμα 5.10).



Σχήμα 5.11:  
Τοπολογία Δακτυλίου [2]

Στον κεντρικό σταθμό συγκέντρωσης η κυκλοφορία (traffic) δημιουργείται, ολοκληρώνεται και ρυθμίζεται, και η καθιερώνεται σύνδεσή της με τα άλλα δίκτυα. Στους κόμβους των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης OADM, εξάγονται (dropping) ένα ή περισσότερα οπτικά κανάλια από το σύνθετο (aggregate) οπτικό σήμα ή/και εισάγονται (adding) σε αυτό. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι τοπολογίες δακτυλίου επιτρέπουν στους κόμβους

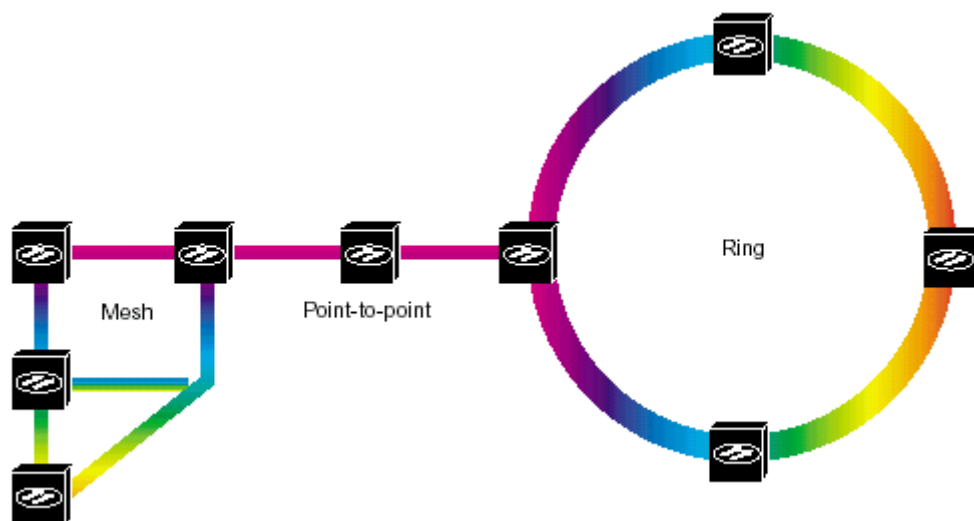


να παρέχουν την πρόσβαση στα στοιχεία δικτύων όπως οι δρομολογητές (routers), οι διακόπτες (switches), ή οι κεντρικοί υπολογιστές (servers) με την εξαγωγή ή την εισαγωγή των καναλιών μήκους κύματος στο οπτικό φάσμα. Με την αύξηση του πλήθους των OADM, εντούτοις, το σήμα υπόκειται σε απώλεια ισχύος και απαιτείται συχνά η ενίσχυσή του με ινοοπτικούς ενισχυτές.

### 5.3.3 Πλέγματος (Mesh)

Οι τοπολογίες πλέγματος (*Mesh Topologies*) αποτελούν το μέλλον των οπτικών δικτύων. Δεδομένου ότι τα δίκτυα εξελίσσονται, οι τοπολογίες δακτυλίου και οι από σημείο-σημειακή θα αντικατασταθούν μερικά από μία καλύτερα αναπτυσσόμενη τοπολογία, αυτή του πλέγματος. Η ανάπτυξη οφείλεται στην εισαγωγή διαμορφωμένων οπτικών διασταυρωτήρων (Optical Cross Connects) που σε μερικές περιπτώσεις αντικαθιστούν άλλες σταθερές συμπληρωματικές συσκευές WDM.

Από τη σκοπιά σχεδίασης, υπάρχει η δυνατότητα μετάβασης από σημείο-σε-σημείο τοπολογίες σε πλέγματος χωρίς να χρειάζεται επανασχεδίαση του δικτύου. Έτσι αρχίζοντας με σημείο-σημειακή συνδέσεις, με κόμβους OADM (για περισσότερη ευελιξία), στη συνέχεια η διασύνδεσή τους οδηγεί σε τοπολογίες πλέγματος. Επιπλέον, οι τοπολογίες πλέγματος και δακτυλίου μπορούν να ενωθούν με από σημείο-σημειακή συνδέσεις. (Σχήμα 5.11)



**Σχήμα 5.12:**  
Πλέγματος, Σημείο-σε-Σημείο και Δακτυλίου Τοπολογίες [2]

Η τοπολογία πλέγματος μπορεί να θεωρηθεί ως τοπολογία «υψηλής νοημοσύνης» γιατί μπορεί και εκτελεί λειτουργίες προστασίας και διαχείρισης του εύρους ζώνης καθώς και δυνατότητες εναλλαγής οπτικής ίνας (fiber switching) και δρομολόγηση μήκους κύματος (wavelength switching). Τα σημαντικά οφέλη της τοπολογίας πλέγματος είναι ευελιξία και αποδοτικότητα, απαιτείται όμως τεχνολογική ωρίμανση των υφιστάμενων διατάξεων.



## Κεφάλαιο

# 6

COPY

### 6. Μητροπολιτικό Δίκτυο WDM στην Ελλάδα

Κατά τη διάρκεια επεξεργασίας της πτυχιακής εργασίας και συγκεκριμένα τον Ιούλιο 2002 στην Αθήνα πραγματοποιήθηκε ένα σημαντικό γεγονός που αφορούσε την ανάπτυξη των Μητροπολιτικών Δικτύων WDM στην Ελλάδα. Τέθηκε σε λειτουργία το πρώτο ευρυζωνικό δίκτυο της χώρας, το *EDET2* ( <http://www.grnet.gr/> ), που προσφέρει υψηλού επιπέδου υπηρεσίες Internet νέας γενιάς στους τελικούς χρήστες, δηλαδή στα ΑΕΙ, ΑΤΕΙ και Ερευνητικά Κέντρα της χώρας, επιτυγχάνοντας ταχύτητες τάξης μεγέθους Gbps. Συγκεκριμένα τέθηκε σε λειτουργία το *Μητροπολιτικό Δίκτυο Αθηνών*, του ΕΔΕΤ2, στα 1 –



2.5 Gigabits/sec (Gbps), ενώ παράλληλα αναβαθμίστηκε και η σύνδεση του με το Πανευρωπαϊκό Ερευνητικό-Εκπαιδευτικό Διαδίκτυο νέας γενιάς *GEANT*.

## 6.1 ΕΔΕΤ (Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας) [12]



Το *ΕΔΕΤ* ξεκίνησε το 1995 υπό την αιγίδα της Γενικής Γραμματείας Έρευνας & Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης με σκοπό την παροχή υπηρεσιών εθνικής και διεθνούς διασύνδεσης Internet υψηλών ταχυτήτων στην Ακαδημαϊκή και Ερευνητική Κοινότητα της χώρας μας. Το 1998 δημιουργήθηκε η ΕΔΕΤ Α.Ε. ( <http://www.grnet.gr> ) σαν εταιρεία Τεχνολογικής Ανάπτυξης της ΓΓΕΤ (Γενικής Γραμματείας Έρευνας & Τεχνολογίας) κατά το πρότυπο των αντίστοιχων εταιρειών διαχείρισης των Εθνικών Ερευνητικών Δικτύων (National Research Networks) των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σήμερα, εξυπηρετεί 70 φορείς στους οποίους περιλαμβάνονται όλα τα ΑΕΙ και ΑΤΕΙ της χώρας (πρόγραμμα GUnet του Υπουργείου Παιδείας), καθώς και τα Ερευνητικά Κέντρα του Υπουργείου Ανάπτυξης, με περισσότερους από 150.000 χρήστες συνολικά. Το δίκτυο περιλαμβάνει επτά κόμβους στις πόλεις Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ιωάννινα, Ξάνθη, Λάρισα και Ηράκλειο. Η διεθνής διασύνδεση του ΕΔΕΤ γίνεται μέσω του Πανευρωπαϊκού Ερευνητικού Δικτύου *TEN-155/GEANT* το οποίο διασυνδέει σε υψηλές ταχύτητες (155 Mbps και σύντομα θα διπλασιαστεί) τα Ευρωπαϊκά Ακαδημαϊκά και Ερευνητικά Δίκτυα. Επιπλέον το ΕΔΕΤ - σαν οντότητα κοινής εμπιστοσύνης - διαχειρίζεται τον κόμβο Athens Internet Exchange (AIX) ο οποίος διασυνδέει τα μεγαλύτερα Ελληνικά εμπορικά δίκτυα παροχής υπηρεσιών Internet στη χώρα μας συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό τα μέγιστα στην ανάπτυξη της Ελληνικής Κοινωνίας της Πληροφορίας.

Η μέχρι σήμερα πορεία του ΕΔΕΤ και οι σχεδιασμοί της άμεσης αναβάθμισής του απαντούν σε βασικές προκλήσεις της Συνόδου Κορυφής της Λισσαβόνας. Επιπλέον, αποτελεί βασικό μοχλό διάδοσης του Internet και πλατφόρμα ανάπτυξης Τεχνολογιών της Κοινωνίας της Πληροφορίας Νέας Γενιάς σύμφωνα με τις υποχρεώσεις που έχει αναλάβει η χώρα μας στο πλαίσιο της κοινοτικής κατεύθυνσης e-Europe. Υποστηρίζει τη διάχυση της προηγμένης τεχνολογίας στον ευρύτερο παραγωγικό τομέα και αποτελεί τη δικτυακή υποδομή για τη σύνδεση στο Internet όλων των σχολικών μονάδων. Θα αποτελέσει επίσης τη βασική δικτυακή της υποδομή για τις αναπτυξιακές δράσεις των Υπουργείων Παιδείας, Επικοινωνιών και Υγείας. Η τεχνολογία που θα προκύψει θα μπορεί να αξιοποιηθεί για την υποστήριξη των Ολυμπιακών Αγώνων, των δικτύων της Δημόσιας Διοίκησης, την ανάπτυξη της εκπαίδευσης από απόσταση (e-learning) και της τηλε-ιατρικής.

Το ΕΔΕΤ, σαν προηγμένο δίκτυο στο Ευρωπαϊκό και Παγκόσμιο Internet, γίνεται διαρκώς πόλος έλξης για τα δίκτυα της Νότιο-Ανατολικής Ευρώπης και της Μεσογείου. Έτσι, πρόσφατα, και με πρωτοβουλία του ΕΔΕΤ υπεγράφη η δημιουργία περιφερειακού δικτύου Έρευνας & Τεχνολογίας στην Βαλκανική με προφανές κέντρο μεταφοράς τεχνολογίας τη χώρα μας. Εδώ και δύο χρόνια τα Εθνικά Ακαδημαϊκά & Ερευνητικά Δίκτυα του Ισραήλ και της Κύπρου συνδέονται με το Ευρωπαϊκό Internet με πρωτοβουλία του ΕΔΕΤ (Πρόγραμμα Q-MED). Σήμερα, Έλληνες ερευνητές συμμετέχουν - μέσω του ΕΔΕΤ - στο Internet2 των Η.Π.Α, στο πιο προηγμένο δηλαδή δίκτυο Internet του κόσμου, ενώ παράλληλα έχουν δυναμική συμμετοχή στα κορυφαία πειράματα της Ευρώπης. Ο ρόλος του ΕΔΕΤ θα μπορούσε να αναπτυχθεί στις παρακάτω πέντε προτάσεις

- Αποτελεί την εθνική υποδομή για την υποστήριξη προηγμένων υπηρεσιών και εφαρμογών από απόσταση. Προωθεί νέες μορφές διδασκαλίας όπως η τηλε-ιατρική



- και η τηλε-εκπαίδευση δηλαδή την εξάσκηση της ιατρικής ή τη διδασκαλία ενός μαθήματος από απόσταση μέσω αμφίδρομης μετάδοσης κινούμενης εικόνας (βίντεο) σε μεγάλες ταχύτητες μέσω Internet.
- Στηρίζει την έρευνα και την ελληνική συμμετοχή σε διεθνή επιστημονικά πειράματα μέσα από κατάλληλα σχεδιασμένα «εικονικά εργαστήρια» που βασίζονται στην κατανομημένη υπερ-υπολογιστική δύναμη και αξιοποιούν τα δίκτυα υπερ-υψηλών ταχυτήτων (GRID).
  - Υποστηρίζει την πρόσβαση στο Διαδίκτυο των σημερινών φοιτητών και μαθητών με απώτερο σκοπό τη δημιουργία της επόμενης γενιάς χρηστών με δυνατότητα πρόσβασης σε υπηρεσίες «εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας» (Quality of Service-QoS) με κύριο χαρακτηριστικό την διαφοροποίησή τους σε διακριτές κατηγορίες (differentiated services) σύμφωνα με τις πολιτικές εξυπηρέτησης των χρηστών.
  - Λειτουργεί σαν μοχλός ανάπτυξης της «Ελληνικής Κοινωνίας της Πληροφορίας» υποστηρίζοντας συνεργασίες ανάμεσα στην Ακαδημαϊκή και Ερευνητική Κοινότητα και τη Βιομηχανία.
  - Συμβάλλει στην ανάπτυξη του ψηφιακού περιεχομένου και την προώθηση της ελληνικής γλώσσας και πολιτισμού στην ψηφιακή εποχή.

## 6.2 ΕΔΕΤ2 - Το ΕΔΕΤ νέας γενιάς [12]

Η πρόσφατη αναβάθμιση του *Εθνικού Δικτύου Έρευνας και Τεχνολογίας* σε ταχύτητες 1-5 Gbps εγκαινιάζει μια νέα ψηφιακή εποχή στην Ελλάδα. Η αναβάθμιση του ΕΔΕΤ σε οπτικό δίκτυο νέας γενιάς *τεχνολογίας Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος* (Wavelength Division Multiplexing-WDM) - αυτό είναι το *ΕΔΕΤ2* - πραγματοποιείται παράλληλα με την αναβάθμιση του *Πανευρωπαϊκού Ερευνητικού Δικτύου GEANT* και των αντίστοιχων δικτύων της Γερμανίας, Γαλλίας, Ιταλίας.

Το *GEANT* είναι η απάντηση της Ευρώπης στα αντίστοιχα προηγμένα δίκτυα νέας γενιάς Internet των Η.Π.Α., του Καναδά και της Ιαπωνίας.

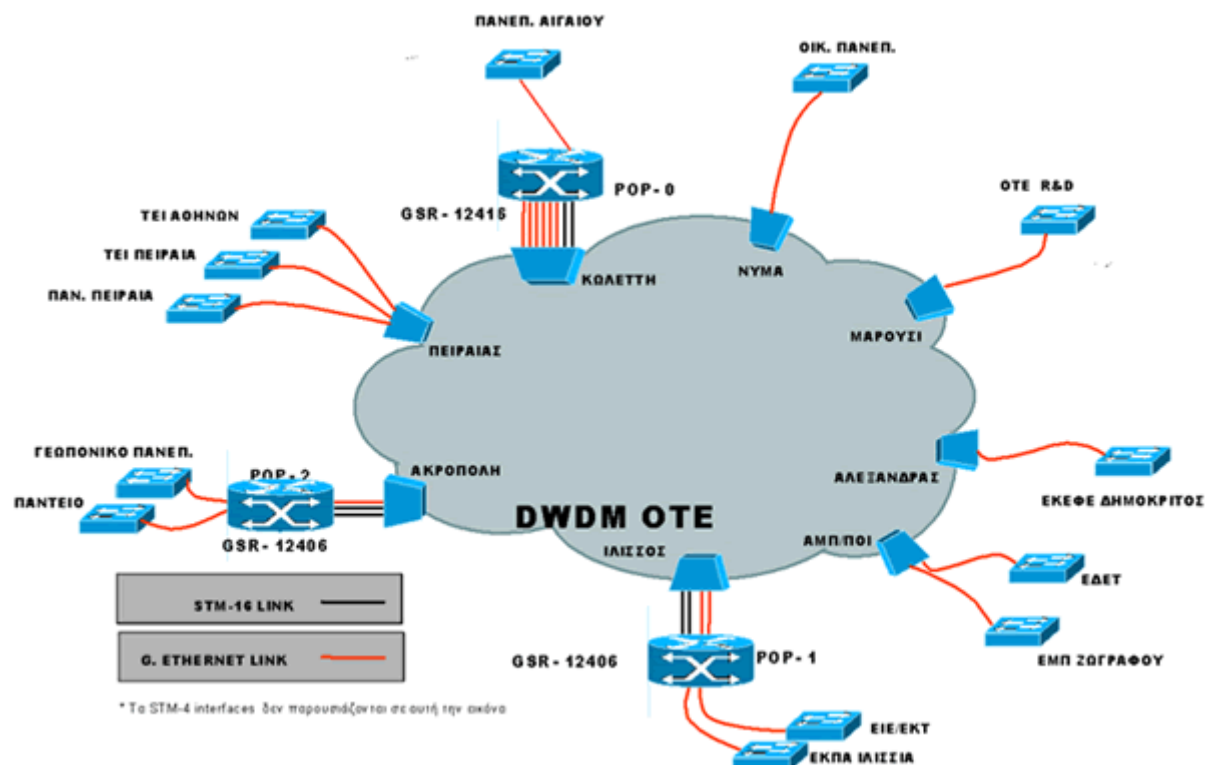
Το ΕΔΕΤ2 παρέχει γρήγορη και ασφαλή πρόσβαση στο Internet καθώς και προηγμένες τηλεματικές υπηρεσίες στην Ερευνητική και Εκπαιδευτική Κοινότητα της Ελλάδας. Το ΕΔΕΤ2 υλοποιείται με συγχρηματοδότηση του επιχειρησιακού προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας» (Αξονας 3, «Ανάπτυξη & Απασχόληση στην Ψηφιακή Οικονομία», Μέτρο 3.3 «Έρευνα & Τεχνολογική Ανάπτυξη για την Κοινωνία της Πληροφορίας») και Κοινοτικών ανταγωνιστικών προγραμμάτων στα πλαίσια της κοινής Ευρωπαϊκής πολιτικής του e-Europe2000 και e-Europe2005 για τα Ερευνητικά-Εκπαιδευτικά Δίκτυα.

Με το ΕΔΕΤ2 υλοποιείται η ενιαία ευρυζωνική πρόσβαση των τελικών χρηστών των ΑΕΙ, ΑΤΕΙ & Ερευνητικών Κέντρων της χώρας μέσα από τα τοπικά δίκτυα των ιδρυμάτων τους (ταχύτητας 10 - 100 Mbps), με ευρυζωνική πρόσβαση (1 - 2.5 Gbps) στο εθνικό δίκτυο κορμού (2.5 - 5 Gbps) καθώς και στο διεθνές ερευνητικό δίκτυο νέας γενιάς GTRN-Global Terabit Research Networking-(1.2 Gbps) μέσω του Πανευρωπαϊκού δικτύου GEANT.

Το δίκτυο νέας γενιάς του ΕΔΕΤ έγινε πράξη με την υλοποίηση του *Μητροπολιτικού Δικτύου WDM της Αθήνας* που περιλαμβάνει σύνδεση των 3 κεντρικών κόμβων σε ταχύτητα 2.5 Gbps, πάνω στους οποίους συνδέθηκαν ήδη 10 από τους 14 φορείς του Εθνικού Δικτύου Έρευνας Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ) στην Αττική. Οι υπολείποντες 4 φορείς πρόκειται να συνδεθούν στο αμέσως προσεχές μέλλον. Συγκεκριμένα, συνδέθηκαν το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Πανεπιστήμιο Αθηνών, το ΟΠΑ, το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, το



Πανεπιστήμιο Πειραιά, το ΑΤΕΙ Αθηνών, το Πάντειο Πανεπιστήμιο, το ΑΤΕΙ Πειραιά, το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο και το Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών. (Σχήμα 6.1)

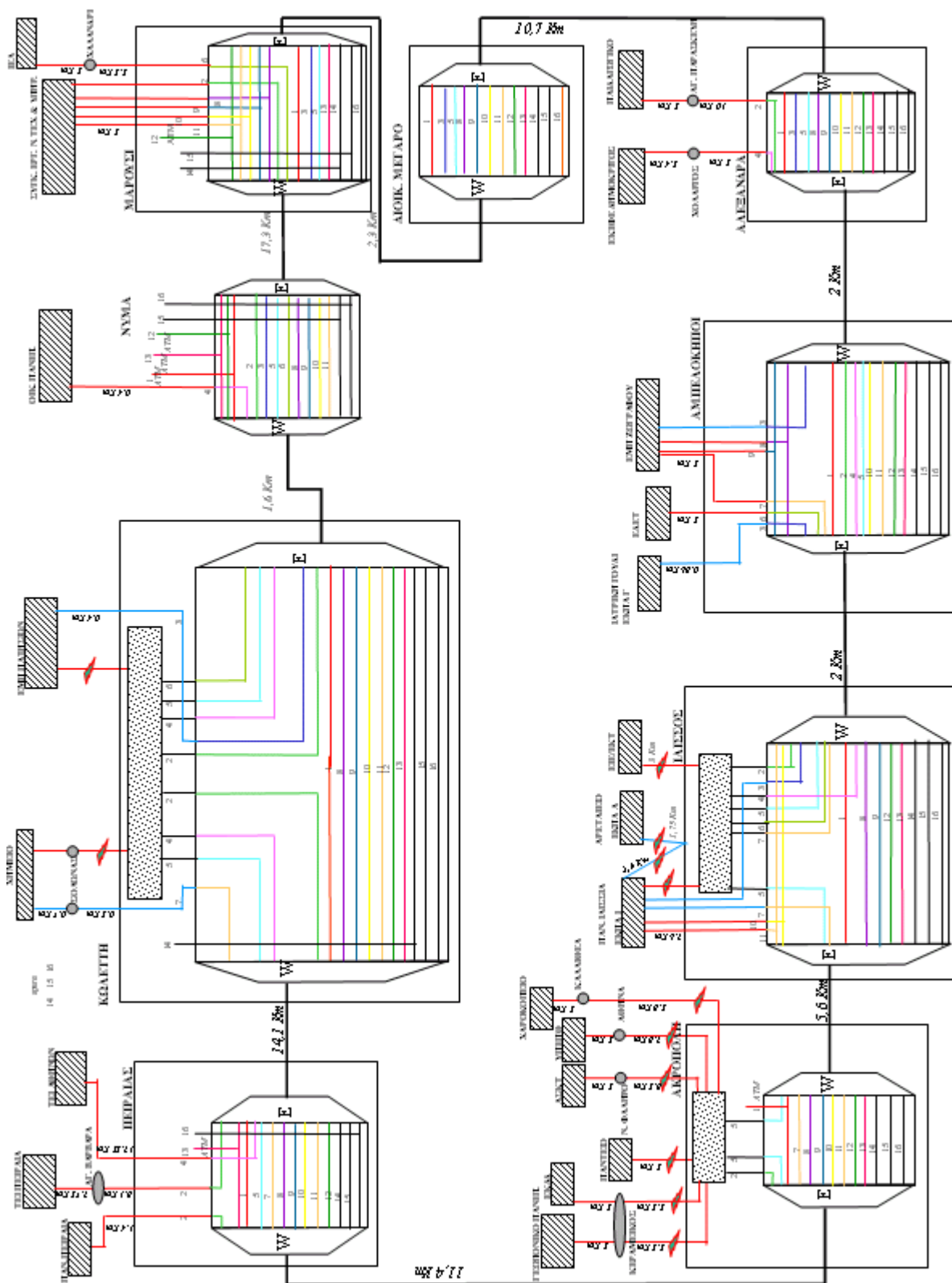


Σχήμα 6.1:  
Φυσική Τοπολογία (Athens IP/DWDM MAN) [12]

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί επέκταση του έργου σε όλη την Ελλάδα ώστε όλο το ΕΔΕΤ να λειτουργεί σε υπερ-υψηλές ταχύτητες, για να καλυφθούν τελικά όλοι οι 70 φορείς του ΕΔΕΤ στην Ελλάδα μέσω της δημιουργίας *Πανελληνίου Δικτύου Ευρείας Περιοχής WDM Υψηλών Ταχυτήτων*. Το ΕΔΕΤ2 φιλοδοξεί να αποτελέσει την υπερταχεία Ελληνική Λεωφόρο της Πληροφορίας για την Έρευνα και την Εκπαίδευση.

Για την υλοποίηση του Μητροπολιτικού Δικτύου Αθήνας, το ΕΔΕΤ είχε την αμέριστη υποστήριξη της Ακαδημαϊκής-Ερευνητικής Κοινότητας και της Πολιτικής Ηγεσίας. Η εξέλιξη αυτή δεν θα μπορούσε να γίνει πράξη χωρίς τη συλλογική προσπάθεια, σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, των Εθνικών Ερευνητικών - Ακαδημαϊκών Δικτύων, και τη στήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (DG INFSO) στο 5ο και 6ο Πρόγραμμα Πλαίσιο για Έρευνα & Τεχνολογική Ανάπτυξη. Το ΕΔΕΤ οφείλει επίσης την επιτυχία αυτή στη συλλογική, εντατική προσπάθεια και εμπειρία των επιστημονικών - τεχνικών στελεχών του ΕΔΕΤ και των ΑΕΙ, ΑΤΕΙ και Ερευνητικών Κέντρων της χώρας ιδίως του Κέντρου Διαχείρισης Δικτύων του ΕΜΠ, του Πανεπιστημίου Αθηνών, του ΤΕΙ Αθηνών, του ΟΤΕ και των εταιρειών από τις οποίες προμηθεύθηκε εξοπλισμό.





Σχήμα 6.2:  
Διάρθρωση του Μητροπολιτικού Δικτύου Αθήνας (πλάνο δοκιμής) [12]



## 6.3 Συστήματα Μητροπολιτικών Δικτύων

Η ραγδαία χρήση της τεχνολογίας WDM σε μητροπολιτικά δίκτυα έχει οδηγήσει πολλές εταιρίες τηλεπικοινωνιών και συστημάτων πληροφορικής στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων. Παρακάτω θα γίνει μία αναφορά σε τρία συστήματα μητροπολιτικών δικτύων εταιριών παγκοσμίου φήμης με μεγάλη τεχνογνωσία στο χώρο των οπτικών τηλεπικοινωνιών. Θα ασχοληθούμε με τα συστήματα *PMA32* της *Marconi*, *TransXpress Waveline EL1* της *Siemens A.G.* και *Optinex 1686 WM* της *Alcatel*.

### 6.3.1 PMA32 της Marconi [13]

Το σύστημα *PMA32* είναι ένας πολυπλέκτης προσθαφαίρεσης 32 καναλιών που φέρνει ένα νέο επίπεδο ευελιξίας στη λειτουργία των WDM δικτύων. Η κύρια εφαρμογή του είναι σε μητροπολιτικά και περιφερειακά δίκτυα αρχιτεκτονικής τύπου δακτυλίου (ring). Σε αυτές τις αρχιτεκτονικές το σύστημα *PMA32* παρέχει τις βέλτιστες λύσεις και υποστηρίζει αποστάσεις έως και 80km. Το *PMA32* χρησιμοποιεί προηγμένες πηγές laser και οπτικά φίλτρα, όπου μαζί με την τεχνολογία της οπτικής μεταγωγής παρέχει την απόλυτη και από απόσταση ελεγχόμενη δρομολόγηση της κυκλοφορίας.



**Σχήμα 6.3:**

Το σύστημα PMA32 της Marconi [13]

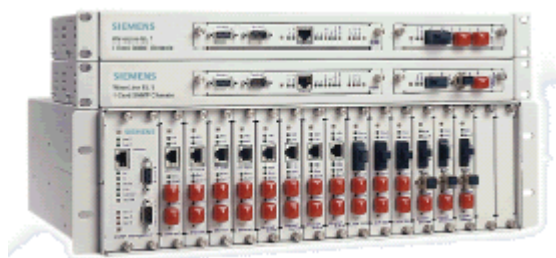
Χαρακτηριστικά:

- Συμβατότητα με διαφορετικών ειδών οπτικές ίνες.
- Τεχνολογίες μετάδοσης SDH, SONET, PDH, IP, ATM, Gigabit Ethernet, Fast Ethernet, Fibre Channel, FDDI, ESCON.
- Υποστήριξη έως 32 κανάλια μέσα από ένα ζευγάρι οπτικών ινών.
- 32 x 2.5Gbit/s χωρητικότητα καναλιών.
- Τοπολογίες δικτύων σημείο-σημειακή, δακτυλίου, πλέγματος.
- QoS-Quality of Service, παροχή υπηρεσιών εγγυημένης ποιότητας.



### 6.3.2 TransXpress Waveline EL1 της Siemens A.G. [14]

Το *TransXpress WaveLine EL1* της Siemens A.G. είναι ένα σύστημα WDM σημάτων, που σχεδιάστηκε για χρήση σε δίκτυα επιχειρήσεων και μεταφοράς δεδομένων. Το WaveLine EL1 αποτελείται από οπτικούς τερματικούς πολυπλέκτες, που υποστηρίζουν τις από σημείο-σημειακή τοπολογίες με την ικανότητα μετάδοσης μέχρι τεσσάρων προστατευμένων καναλιών σε δύο ζευγάρια ινών ή οκτώ μη προστατευμένων καναλιών σε δύο ζευγάρια ινών. Το TransXpress WaveLine EL1 αποτελεί μια εύχρηστη λύση, παρέχοντας απομακρυσμένη διαχείριση συστημάτων, δοκιμή υπηρεσιών και έλεγχο ασφαλείας. Είναι μια ιδανική, οικονομικά αποδοτική λύση για υψηλές ταχύτητες δεδομένων, αποθήκευσης, μετάδοσης φωνής και εφαρμογών τοπικών δικτύων.



Σχήμα 6.4:

Το σύστημα TransXpress WaveLine EL1 της Siemens A.G. [14]

Χαρακτηριστικά:

- Μετατροπή μήκους κύματος (αναμεταδότες-transponders) από 850nm σε 1310nm ή από 1310nm σε 1550nm.
- Ρυθμός μεταφοράς δεδομένων από 1.5 Gbps έως 2.5 Gbps σε μονότροπη οπτική ίνα.
- Τεχνολογίες μετάδοσης SDH, SONET, ATM, Gigabit Ethernet, Fast Ethernet, Fibre Channel.
- Υπηρεσίες Σύγχρονης Μετάδοσης, STM-1, STM-4, STM-16.
- ATM 155, 622 Mbit/s και 2,488 Mbit/s.
- E1/T1
- Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM).
- Μέχρι 4 κανάλια για τοπολογίες σημείο-σημειακή.
- Τοπολογίες δικτύων σημείο-σημειακή, δακτυλίου.
- QoS-Quality of Service, παροχή υπηρεσιών εγγυημένης ποιότητας.
- 99,999% αξιοπιστία.

### 6.3.3 Optinex 1686 WM της Alcatel [15]

Το *Optinex 1686 WM* της Alcatel είναι ένα σύστημα 32-καναλιών WDM, το οποίο παρέχει μια εξελικτική και οικονομικώς αποδοτική λύση για τα περιφερειακά και μητροπολιτικά οπτικά δίκτυα. Είναι ιδανικό για χρήση ως οπτικού τερματικού πολυπλέκτη



για τα από σημείο-σημειακή περιφερειακά και μητροπολιτικά δίκτυα, αλλά και ως οπτικού πολυπλέκτη προσθαφαίρεσης (OADM).



**Σχήμα 6.5:**

Το σύστημα Optinex 1686 WM της Alcatel [15]

Χαρακτηριστικά:

- Συμβατότητα με τη σύσταση G.692 της ITU-T.
- Υποστήριξη 32 καναλιών STM-64 (10 Gbit/s).
- Συμβατότητα με διαφορετικών ειδών οπτικές ίνες.
- Τεχνολογίες μετάδοσης SDH, SONET, IP, ATM.
- Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM).
- Τοπολογίες δικτύων σημείο-σημειακή, δακτυλίου.
- QoS-Quality of Service, παροχή υπηρεσιών εγγυημένης ποιότητας.



## Κεφάλαιο

# 7

COPY

### 7. Μέλλον του WDM

Η τεχνολογία WDM αναφέρεται στο φυσικό επίπεδο των δικτύων και προέκυψε κυρίως λόγω της βελτίωσης των φυσικών ενσύρματων μέσων, που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες. Έτσι αρχικά με την βελτίωση της τεχνολογίας των laser και στη συνέχεια με την εμφάνιση των οπτικών ενισχυτών έγινε δυνατή η παράλληλη μετάδοση σημάτων μέσα από τις υφιστάμενες οπτικές ίνες. Επομένως η μετάβαση σε αυτή την τεχνολογία θα μπορούσε να θεωρηθεί εύκολη. Ωστόσο υπάρχουν παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη πριν γίνει μια τέτοια αναβάθμιση. Είναι το κόστος και η ανταγωνιστικότητα



απέναντι σε άλλες επιλογές. Ισοσταθμίζοντας τις ανάγκες και τις δυνατότητες κάθε εφαρμογής μπορούμε να κρίνουμε αν είναι συμφέρουσα μια τέτοια επιλογή.

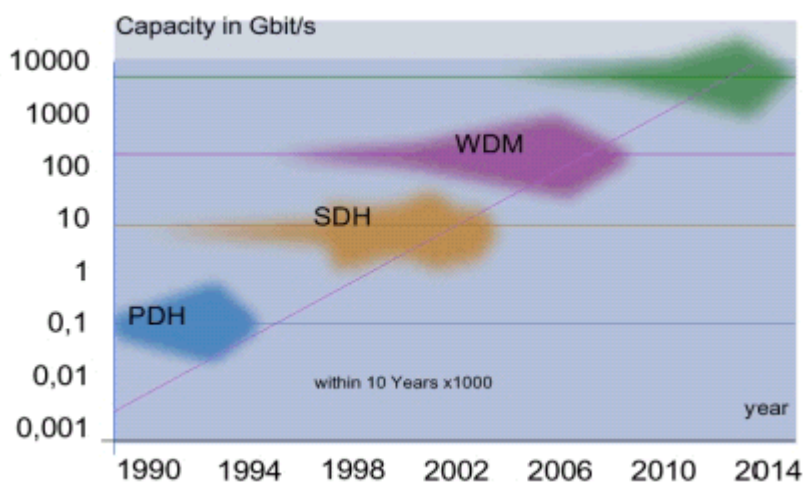
## 7.1 Κόστος Υλοποίησης

Κάθε νέα τεχνολογία για να επιτύχει θα πρέπει συγκριτικά να χαρακτηρίζεται σαν πληρέστερη από πλευράς δυνατοτήτων, χαμηλότερου κόστους σχετικά με το συντελεστή απόδοσης/κόστους και πιο γρήγορη. Σε ερευνητικό επίπεδο, η τεχνολογία WDM αναπτύχθηκε πριν αρκετά χρόνια και σαν πλεονέκτημα της είχε το γεγονός ότι έδινε τη δυνατότητα για τη μεταφορά περισσότερων δεδομένων ταχύτερα και σε χαμηλότερο κόστος. Σήμερα πια η υλοποίηση της είναι γεγονός και προσφέρει τη δυνατότητα να αναβαθμιστούν οι οπτικές συνδέσεις με κόστος μόλις το 1/3 σε σχέση με την κλασική μέθοδο εγκατάστασης νέων οπτικών ινών. Το κόστος μάλιστα αυτό αναμένεται να μειωθεί και άλλο καθώς η τεχνολογία των laser και των οπτικών ενισχυτών είναι ακόμα νέα και συνεχώς θα βελτιώνεται, με αποτέλεσμα να υποχωρούν οι τιμές των συστημάτων της προτελευταίας γενιάς.

## 7.2 Πλεονεκτήματα

Συμπερασματικά, από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω η τεχνολογία πολυπλεξίας μήκους κύματος εισάγει πολλά νέα δεδομένα στην αξιοποίηση των οπτικών δικτύων. Ας δούμε όμως πιο συγκεκριμένα τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που προσφέρει.

Το αδιαμφισβήτητο πλεονέκτημα της νέας τεχνολογίας είναι η δυνατότητα για *πολλαπλασιασμό του εύρους ζώνης*, που παρέχεται από μια οπτική ίνα. Πραγματικά τα μεγέθη είναι εντυπωσιακά, τα 2.5 Gbps που ήταν μέχρι τώρα ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης που μπορούσε να μεταδοθεί μέσα από μία εγκατεστημένη οπτική ίνα *πολλαπλασιάζεται* με έναν παράγοντα μέχρι 100, ο οποίος μάλιστα αναμένεται να αυξηθεί. (Σχήμα 7.1)



**Σχήμα 7.1:**  
Αύξηση Εύρους Ζώνης



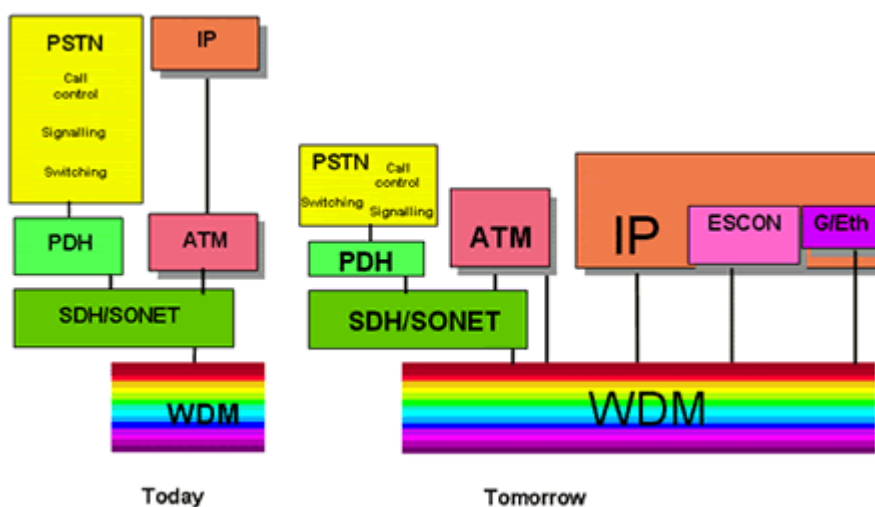


Έχουν γίνει εργαστηριακές επιδείξεις που φτάνουν μέχρι κάποια Terabit/sec.

### Σημείωση

Ερευνητές από το Bell Labs, το τμήμα έρευνας και ανάπτυξης της Lucent, ανακοίνωσαν ότι σημείωσαν ένα νέο ρεκόρ στη μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων μέσα από γραμμές μεγάλου μήκους. Το ρεκόρ έλαβε χώρα στα πλαίσια μιας επίδειξης, στην οποία έγινε μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα της τάξης των 2,56 Terabits/sec μέσω από μια γραμμή μήκους 4.000 km. Η μεταφορά έγινε με ένα 64κάναλο σύστημα DWDM, με κάθε κανάλι να μεταφέρει τα δεδομένα με ταχύτητα 40 Gbps. [flash.gr]

Ένα άλλο πλεονέκτημα της τεχνολογίας WDM είναι ότι υποστηρίζει μεγάλο πλήθος διαφορετικών τεχνολογιών μετάδοσης και πρωτοκόλλων, πάνω από το οπτικό επίπεδο. (Σχήμα 7.2)



**Σχήμα 7.2:**

Τεχνολογίες Μετάδοσης και Πρωτόκολλα πάνω από WDM [3]

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που κάνει την WDM ιδιαίτερα ελκυστική για τους μεγάλους παροχείς είναι το γεγονός ότι για την ενίσχυση του οπτικού σήματος, προκειμένου αυτό να διανύσει αποστάσεις μεγαλύτερες από 65-70 km, δεν απαιτούνται πλέον οι κλασσικές οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις, που μετατρέπουν το σήμα σε ηλεκτρικό, προκειμένου να το ενισχύσουν, αλλά γίνεται χρήση του οπτικού ενισχυτή, ο οποίος λειτουργεί ανεξάρτητα από το πλήθος των διαφορετικών μηκών κύματος και ρυθμού μετάδοσης των σημάτων.

Τέλος, η χρήση της τεχνολογίας WDM προσφέρει την δυνατότητα για εύκολη αναβάθμιση της υφιστάμενης υποδομής, αφού η ενεργοποίηση μιας νέας εικονικής ίνας μπορεί να γίνει άμεσα και χωρίς ιδιαίτερο κόστος. Πέραν αυτού, η τεχνολογία είναι εντελώς διαφανής και στο ρυθμό μετάδοσης, αλλά και στα πρωτόκολλα που έχουν εφαρμοστεί.

## 7.3 Μέλλον του WDM

Η τεχνολογία WDM θα συνεχίσει να παρέχει εύρος ζώνης για μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης για μεταφορά δεδομένων. Επίσης, η ανάπτυξη υπερταχέων *εξ' ολοκλήρου οπτικών* (all optical) δικτύων WDM, στα οποία όλες οι απαραίτητες λειτουργίες (ενίσχυση,



αναγέννηση, μεταγωγή, δρομολόγηση κλπ.) θα γίνονται στο οπτικό επίπεδο (optical layer) χωρίς ενδιάμεσες ηλεκτροοπτικές μετατροπές, θα οδηγήσει στην επέκταση της εφαρμογής του WDM σε όλους τους τύπους δικτύων. [1]

Τέλος κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούμε σε κάποιες από τις έρευνες που διεξάγονται σε ερευνητικά και πανεπιστημιακά ιδρύματα, οι οποίες θα οδηγήσουν σε αναβαθμισμένα συστήματα WDM. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα έχει στραφεί στις εξής κατευθύνσεις: [1]

- *Εξ' ολοκλήρου οπτική λειτουργία* : Αναφέρονται ενδεικτικά οι λειτουργίες της μετατροπής μήκους κύματος, της αναγέννησης (3R), της μεταγωγής και της επιτήρησης που θα επιδιωχθεί να γίνονται στο οπτικό επίπεδο. Η εξ' ολοκλήρου οπτική λειτουργία είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη εξ' ολοκλήρου οπτικών δικτύων.
- *Ανάπτυξη νέων τεχνολογιών*: Αναφέρεται ενδεικτικά η μετάδοση σολιτονίων. Τα σολιτόνια είναι παλμοί ειδικής μορφής, που δεν επηρεάζονται από τη διασπορά. Ένα σολιτόνιο μπορεί να διαδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις (της τάξης των 10.000 km), χωρίς ουσιαστική χρονική διεύρυνση.
- *Βελτίωση των δομοστοιχείων του συστήματος*: Αφορά την ανάπτυξη μεταβαλλόμενου μήκους κύματος λειτουργίας (tunable) lasers κατανεμημένης ανάδρασης (έχει ήδη ανακοινωθεί), ενισχυτικών διατάξεων με ίνα Ερβίου με περιοχή λειτουργίας 1525-1605 nm (έχει ήδη ανακοινωθεί), διατάξεων οπτικής προσθαφαίρεσης OADMs (αρχικά στατικά και, στο απώτερο μέλλον, δυναμικά) και οπτικών διασταυρωτήρων (OXC's).
- *Αναβάθμιση συστημάτων*: Αφορά τη χρήση συστημάτων 10 Gbps (STM-64) και 40 Gbps (STM-256) και την πολυπλεξία 128 ή και περισσοτέρων καναλιών.
- *Νέες αρχιτεκτονικές δικτύων*: Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι αναπτύσσονται προσπάθειες, με την εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών της τεχνολογίας WDM για την κατασκευή νέων αρχιτεκτονικών δικτύων, που θα στηρίζονται στην οπτική μεταγωγή. Σίγουρα αυτό θα ήταν και το τελευταίο βήμα για να ολοκληρωθεί η εικόνα ενός δικτυακού μοντέλου με τέλεια συνδυασμένα, για τα δεδομένα της εποχής, την ομοιομορφία και την ταχύτητα.



## Βιβλιογραφία - Σύνδεσμοι Διαδικτύου

1. X. Βασιλόπουλος, Γ. Παγιατάκης - Συστήματα Πολυπλεξίας Μήκους Κύματος (WDM)
2. Cisco Systems Inc. - Introduction to DWDM for Metropolitan Networks
3. Marconi Academy - Introduction to Dense Wavelength Division Multiplexing
4. Intracom S.A. - Τηλεπικοινωνίες με Οπτικές Ίνες
5. Α. Αλεξόπουλος, Γ. Λαγογιάννης - Τηλεπικοινωνίες & Δίκτυα Υπολογιστών
6. JoAnne Woodcock - Εισαγωγή στα Δίκτυα Υπολογιστών
7. Simon Haykin - Συστήματα Επικοινωνίας
8. X. Γιανακόπουλος, Π. Κανελλόπουλος, X. Ντόκος - Πολυπλεξία Μήκους Κύματος (Εργασία για το μεταπτυχιακό μάθημα *Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων & Τηλεματικής*, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών)
9. Μάθετε τα πάντα για τις οπτικές ίνες ( [http://egnatia.ee.auth.gr/~aalexioy/fiber\\_op.htm](http://egnatia.ee.auth.gr/~aalexioy/fiber_op.htm) )
10. Extreme Networks - Single Mode vs. Multi-Mode Optical Fibers ( <http://www.extremenetworks.com/libraries/abstracts/optics.asp> )
11. Καραγιαννάκης Γεώργιος - IP over SONET/SDH over WDM vs. IP over WDM (Εργασία για το μεταπτυχιακό μάθημα *Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων*, Τμήμα Μεταπτυχιακών σπουδών στα Πληροφοριακά Συστήματα, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας)
12. Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας ( <http://www.grnet.gr> )
13. Marconi ( <http://www.marconi.com> )
14. Siemens A.G. ( <http://www.siemens.com> )
15. Alcatel ( <http://www.alcatel.com> )
16. Alcatel - Optical Networks (White Paper)
17. Frank Bruyere - Metro WDM (White Paper)
18. RBN - Characteristics of CWDM
19. Κολίτσης Αναστάσιος - ATM and WDM Integration
20. Μ. Αλεξανδροπούλου, Δ. Κόντου, Α. Καραλιώτας, Α. Λίνας – SMDS (Εργασία για το μεταπτυχιακό μάθημα *Αλγοριθμικά Θέματα Δικτύων & Τηλεματικής*, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών)



## Λεξιλόγιο

---

### A

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ADSL</b>        | Ακρώνυμο του Asymmetric Digital Subscriber Line (Ασύμμετρη Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή), που είναι μια μορφή DSL η οποία μεταδίδει πληροφορίες σε ταχύτητες έως 8 Mbps στο κατέβασμα και έως 640 Kbps στο ανέβασμα.                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>attenuation</b> | Η εξασθένιση στη δύναμη του σήματος κατά μήκος ενός οπτικού κυματοδηγού ινών. Η εξασθένιση προκαλείται από έναν συνδυασμό απορρόφησης και σκέδασης της φωτεινής ενέργειας και εκφράζεται συνήθως decibel ανά χιλιόμετρο (dB/km).                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>ATM</b>         | Asynchronous Transfer Mode. Υψηλής ταχύτητας τεχνολογία δικτύων, σχεδιασμένη για μεταδόσεις πολλών ειδών πληροφοριών, μεταξύ των οποίων κείμενο, φωνή, ήχος και βίντεο. Το ATM, βασιζόμενο σε μικρά πακέτα σταθερού μήκους, επιτυγχάνει ταχύτητες έως 622 Mbps (με καλώδια οπτικών ινών). Η βασική μονάδα των μεταδόσεων ATM είναι γνωστή ως κελί, και είναι ένα πακέτο αποτελούμενο από 5 byte πληροφορίες δρομολόγησης και 48 byte φορτίο (δεδομένα). |

### B

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>backbone</b>  | (σπονδυλική στήλη, δίκτυο κορμός) Ο δίαυλος επικοινωνιών από όπου περνάει το μεγάλο ποσοστό της κίνησης ενός δικτύου. Πολλές φορές, η σπονδυλική στήλη είναι κάποιο μέσο μετάδοσης υψηλής ταχύτητας και μπορεί να χρησιμοποιείται για να συνδέει τμήματα δικτύου, μικρά δίκτυα, ή πολλά διασκορπισμένα σε τεράστιες αποστάσεις μεταξύ τους. |
| <b>bandwidth</b> | (εύρος ζώνης) Στον αναλογικό κόσμο, το εύρος μεταξύ της υψηλότερης και της χαμηλότερης συχνότητας ενός δεδομένου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μετρημένο σε Hertz. Στον ψηφιακό κόσμο όμως, το εύρος ζώνης αναφέρεται στην ταχύτητα μετάδοσης, μετρημένη σε bit ανά δευτερόλεπτο.                                                |
| <b>beacon</b>    | (σινιάλο) Σε δίκτυα FDDI, ένα ειδικό πλαίσιο, που δημιουργείται και προωθείται όταν ένας κόμβος εντοπίσει κάποιο πρόβλημα.                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>bit rate</b>  | Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε b/s ή bps. Τυποποιημένες τιμές ρυθμών μετάδοσης: 50, 75, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 7200, 9600, 12000, 14400, 16800, 19200, 38400 bps, 64 kbps, 1,5 Mbps, 2 Mbps, 32 Mbps, 155 Mbps, 620 Mbps κλπ.                                                                                                      |
| <b>bps</b>       | Ακρώνυμο των λέξεων bit per second (bit ανά δευτερόλεπτο), της                                                                                                                                                                                                                                                                              |



μονάδας μέτρησης της ταχύτητας μετάδοσης πληροφοριών σε δίκτυα και γραμμές επικοινωνίας. Αν και τα bps αποτελούν τη βασική μονάδα μέτρησης, τα δίκτυα και οι συσκευές επικοινωνίας, είναι τόσο γρήγορα που οι ταχύτητές τους μετρώνται σε πολλαπλάσια των bps – Kbps, Mbps, Gbps.

---

## C

|                             |                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>carrier</b>              | Φορέας. Σήμα κάποιας συχνότητας που διαμορφώνεται και μεταφέρει το σήμα πληροφορίας.                                                                                            |
| <b>chromatic dispersion</b> | Η χρωματική διασπορά (chromatic dispersion) οφείλεται στο γεγονός ότι τα διαφορετικά μήκη κύματος διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες.                                        |
| <b>cladding</b>             | Υλικό που περιβάλλει τον πυρήνα μιας οπτικής ίνας. Η επίστρωση έχει χαμηλότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα και αναγκάζει τη φωτεινή δέσμη να ταξιδεύει μέσα από τον πυρήνα. |
| <b>core</b>                 | Ομόκεντρη κυλινδρική οντότητα διηλεκτρικού υλικού. Είναι η κεντρική ίνα από γυαλί ή πλαστικό μέσω της οποίας μεταδίδεται η φωτεινή δέσμη που μεταφέρει την πληροφορία.          |
| <b>crosstalk</b>            | (παραδιαφωνία) Στις επικοινωνίες, παράσιτα που προκαλεί η μεταβίβαση σήματος από ένα σύρμα στο άλλο.                                                                            |

---

## D

|                   |                                                                                                                                                                               |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>dark fiber</b> | Μία ανενεργός οπτική ίνα.                                                                                                                                                     |
| <b>dB</b>         | Decibel. Μια λογαριθμική κλίμακα που χρησιμοποιείται ως μέτρο της σχετικής δύναμης. Στη μετάδοση οπτικών σημάτων, η εξασθένιση (απώλεια) εκφράζεται ως dB/km.                 |
| <b>DFB</b>        | Distributed FeedBack laser. Laser τύπου κατανεμημένης ανάδρασης.                                                                                                              |
| <b>dispersion</b> | Η χρονική διάδοση ενός φωτεινού σήματος που προκαλείται καθώς τα φωτεινά σήματα ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες διαμέσου ενός οπτικού κυματοδηγού.                       |
| <b>DSF</b>        | Ίνα Μετατοπισμένης Διασποράς (Dispersion-shifted fiber). Ένας τύπος μονότροπης οπτικής ίνας που έχει μηδενική διασπορά στην περιοχή των 1550nm.                               |
| <b>DSL</b>        | Ακρόνυμο του Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή). Πρόσφατη ψηφιακή τεχνολογία επικοινωνιών η οποία δίνει τη δυνατότητα μεταδόσεων υψηλών ταχυτήτων μέσω των |



συνηθισμένων τηλεφωνικών γραμμών. Το DSL, συχνά αναφέρεται και ως xDSL, όπου το x εκπροσωπεί έναν από δύο χαρακτήρες που προσδιορίζουν παραλλαγές της βασικής τεχνολογίας DSL.

## DWDM

Dense Wavelength Division Multiplexing. Πυκνή Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος. Η μετάδοση πολλαπλών σημάτων με διαφορετικά μήκη κύματος στην περιοχή των 1550nm μέσα από μία οπτική ίνα ή από ζευγάρι αυτών.

---

## E

### E1

Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα μετάδοσης στα 2048 Kbps.

### EDFA

Erbium-doped Fiber Amplifier. Ενισχυτής Ίνας Ερβίου. Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου.

### ESCON

Enterprise System CONnection. Σύνδεση επιχειρηματικών συστημάτων. Ένα πρωτόκολλο της IBM που χρησιμοποιείται για να συνδέσει τους κεντρικούς υπολογιστές με τις περιφερειακές μονάδες και άλλους κεντρικούς υπολογιστές με ταχύτητες από 10 έως 17 MBps μέσα από το οπτικό καλώδιο ινών.

### Ethernet

Ένα πολύ διαδεδομένο δίκτυο που αποτέλεσε τη βάση του προτύπου IEEE 802.3 για τα δίκτυα διαύλου τα οποία ελέγχουν τις μεταδόσεις με βάση το CSMA/CD. Το Ethernet είναι διαθέσιμο σε διάφορες μορφές, στις οποίες περιλαμβάνονται οι γνωστές ως Thin Ethernet, Thick Ethernet, 10BaseX Ethernet, 100BaseX Ethernet. Ουσιαστικά είναι ένα δίκτυο βασικού εύρους ζώνης, ταχύτητας 10 Mbps ή 100 Mbps.

---

## F

### Fast Ethernet

Είδος δικτύου Ethernet ταχύτητας 100 Mbps.

### FDDI

Ακρώνυμο του Fiber Distributed Data Interface (Κατανεμημένη Διασύνδεση Δεδομένων με Οπτικές Ίνες). Μια υψηλής ταχύτητας δικτυακή τεχνολογία που βασίζεται σε καλώδια οπτικών ινών, μεταβίβαση σκυτάλης και τοπολογία δακτυλίου.

### FWM

Four Wave Mixing. Η τετρακυματική μίξη είναι ένα μη γραμμικό φαινόμενο στο οποίο από την αλληλεπίδραση τριών καναλιών με συχνότητες  $f_i$ ,  $f_j$  και  $f_k$ , προκύπτουν πρόσθετα κανάλια με συχνότητες  $f_i \pm f_j \pm f_k$ , τα οποία μπορεί να συμπέσουν με πολυπλεγμένα κανάλια δημιουργώντας παρεμβολές.





---

## G, H

|                         |                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gbps</b>             | Gigabits per second                                                                                                                                                                             |
| <b>GBps</b>             | Gigabytes per second                                                                                                                                                                            |
| <b>GHz</b>              | Gigahertz (ένα δισεκατομμύριο Hertz)                                                                                                                                                            |
| <b>Gigabit Ethernet</b> | Μορφή Ethernet που εξελίχθηκε πρόσφατα και που λειτουργεί στα 1000 Mbps (1 Gigabit το δευτερόλεπτο). Το Gigabit Ethernet αναμένεται να χρησιμοποιηθεί ως σπονδυλική στήλη LAN υψηλών ταχυτήτων. |
| <b>Hz</b>               | Hertz (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο)                                                                                                                                                                 |

---

## I

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IEEE</b>           | Ακρώνυμο του Institute of Electrical and Electronics Engineers (Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών). Μια ένωση επαγγελματιών τεχνικών με έδρα τις Η.Π.Α. αλλά με μέλη από πολλές άλλες χώρες. Ο IEEE εστιάζεται σε ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά θέματα, σε ζητήματα μηχανολογίας υπολογιστών και άλλα επιστημονικά ζητήματα. Στον κόσμο των δικτύων, είναι πολύ γνωστός για την ανάπτυξη των προδιαγραφών IEEE 802.x, που αφορούν πρότυπα δικτύωσης. |
| <b>insertion loss</b> | Απώλειες εισαγωγής.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>IP</b>             | Αρχικά των λέξεων Internet Protocol (Πρωτόκολλο Internet), του πρωτοκόλλου TCP/IP που είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των πακέτων.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>ITU</b>            | Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ξεκίνησε το 1865 ως Διεθνής Τηλεγραφική Ένωση και μετονομάστηκε σε Ένωση Τηλεπικοινωνιών το 1932. Από το 1947 λειτουργεί υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών. Η έδρα της είναι στη Γενεύη και απαρτίζεται από 166 κράτη μέλη. Διαίρεται σε 4 οργανικά τμήματα, τη Γενική Γραμματεία, το IFRB, την CCIR και την CCITT.                                                                                                                   |

---

## J, K

|             |                                          |
|-------------|------------------------------------------|
| <b>kbps</b> | Kilobits per second                      |
| <b>kHz</b>  | Kilohertz, (1000 κύκλοι το δευτερόλεπτο) |
| <b>km</b>   | 1 km = 3280 πόδια (feet) ή 0,62 μίλια    |

---



---

## L

- lambda** Ένα κανάλι δεδομένων σε ένα WDM ή DWDM σύστημα που ορίζεται από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Πολλές φορές lambda και μήκος κύματος χρησιμοποιούνται εναλλακτικά.
- LAN** Local Area Network (τοπικό δίκτυο) Δίκτυο σχετικά περιορισμένου εύρους – για παράδειγμα, ένα δίκτυο που συνδέει υπολογιστές σε ένα τμήμα οργανισμού ή σε ένα κτίριο.

---

## M

- MAN** Metropolitan Area Network. Μητροπολιτικό Δίκτυο. Ένα δίκτυο που περιβάλλει μεγαλύτερη περιοχή από ότι ένα LAN (Local Area Network), συνήθως μιας ολόκληρης πόλης.
- material dispersion** Η διασπορά υλικού οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος.
- Mbps** Megabit per second, ένα εκατομμύριο bits per second.
- MHz** Megahertz, (1.000.000 κύκλοι το δευτερόλεπτο).
- multiplexing** (πολυπλεξία) Η διεργασία της πλέξης πολλών σημάτων σε ένα μόνο κανάλι ή μία γραμμή επικοινωνίας. Στην πολυπλεξία, τμήματα πληροφοριών από κάθε κανάλι παρεμβάλλονται το ένα μετά το άλλο, ενώ συνήθως διαχωρίζονται με τη βοήθεια χρόνου, συχνοτήτων, ή μήκους κύματος.

---

## N

- nonlinearity** Απόκλιση από τη γραμμικότητα σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, μια ηλεκτροπτική συσκευή, ή μια ίνα, η οποία παράγει ανεπιθύμητα συστατικά σε ένα σήμα.
- NZ-DSF** Ίνα μη μηδενικής Μετατοπισμένης Διασποράς (Non-zero dispersion-shifted fiber). Μια NZ-DSF ίνα έχει το μηδενικό σημείο διασποράς κοντά στο παράθυρο των 1550nm, αλλά έξω από το πραγματικό παράθυρο χρησιμοποιείται για να μεταδώσει τα σήματα. Έχει ως σκοπό να μεγιστοποιεί το εύρος ζώνης ελαχιστοποιώντας τη μη γραμμικότητα των ινών.



---

## O

**OADM** Optical Add/Drop Multiplexer. Οπτικοί Πολυπλέκτες Προσθαφαίρεσης. Ο ρόλος τους είναι η εξαγωγή (dropping) από το σύνθετο (aggregate) οπτικό σήμα ή/και η εισαγωγή (adding) σε αυτό, ενός ή περισσότερων οπτικών καναλιών

**optical fiber** Οπτική Ίνα. Μορφή καλωδίωσης δικτύων που μεταφέρει το σήμα οπτικά και όχι ηλεκτρικά όπως συμβαίνει με τα ομοαξονικά καλώδια. Το εσωτερικό ενός καλωδίου οπτικών ινών, που είναι αυτό που μεταδίδει το φως, αποτελείται από μία λεπτή ίνα από γυαλί ή πλαστικό και λέγεται πυρήνας. Ο πυρήνας αυτός περιβάλλεται από μια αντανακλαστική στρώση που λέγεται επίστρωση και η οποία παγιδεύει το φως και το αναγκάζει να συνεχίσει την πορεία του στην κεντρική ίνα. Ο πυρήνας και η επίστρωση περιβάλλονται από ένα πλαστικό υλικό, που λέγεται κάλυμμα ή περίβλημα.

---

## P

**physical layer** Το πρώτο επίπεδο του μοντέλου OSI.

**PMD** Η διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarisation Mode Dispersion – PMD) οφείλεται στη διαφοροποίηση των ταχυτήτων ομάδας μεταξύ των δύο ορθογώνιων πολώσεων που συνιστούν τον θεμελιώδη τρόπο  $HE_{11}$ .

---

## R

**Rayleigh Scattering** Η πιο κοινή μορφή σκέδασης, η σκέδαση Rayleigh, προκαλείται από τις μικρές παραλλαγές στην πυκνότητα του γυαλιού καθώς αυτό δροσίζει. Αυτές οι παραλλαγές είναι μικρότερες από τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος και επομένως ενεργούν σαν διασκορπισμένα αντικείμενα.

**ring topology** (τοπολογία δακτυλίου) Διευθέτηση δικτύου, σύμφωνα με την οποία οι κόμβοι συνδέονται στην κύρια γραμμή επικοινωνιών σχηματίζοντας ένα λογικό ή φυσικό δακτύλιο.

---

## S

**SDH** Synchronous Digital Hierarchy (Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία) Προδιαγραφή της ITU που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη, και από τις περισσότερες απόψεις είναι παρόμοια με το πρότυπο SONET που χρησιμοποιείται στη Βόρειο Αμερική και την Ιαπωνία.



**Single Mode Fiber** Μονότροπη Οπτική Ίνα. Μια οπτική ίνα μικρού πυρήνα μέσω της οποίας μόνο μία φωτεινή δέσμη μπορεί να διαδοθεί.

**SONET** Ακρώνυμο του Synchronous Optical NETwork (Σύγχρονο Οπτικό Δίκτυο), ενός δικτύου υψηλής ταχύτητας που διαθέτει μια τυπική διασύνδεση όπου συνδέονται δίκτυα τα οποία βασίζονται σε καλώδια οπτικών ινών μέσω φερόντων σημάτων επικοινωνίας. Το SONET είναι σχεδιασμένο για να χειρίζεται πολλά είδη δεδομένων (φωνή, εικόνα, κλπ). Μεταδίδει με βασική ταχύτητα 51,84 Mbps, αλλά μπορεί να φτάσει και σε πολλαπλάσια της ταχύτητας αυτής, μέχρι και 2,488 Gbps.

---

## T

**T1** Γραμμή επικοινωνιών υψηλής ταχύτητας, γνωστή και ως φορέας T1, που αρχικά εξελίχθηκε για να μεταφέρει ταυτόχρονα πολλές συνομιλίες μέσω των τυπικών καλωδίων συνεστραμένου ζεύγους. Αυτή τη στιγμή, το T1 παρέχει ψηφιακές επικοινωνίες και πρόσβαση στο Internet με ταχύτητα 1,54 Mbps. Το T1 πετυχαίνει την ταχύτητα αυτή πολυπλέκοντας 24 ξεχωριστά κανάλια των 64 Kbps σε ένα ρεύμα μοναδικό δεδομένων.

**topology** (τοπολογία) Η διάταξη του δικτύου ή η διευθέτησή του.

---

## U, W

**WAN** Wide Area Network (Δίκτυο Ευρείας Περιοχής) Ένα διασκορπισμένο γεωγραφικά δίκτυο, που βασίζεται σε δυνατότητες επικοινωνίας για τη σύνδεση των διαφόρων τμημάτων του. Ένα WAN μπορεί να είναι ένα μεγάλο δίκτυο ή μπορεί να αποτελείται από έναν αριθμό συνδεδεμένων τοπικών δικτύων (LAN).

**waveguide dispersion** Η κυματοδηγητική διασπορά οφείλεται στην εξάρτηση της ταχύτητας ομάδας (group velocity) από τα χαρακτηριστικά του κυματοδηγού (πυρήνας, επίστρωση).



## Συντομογραφίες

|       |                                                  |
|-------|--------------------------------------------------|
| APD   | Avalanche Photo Diodes                           |
| ASK   | Amplitude Shift Keying                           |
| ATM   | Asynchronous Transfer Mode                       |
| AWG   | Arrayed Waveguide Grating                        |
| BPS   | Bit Per Second                                   |
| CVD   | Chemical Vapor Deposition                        |
| DBFA  | Dual Band Fiber Amplifier                        |
| DFB   | Distributed FeedBack                             |
| DSF   | Dispersion-Shifted Fiber                         |
| DWDM  | Dense Wavelength Division Multiplexing           |
| EDFA  | Erbium-Doped Fiber Amplifier                     |
| ESCON | Enterprise System CONnection                     |
| FDDI  | Fiber Distributed Data Interface                 |
| FDM   | Frequency Division Multiplexing                  |
| FWM   | Four-Wave Mixing                                 |
| IEEE  | Institute of Electrical and Electronic Engineers |
| ITU   | International Telecommunication Unit             |
| LAN   | Local Area Network                               |
| LED   | Light Emitting Diode                             |
| MAN   | Metropolitan Area Network                        |
| NZDSF | Non-zero Dispersion-Shifted Fiber                |
| OADM  | Optical Add/Drop Multiplexer                     |
| OXC   | Optical Cross Connect                            |
| PDH   | Plesiochronous Digital Hierarchy                 |
| PIN   | Positive Intrinsic Negative                      |
| PMD   | Polarisation Mode Dispersion                     |
| PSTN  | Public Switched Telephone Network                |
| SAN   | Storage Area Network                             |
| SBS   | Stimulated Brillouin Scattering                  |
| SDH   | Synchronous Digital Hierarchy                    |
| SMDS  | Switched Multimegabit Data Services              |
| SMF   | Standard Single-mode Fiber                       |
| SONET | Synchronous Optical NETwork                      |
| SPM   | Shelf-Phase Modulation                           |
| SRS   | Stimulated Raman Scattering                      |
| STM   | Synchronous Transfer Mode                        |
| STM-1 | Synchronous Transport Module-Level 1             |
| TDM   | Time Division Multiplexing                       |
| WAN   | Wide Area Network                                |
| WDM   | Wavelength Division Multiplexing                 |
| XPM   | Cross-Phase Modulation                           |