



νται σε ελάχιστους μόνο περιορισμούς αποτελεί ταυτόχρονα και ευχή και κατάρα. Από τη στιγμή που κανείς δεν καθορίζει το μέγιστο πλήθος των πομπών, αλλά ούτε και τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα εκπομπής, είναι βέβαιο πως η αξιοπιστία μιας μετάδοσης θα πρέπει να θεωρείται χαμηλή (ιδίως όταν αυτή πραγματοποιείται με τις τυπικές τεχνικές). Τα πράγματα αποδεικνύονται ακόμα χειρότερα αν λάβουμε υπόψη μας την 'πολυκοσμία' αυτών των ραδιοφωνικών περιοχών, όπως επίσης και τις ανεξέλεγκτες πηγές βιομηχανικών παρασίτων που 'βρωμίζουν' το ηλεκτρομαγνη-

τικό φάσμα. Μια ιδέα για το τι υπάρχει στις περιοχές των 2,4 GHz και 5,8 GHz, που είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες στις ασύρματες δικτυώσεις, μπορείτε να πάρετε κοιτώντας το **σχ. 1**.

Ένα περισσότερο εμπειριστατωμένο διάγραμμα προσδιορισμού της χρήσης όλων των περιοχών ISM φιλοξενείται στη δικτυακή σελίδα <http://www.ntia.doc.gov/osmhome/osmhome.html>. Όπως διαπιστώνετε με μια σύντομη ματιά, στις περιοχές αυτές επικοινωνούν πολλές υπηρεσίες χωρίς φυσικά να λείπουν και οι ραδιοερασιτέχνες που αξιοποιούν ένα σεβαστό μέρος του φά-

ματος. Σε όλες τις παραπάνω πηγές σημάτων θα πρέπει να συμπεριλάβουμε τα σήματα των ραντάρ και τα (αναπόφευκτα) παράσιτα που προκαλούν οι φούρνοι μικροκυμάτων. Τα τελευταία, όταν έχουν μεγάλη ισχύ, υποβιβάζουν κατά πολύ την αξιοπιστία των οποιωνδήποτε ψηφιακών μεταδόσεων. Όλα αυτά είναι αρκετά για να πείσουν ακόμα και το λιγότερο έμπειρο σε θέματα τηλεπικοινωνιών, πως αποτελεί πλέον επιτακτική ανάγκη να αναζητηθούν άλλες μέθοδοι εκπομπής, αν βέβαια το ζητούμενο είναι η αποδοτική αξιοποίηση των παραπάνω περιοχών.

**Πίνακας 1. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες περιοχές ISM.**

Περιοχή ISM	1	2	3	4	5 Bluetooth κ.α.	Άλλες
Περιοχή Συχνότητων	26,957 -27,283MHz	40,660 -40,700MHz	433,050 -434,790MHz	868 -870MHz	2,4 - 2,483 GHz	5,8, 24,250, 122,5GHz
Εύρος ζώνης	326 KHz	40 KHz	1,74 MHz	2 MHz	83 MHz	>150 MHz
Πλεονεκτήματα	Μικρή κατανάλωση	Έλλειψη συνεχούς θορύβου	Σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης Καλή διάδοση- Μεσαίο κόστος	Σχετικά μεγάλο εύρος ζώνης -Μικρή χρήση -Λόγος παλμού προς περίοδο < 10%	Μεγάλο εύρος ζώνης	Πολύ μεγάλο εύρος ζώνης
Μειονεκτήματα	Υψηλός θόρυβος λόγω των πομπών CB	Μικρό εύρος ζώνης -Δυσκολία κατασκευής συμπαγών κεραιών			Προβληματική διάδοση (ημιευθύγραμμη) -Παρεμβολές από φούρνους μικροκυμάτων	Μεγάλο κόστος χρήσης

### Τεχνικές ευρέως φάσματος

Η λύση για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων μας έρχεται από τα εργαστήρια των στρατιωτικών κέντρων ερευνών. Η τεχνική μετάδοσης, που έχει ήδη αποδειχθεί εξαιρετικά αξιόπιστη, ακούει στο όνομα 'Spread Spectrum' (Ευρύ φάσμα) και βασίζεται σε δύο σημεία. Το πρώτο αφορά στην αύξηση του εύρους ζώνης του σήματος πληροφορίας διαμορφώνοντας το με ένα άλλο σημαντικά μεγαλύτερου εύρους, ενώ το δεύτερο στη μείωση της ισχύος του φορέα εκπομπής. Συνδυάζοντας τις δύο αυτές προδιαγραφές εξασφαλίζεται ότι το σήμα που φθάνει στο δέκτη μπορεί να αποδιαμορφωθεί με επιτυχία ακόμα και όταν η στάθμη του είναι πολύ πιο χαμηλή από τη στάθμη του διάχυτου θορύβου. Για να σας διευκολύνουμε να σχημα-

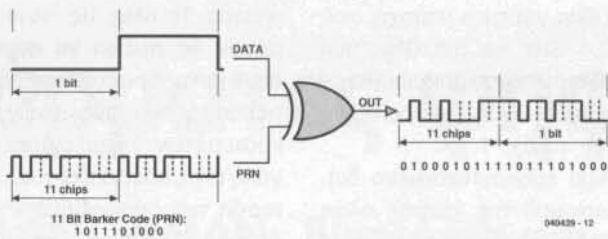
τίσετε μια σαφέστερη εικόνα των παραπάνω μεγεθών θα λέγαμε πως η αύξηση του λόγου σήματος προς θόρυβο προσδιορίζεται χονδρικά από τον λόγο του εύρους ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος ως προς αυτό του αρχικού σήματος πληροφορίας. Δεν είναι λοιπόν τυχαίο που οι στρατιωτικοί λένε τα καλύτερα λόγια γι' αυτό το είδος μετάδοσης. Και αυτό γιατί τους επιτρέπει όχι μόνο να στέλνουν τα σήματα τους χωρίς να γίνονται αντιληπτά από τον εχθρό (έχουν στάθμη χαμηλότερη από αυτή του θορύβου), αλλά τους εξασφαλίζει ταυτόχρονα και πολύ καλύτερη ποιότητα μετάδοσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα επικοινωνίας.

Για την παραγωγή σημάτων Ευρέως φάσματος χρησιμοποιούνται σήμερα δύο μέθοδοι. Και οι δύο έχουν βρει εφαρμογή στις

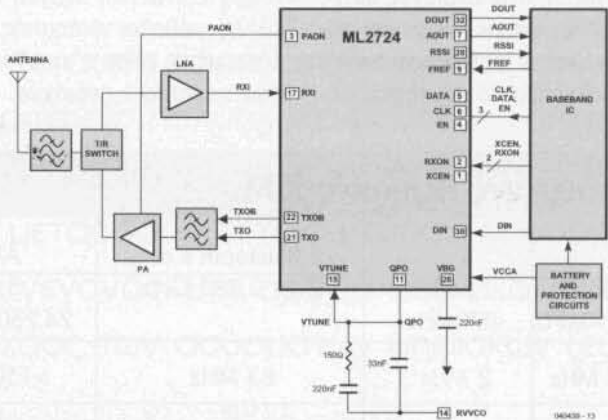
διάφορες εμπορικές συσκευές.

### Μέθοδος ευρέως φάσματος μεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)

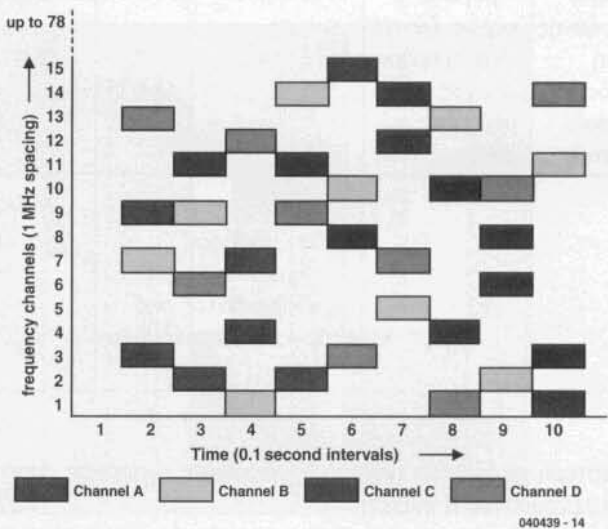
Σύμφωνα με τη μέθοδο DSSS, η αύξηση του εύρους ζώνης του σήματος πληροφορίας πραγματοποιείται με το 'πέραςμα' των ψηφιακών δεδομένων μέσα από μια πύλη Αποκλειστικού Ή δυο εισόδων. Στην δεύτερη είσοδο της πύλης εφαρμόζεται ένας συρμός ψηφίων προερχόμενων από μια γεννήτρια ψηφιακών ακολουθιών, η οποία παράγει ένα συγκεκριμένο κώδικα ψευδοθορύβου (pseudo-noise-code ή αλλιώς κώδικα PN). Το σήμα εξόδου της πύλης, αφού απομονωθεί και ενισχυθεί, οδηγείται στην



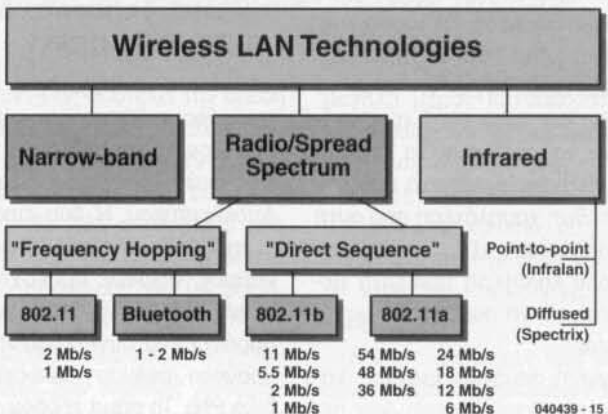
Σχ. 2. Η τεχνική DSSS καλύπτει το σήμα πληροφορίας με ένα 'μανδύα θορύβου'.



Σχ. 3. Η αρχιτεκτονική ενός τυπικού πομποδέκτη DSSS.



Σχ. 4. Η τεχνική μεταπήδησης Συχνότητας επιτρέπει τη χρήση του ίδιου διαύλου για πολλές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις.



Σχ. 5. Τεχνικές ασύρματων δικτύων (WLAN).

κεραία όπως φαίνεται στο σχ. 2. Η όλη διαδικασία προκαλεί τη μείωση της ισχύος εκπομπής κάτω από το όριο θορύβου, με αποτέλεσμα το μεταδιδόμενο σήμα να μπορεί να γίνει αντιληπτό μόνο από δέκτες που χρησιμοποιούν γεννήτριες με τον ίδιο κώδικα PN. Αν, για παράδειγμα, διαμορφώσουμε ένα σήμα βασικής ζώνης 2 Mbit/sec με ένα κώδικα PN των 11 ψηφίων, τότε το εύρος ζώνης του πομπού θα είναι ίσο με 22 MHz.

Τυπικό παράδειγμα εμπορικού ολοκληρωμένου κυκλώματος που βασίζεται στη μέθοδο DSSS είναι το ML2724 της Micro Linear (σχ. 3). Πρόκειται για ένα εξάρτημα με 32 ακίδες και τάση λειτουργίας 3,3 V, το οποίο εργάζεται στην περιοχή των 2,400 GHz έως 2,485 GHz παράγοντας σήματα διαμορφωμένα κατά FSK. Στο εσωτερικό του περιέχει το απαραίτητο VCO μαζί με ένα μίκτη Υ. Σ. όπως επίσης και όλα εκείνα τα κυκλώματα που διαχειρίζονται το ψηφιακό συρμό του σήματος βασικής ζώνης. Προσθέτοντας ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, ο σχεδιαστής μπορεί να συναρμολογήσει έναν ευέλικτο πομποδέκτη DSSS με εμβέλεια 100 μέτρων (σε ανοικτό χώρο) και ευαισθησία καλύτερη από -90 dBm. Τις περισσότερες φορές οι πομποδέκτες που βασίζονται στο ML2724 τροφοδοτούνται με τους ψηφιακούς συρμούς της βασικής ζώνης, χωρίς οι τελευταίοι να έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία με σκοπό την επαύξηση της αξιοπιστίας/ασφάλειας. Είναι λοιπόν προφανές πως η ακολουθία δεδομένων που εφαρμόζεται στην ακίδα Tx του πομπού, εμφανίζεται ίδια και απaráλλακτη στην ακίδα Rx του δέκτη. Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις, ο ρυθμός μετάδοσης αγγίζει χωρίς δυσκολία τα 1500 Kbit/sec κάνοντας ένα τέτοιο ζεύγος ολοκληρωμένων κατάλληλων για μια μεγάλη πληθώρα εφαρμογών.

Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές αφορούν στη χρήση του σε ασύρματα χειριστήρια παιχνιδιομηχανών, σε ασύρματα τηλέφωνα και σε άλλες ασύρματες τηλεφωνικές συσκευές. Υπάρχουν όμως και άλλες στις οποίες αποδεικνύεται εξ ίσου καλό.

Λόγω της φύσης του σήματος DSSS που αναδεικνύει στην κεραία του μπορεί να 'συνεργαστεί' με πολλά ίδια που εκπέμπουν ταυτόχρονα στις ίδιες συχνότητες. Με τον τρόπο αυτό 'στήνονται' ασύρματα δίκτυα πολλών χρηστών τύπου WLAN και Bluetooth που σίγουρα θα ήταν αδύνατον να γίνουν πραγματικότητα χωρίς την τεχνική DSSS.



## Πολυπλεξία με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access, CDMA)

Η τεχνική DSSS καταφέρνει να 'απλώνει' το φάσμα εκπομπής του πομπού διαμορφώνοντας το σήμα βασικής ζώνης με ένα κώδικα ψευδο-θορύβου.

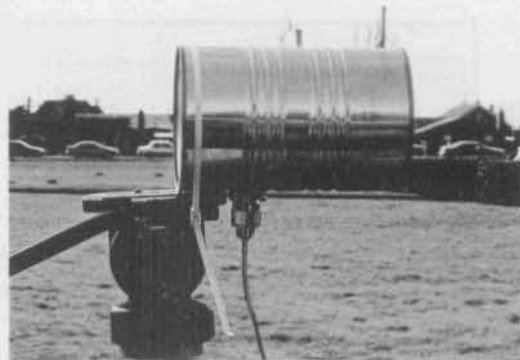
Ο τελευταίος αποκαλείται και 'κώδικας PN' μιας, που εκτός των άλλων, προσδιορίζει μοναδικά την ταυτότητα του συγκεκριμένου πομπού.

Το εκπεμπόμενο σήμα είναι δυνατόν να γίνει αντιληπτό μόνο από τους δέκτες που γνωρίζουν τον κώδικα - ταυτότητα, αφήνοντας όλους τους άλλους να το αντιλαμβάνονται σαν συνηθισμένο θόρυβο. Το παραπάνω γεγονός επιτρέπει την αξιοποίηση της ίδιας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από πολλά ζεύγη πομπών - δεκτών ταυτόχρονα, χωρίς η ύπαρξη του ενός να παρεμποδίζει τη λειτουργία του

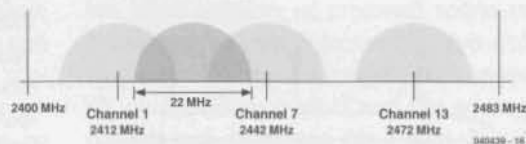
δεύτερου. Ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών που καταφέρνουν να 'ξεχωρίζουν' τα μεταδιδόμενα σήματα με τη βοήθεια συγκεκριμένων κωδικών - ταυτοτήτων χαρακτηρίζονται σαν δίκτυα με πολύπλεξη κώδικα ή, όπως είναι γνωστά στη διεθνή ορολογία, Code Division Multiple Access (CDMA).

## Μεταπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping, FH)

Η τεχνική DSSS δεν είναι η μοναδική που χρησιμοποιείται για την παραγωγή σημάτων Ευρέως φάσματος. Εξ ίσου γνωστή είναι και αυτή της Αναπήδησης Συχνότητας (FH) που χρησιμοποιείται στα δίκτυα Bluetooth. Τα τελευταία 'χωρίζουν' το τμήμα 2400 έως 2483,5 MHz της περιοχής ISM σε 79 κανάλια τα οποία απέχουν μεταξύ τους ακριβώς 1 MHz. Κάθε ένας πομπός



Σχ. 6. Η 'Canenna' είναι μια φθηνή και αποδοτική κεραία.



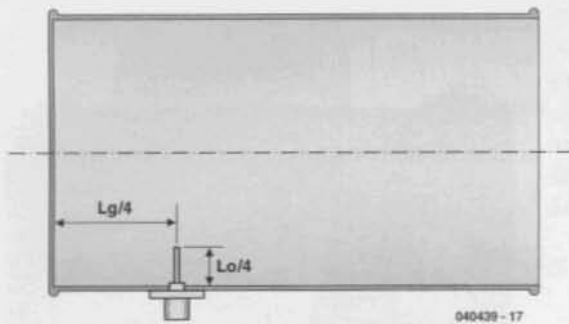
Σχ. 7. Η επικάλυψη των καναλιών σε ένα WLAN.

## Πίνακας 2. Τα τηλεπικοινωνιακά πρότυπα για ασύρματα δίκτυα WLAN WMAN\*

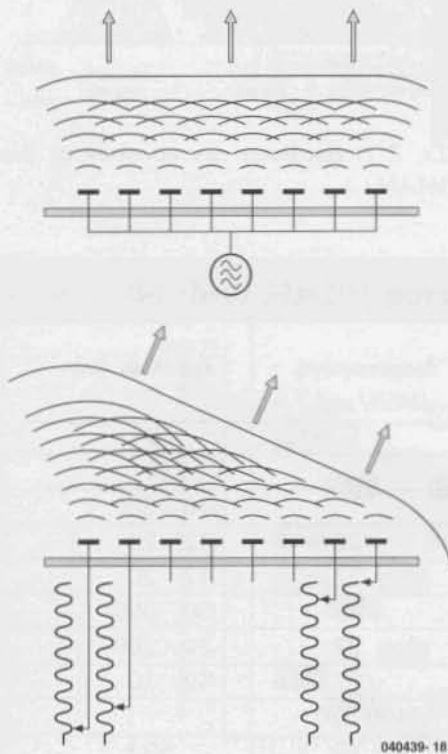
Πρότυπο	Περιοχή συχνοτήτων	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Mbit/sec)	Διαμεταγωγή (Mbit/sec)	Εμβέλεια (m)
SWAP 1.x 05/1998	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια	1	1	50
SWAP 2.x 07/2000	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια	10		50
802.11, ?? 1998	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια	2	1	30 - 300
802.11a, 09/1999	5 GHz (U-NII) χωρίς άδεια	54	22	12 - 20
802.11a, 09/1999	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια	54	22	12 - 20
802.11b, 07/1999	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια	11	6	30 - 300
802.11g 06/2003	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια	54	22	20 - 100
802.11h, 09/2003	5 GHz (U-NII) χωρίς άδεια	54	22	12 - 20
802.11n, 2005**			100-320	
802.16, 12/2001	10-66 GHz με άδεια	134	70	50 k
802.16a, 01/2003	2-11 GHz με άδεια	134	70	50 k
	2,4 GHz (ISM) χωρίς άδεια			
	5-6 GHz (U-NII/CEPT) χωρίς άδεια			
802.16e, 2004	2-6 GHz με άδεια		2	
802.20, 2004	10-66 GHz με άδεια	16	2/0,3	5 k
HiperLAN/1, 07/1998	5 GHz	23,5	20	10
HiperLan/2, 04/2000	5 GHz	54	42	50
HiperACCESS	42 GHz	25	Δεν ορίζεται	5 k
HiperMAN	2-11 GHz			

\* Τα αρχικά WMAM προκύπτουν από τις λέξεις Wireless Metropolitan Area Network (Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο) και προσδιορίζουν ένα είδος δικτύου που καλύπτει μια πόλη ή μια ευρύτερη περιφέρεια γύρω από μια πόλη. Ένα δίκτυο WMAN καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση από ένα WLAN και σαφώς μικρότερη από ένα WAN (Δίκτυο Ευρείας Περιοχής). Όπως η WiFi Alliance προσπαθεί να ενσωματώσει τα πρότυπα 802.11 στα δίκτυα WLAN, έτσι και η WiMax forum (ιδρύθηκε το 2001) επιδιώκει να κάνει το ίδιο με τα δίκτυα WMAN, υιοθετώντας τα πρότυπα 802.16. Η λειτουργία των WMAN αναμένεται να ξεκινήσει το 2006-7 αποτελώντας ένα ισχυρό ανταγωνιστή των δικτύων UMTS.

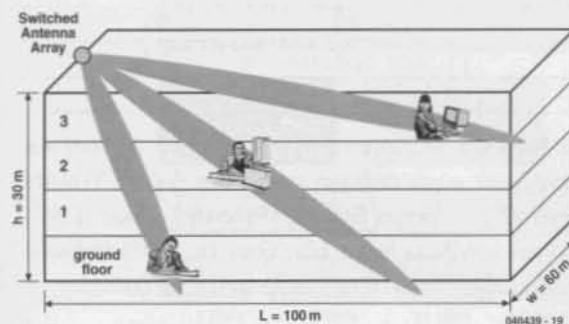
\*\* Δοκιμαστική έκδοση. Η οριστική τυποποίηση του προτύπου αναμένεται λίγο πριν το 2007.



Σχ. 8. Διάγραμμα κατασκευής μιας τυπικής 'Cantenna'.



Σχ. 9. Η οδήγηση με φασικά μετατοπισμένα σήματα επιτρέπει την αλλαγή του προσανατολισμού του λοβού εκπομπής.



Σχ. 10. Επιτυχάνοντας τη ζεύξη με διαφορετικούς υπολογιστές μέσα σε ένα κτήριο.

του δικτύου δεν εκπέμπει σε ένα μοναδικό κανάλι, αλλά μεταβάλλει συνεχώς τη συχνότητα εκπομπής του ακολουθώντας ένα κυκλικά επαναλαμβανόμενο πρότυπο. Ο ρυθμός μεταβολής της συχνότητας ή, καλύτερα, ο ρυθμός των μεταπηδήσεων, έχει οριστεί στις 1600/δευτερόλεπτο.

Αλλάζοντας συνεχώς τη συχνότητα εκπομπής, είναι βέβαιο πως ένα παρασιτικό σήμα σταθερής συχνότητας προκαλεί ελάχιστες (ή και καθόλου) ζημιές στο σήμα που φθάνει στον δέκτη. Στο σχ. 4 βλέπουμε το πως εκπέμπουν δεδομένα τέσσερις διαφορετικοί κόμβοι Bluetooth αξιοποιώντας το ίδιο φάσμα συχνοτήτων σύμφωνα με τους κανόνες της τεχνικής FH.

Κλειδί για την 'ανέμελη' συνύπαρξη τους αποτελούν οι διαφορετικές ακολουθίες μεταπηδήσεων που εγγυώνται την εκπομπή των σημάτων τους πάντοτε σε διαφορετικές συχνότητες. Οι διαφορετικές ακολουθίες παίζουν τον ίδιο ακριβώς ρόλο που παίζουν στην τεχνική DSSS οι κωδικές PN, επιτρέποντας σε κάθε ένα κόμβο να λαμβάνει μόνο εκείνα τα σήματα που αφορούν αυτόν. Η τεχνολογία FH απαιτεί τη χρήση πομπών που είναι σε θέση να παράγουν σήματα υψηλής ακρίβειας και σταθερότητας συχνότητας (σφάλμα μικρότερο των +/-75 KHz) ικανών να την αλλάζουν κάθε 625 msec, σύμφωνα με την προκαθορισμένη ακολουθία μεταπηδήσεων. Το ίδιο ευέλικτο θα πρέπει να είναι και οι δέκτες που λαμβάνουν και αποδιαμορφώνουν τα παραπάνω σήματα. Οι απαιτήσεις αυτές κάθε άλλο παρά εύκολο ήταν να υλοποιηθούν μέχρι πρότινος. Έτσι λοιπόν, δεν πρέπει να μας κάνει εντύπωση που μόνο σχετικά πρόσφατα είδαμε την τεχνολογία Bluetooth να εξελίσσεται διεκδικώντας μια σημαντική μερίδα της αγοράς επικοινωνιών. Μόνο εδώ και ένα - δύο χρόνια τα ολοκληρωμένα Bluetooth έγιναν αρκετά φθηνά ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν στις οικιακές συσκευές κάνοντας τις αναπόσπαστο μέρος του νοικοκυριού μας.

## Ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN)

Μετά από αυτή τη σύντομη περιγραφή των τεχνικών Ευρέως Φάσματος ήρθε η ώρα να μιλήσουμε και για τα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα δεδομένων.

Όπως μπορείτε να διαπιστώσετε κοιτά-

ζοντας το σχ. 5, η τεχνική FH είναι αυτή που χρησιμοποιείται από τα δίκτυα Bluetooth, ενώ είχε προταθεί και σαν πρότυπο των πρώτων ασυρμάτων δικτύων WLAN (IEEE 802.11). Αν όμως επικράτησε στις συσκευές και τα δίκτυα Bluetooth, δεν συνέβη το ίδιο και με τα δίκτυα WLAN που στις νεώτερες εκδόσεις τους (802.11a, 802.11b, 802.11g) υιοθέτησαν την τεχνική DSSS. Ο λόγος της μεταστροφής δεν είναι άλλος από την ευκολότερη υλοποίηση των κυκλωμάτων και, γενικά, την απλούστερη κατασκευή των συσκευών DSSS. Βέβαια, μέσα στις περιοχές ISM που έχουμε αναφέρει παραπάνω, 'δουλεύουν' και πομποί συμβατοί με τεχνικές μετάδοσης διαφορετικές από την DSSS και την FH. Υπάρχουν πολλοί που εκπέμπουν κατά AM ή FM και αφορούν κυρίως συστήματα τηλεχειρισμών όπως π.χ. το άνοιγμα θυρών γκαράζ ή άλλων πολυπλοκότερων συσκευών που χρησιμοποιούν διαμόρφωση FM στενής ζώνης (NBFM).

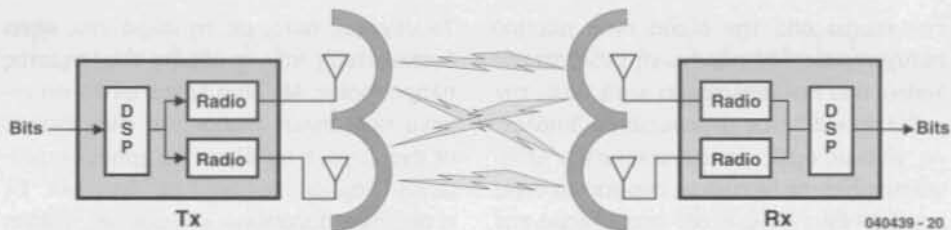
Ανεξάρτητα όμως από τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές, είναι πλέον γεγονός πως 14 χρόνια μετά από τη θεμελίωση του προτύπου 802.11, η αγορά έχει κατακλυστεί με προϊόντα υποστήριξης ασυρμάτων δικτύων. Μια ματιά στους σταθμούς του μετρώ, στις αίθουσες των αεροδρομίων ή οπουδήποτε αλλού υπάρχουν ηλεκτρονικοί πίνακες ανακοινώσεων μας φέρνει αντιμέτωπους με μικροσκοπικά 'κουτάκια' με εξίσου μικρές κεραιές που ανταλλάσσουν αδιάκοπα ψηφιακά δεδομένα με έναν κεντρικό υπολογιστή. Όλα αυτά μας πείθουν πως το πρότυπο 802.11 σε όλες τις νεώτερες παραλλαγές του, έχει καταφέρει να εισδύσει εκεί που μέχρι τώρα θεωρούνταν αδύνατο. Το γεγονός αυτό έχει χαροποιήσει τόσο τους λάτρεις της σύγχρονης τεχνολογίας όσο και τους ενθουσιώδεις αναγνώστες του Ελέκτορα που γνωρίζουν ότι μπορούν πλέον, χωρίς κόπο, να θρουν ή να κατασκευάσουν ότι χρειάζονται για να υλοποιήσουν τα δικά τους. Πως θα σας φαινόταν άραγε να κατασκευάζατε μια κατευθυντική κεραία WLAN με υλικά που κοστίζουν λιγότερο από 5 Ευρώ; Θα πρέπει απλώς να αναζητήσετε ένα (άδειο) μεταλλικό κουτί γάλακτος εβαπορέ (ή παρόμοιο), μερικές βίδες και ένα συνδετήρα Υ. Σ.! Αυτό το είδος κεραιάς είναι γνωστό με το όνομα Cantenna (σχ. 6), λέξη που προκύπτει από τις λέξεις Can (κονσερβοκούτι) και Antenna (κεραία). Αν μια τέτοια κεραία σας φαίνεται λίγη, μπορείτε το ίδιο εύκολα να κατασκευάσετε κεραιές WLAN συμβατές με το πρότυπο 802.11b και με

εμβέλεια περισσότερη από 50 Km. Θα χρειαστείτε απλώς περισσότερο εξειδικευμένα εξαρτήματα!

Αυτή τη στιγμή το περισσότερο διαδεδομένο πρότυπο ασύρματων δικτύων είναι το 802.11b, το οποίο βασίζεται στη τεχνική DSSS. Οι πομποδέκτες του εργάζονται στην περιοχή των 2,4000 έως 2,4835 GHz χωρίς ειδική άδεια. Η ισχύς των 100 mW επιτρέπει κάλυψη αποστάσεων της τάξης των 30 - 100 μέτρων με μέγιστο ρυθμό 11 Mbit/sec. Αν και ο ρυθμός αυτός φαίνεται κατ' αρχήν επαρκής, στην πράξη υποβιβάζεται κατά πολύ φθάνοντας τα 4 - 6 Mbit/sec. Ένα ακόμα μειονέκτημα του προτύπου σχετίζεται με τη φύση των WLAN, τα οποία πρέπει να εξυπηρετούν τις ανάγκες μεγάλου αριθμού υπολογιστών - πελατών ταυτόχρονα. Καθώς το πλήθος των πελατών αυξάνεται, η διαθέσιμη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος γεμίζει όλο και πιο πολύ με αποτέλεσμα η επικοινωνία να γίνεται αδύνατη. Το πρότυπο 802.11b προβλέπει την ύπαρξη 14 καναλιών εύρους 22 MHz το καθένα, τα οποία απέχουν μεταξύ τους 5 MHz. Το κανάλι 1 βρίσκεται στους 2,412 GHz, το κανάλι 3 στους 2,417 GHz κ.ο.κ. Η μερική επικάλυψη των καναλιών απαγορεύει την ταυτόχρονη χρήση στο σύνολό τους από το ίδιο δίκτυο (σχ. 7). Έτσι, αν π.χ. ένα δίκτυο έχει πολλά σημεία πρόσβασης, τα κανάλια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίησή του είναι τα 1, 7 και 14.

## Μεγαλύτερο εύρος ζώνης

Δεν πέρασε πολύς καιρός και οι αδυναμίες του παραπάνω προτύπου άρχισαν να γίνονται ορατές. Ήταν προφανές πως χρειαζόταν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και περισσότερα κανάλια. Η Επιτροπή Προτύπων ανταποκρινόμενη σε αυτήν την ανάγκη θεσμοθέτησε το 1999 μια καινούργια παραλλαγή του ήδη καταξιωμένου προτύπου, που την ονόμασε 802.11a. Αφορούσε την περιοχή ISM των 5,8 GHz και βασιζόταν σε μια καινούργια διαμόρφωση που ονομάζεται Ορθογωνική. Έτσι, λοιπόν η πολύπληξη CDMA παρέδωσε τα σκήπτρα στην OFDM (Orthogonal Division Multiplexing, Ορθογωνική Πολύπληξη Συχνότητας). Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της, η OFDM επιτρέπει τη ροή δεδομένων με ρυθμό 54 Mbit/sec, περιορίζοντας όμως την εμβέλεια των πομποδεκτών στο μισό εκείνων που υποστηρίζει το προηγούμενο πρότυπο. Από όλη την περιοχή ISM, το τμήμα που είναι διαθέσιμο για χρήση από πομποδέκτη αυ-



Σχ. 11. Οι πολλαπλές κεραίες σε συνδυασμό με το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών επιαυξάνουν κατά πολύ το ρυθμό μετάδοσης.

τού του τύπου εκτείνεται από τους 5,150 GHz έως τους 5,725 GHz. Το συνολικό εύρος των 455 MHz χωρίζεται σε 19 κανάλια εξασφαλίζοντας την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ισάριθμων κόμβων χωρίς καμία παρενόχληση ή περιορισμό. Πριν από δύο χρόνια, το 2003, το ίδιο πρότυπο τροποποιήθηκε για άλλη μια φορά ώστε να γίνει συμβατό με το σαφώς μικρότερο χώρο της περιοχής ISM των 2,4 GHz. Το αποτέλεσμα ήταν το πρότυπο 802.11g, που έκανε δυνατή τη χρήση της ορθογωνικής διαμόρφωσης σε ακόμα χαμηλότερες περιοχές συχνοτήτων. Έχουμε λοιπόν, μέχρι στιγμής, τρία διαθέσιμα πρότυπα ασύρματων μεταδόσεων, τα: 802.11a, 802.11b και 802.11g, που όλα τους, όμως, αναμένεται να αντικατασταθούν από ένα 'δυνατότερο' που ακούει στο όνομα 802.11n. Το τελευταίο έχει σαν στόχο την διεκπεραίωση μεταδόσεων με ρυθμό 300 Mbit/sec, κάτι που αναμένεται να πετύχει κάνοντας χρήση ειδικών πρωτοκόλλων εκπομπής, μεθόδων συμπύεσης και δεκτών με βελτιωμένα δυναμικά χαρακτηριστικά. (Πίνακας 2).

## Έξυπνες κεραίες

Η συναρμολόγηση μιας Cantenna αρκεί για να πείσει και τον πιο δύσπιστο χρήστη υπολογιστών πως οι κεραίες για τις ασύρματες δικτυώσεις είναι πολύ απλές στην κατασκευή τους. Παρ' όλα αυτά, οι περισσότεροι εξακολουθούν να χρησιμοποιηθούν τις τυπικές ραβδόμορφες κεραίες μη κατευθυντικής εκπομπής που, εκ των πραγμάτων, είναι λιγότερο αποδοτικές. Είναι βέβαια ιδανικές για χρήση από κινητούς σταθμούς (π.χ. αυτοκίνητα) αλλά υστερούν σημαντικά όταν το ζητούμενο είναι η ζεύξη ακίνητων σταθμών βάσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται κατευθυντικές κεραίες οι οποίες στέλνουν όλη την ακτινοβολία τους προς ένα μόνο σημείο, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη εμβέλεια. Τυπικές κατευθυντικές κεραίες είναι οι Yagi και οι συστοιχίες διπόλων. Είναι εξ ίσου εύκολο όμως, να συναρμολογηθεί μια κατευθυντική κεραία με τη

βοήθεια ενός κυματοδηγού κατάλληλου για τη συχνότητα λειτουργίας της. Το μόνο που πρέπει να κάνει ο κατασκευαστής της είναι να κλείσει το ένα άκρο του κυματοδηγού και, αφού ρυθμίσει με μηχανικό τρόπο τις διαστάσεις του, να δημιουργήσει ένα στάσιμο κύμα. Στο σχ. 8 αναπαρίσταται γραφικά μια κεραία φτιαγμένη από ένα κομμάτι αλουμινίου από κασσίτερο (tin - can). Το μήκος του κουτιού είναι ίσο με το στάσιμο κύμα  $L_g$ , το οποίο εμφανίζει μέγιστο στο σημείο  $L_g/4$ . Με  $L_0$  συμβολίζεται το μήκος κύματος του φορέα μετάδοσης των δεδομένων στον αέρα. Το μήκος του κουτιού σε συνδυασμό με το μήκος κύματος του φορέα είναι εκείνα που καθορίζουν το μήκος του στάσιμου κύματος. Αναλυτικές οδηγίες για την κατασκευή μιας τέτοιας κεραίας τύπου 'Cantenna' θα βρείτε σε πολλούς δικτυακούς τόπους όπως π.χ. στον <http://www.turnpoint.net/wireless/cantennahowto.htm> ή στον <http://www.saunalahti.fi/elepal/antenna2.html>.

Ακολουθώντας πιστά τις οδηγίες είναι βέβαιο πως θα καταφέρεται να κατασκευάσετε μια τέτοια κεραία, που σίγουρα θα αυξήσει την εμβέλεια του πομπού σας κατά δύο φορές τουλάχιστον.

## MIMO

Η αύξηση της απολαβής με χρήση καταλλήλων κεραίων είναι ένα μόνο από τα πολλά καλά που μας εξασφαλίζει το μαγικό κουτί των Ψηφίων Συχνότητας. Η τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output, Πολλαπλές Είσοδοι, Πολλαπλές Εξοδοί) έρχεται και αυτή να συμβάλει στην αύξηση της εμβέλειας, διατηρώντας την ισχύ του πομπού μέσα στα προκαθορισμένα όρια. Το μυστικό της παραπάνω τεχνολογίας μας έρχεται από τα ραντάρ και εντοπίζεται στη χρήση μιας συστοιχίας φασικά ελεγχόμενων κεραίων (Phased array). Μια τέτοια συστοιχία αποτελείται από ένα σύνολο διπόλων διατεταγμένων με ένα συγκεκριμένο τρόπο πάνω σε μια επιφάνεια προκαθορισμένων διαστάσεων. Οδηγώντας αυτήν



την κεραία από την έξοδο ενός πομπού πετυχαίνουμε την παραγωγή ενός στενού λοβού, που πολλαπλασιάζει κατά πολύ την εμβέλεια καθ' ενός μεμονωμένου διπόλου. Ας γίνουμε όμως πιο συγκεκριμένοι. Οδηγώντας όλα τα δίπολα με συμφασικό σήμα (το ίδιο σήμα) έχουμε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός επίπεδου κύματος κάθετου στην επιφάνεια της κεραίας. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή εμβέλεια, ενώ ελαχιστοποιείται η περίπτωση να φθάσει στην είσοδο του δέκτη το ίδιο σήμα έχοντας ακολουθήσει διαφορετικές διαδρομές. Αν, όμως, τα δίπολα οδηγηθούν με σήματα τα οποία διαφέρουν φασικά μεταξύ τους κατά μια συγκεκριμένη γωνία (σχ. 9), τότε ο παραγόμενος λοβός παύει να είναι κάθετος στην επιφάνεια των διπόλων αποκτώντας οποιαδήποτε γωνία επιθυμούμε. Τονίζουμε πως αυτό πραγματοποιείται μόνο με την αλλαγή των φάσεων του σήματος εξόδου του πομπού και όχι με κάποιο μηχανικό τρόπο. Στο σχ. 10 βλέπουμε το πως μπορεί να μεταβάλλεται ο προσανατολισμός του λοβού μιας τέτοιας κεραίας τοποθετημένης στο υψηλότερο μέρος ενός (μεγάλου) δωματίου.

Αν και με αυτήν την τεχνική δεν αυξάνεται η ενέργεια Υ. Σ. που εκπέμπεται από την κεραία (κάτι που σημαίνει πως εξακολουθούμε να πληρούμε τις προδιαγραφές των περιοχών ISM) αυξάνεται σημαντικά η ένταση του πεδίου στην κεραία του δέκτη κάνοντας την αποδιαμόρφωση των σημάτων ευκολότερη.

## Ομάδες κεραίων και συνδυασμός δεκτών

Μέχρι τώρα στην προσπάθειά μας να αυξήσουμε την αξιοπιστία των ασυρμάτων δικτύων, ασχοληθήκαμε με τη βελτιστοποίηση των επιμέρους μονάδων του πομπού. Η τεχνολογία MIMO συμβάλει κατά πολύ σε αυτό, διευκολύνοντας ταυτόχρονα και τον ίδιο το δέκτη ο οποίος τώρα 'υποφέρει' λιγότερο από το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών. Τι είναι όμως αυτό το φαινόμενο; Σε ένα κλειστό χώρο το σήμα ενός πομπού υφίσταται πολλές ανακλάσεις με αποτέλεσμα να φθάνει στο δέκτη έχοντας ακολουθήσει πολλές διαφορετικές διαδρομές. Στην πραγματικότητα ο δέκτης δεν λαμβάνει μόνο ένα σήμα, αλλά πολλά. Η συμβολή όλων αυτών των σημάτων, που έχουν όλα την ίδια συχνότητα, αλλά ελαφρά διαφοροποιημένη φάση, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της στάθμης του σήματος που 'βλέπει' ο δέκτης στην είσοδο του.

Το γεγονός αυτό, με τη σειρά του, κάνει δυσκολότερη την ανάδειξη του σήματος πληροφορίας. Με λίγα λόγια, αν το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών είναι έντονο σε ένα χώρο, η εμβέλεια του χρησιμοποιούμενου πομπού περιορίζεται δραστικά. Εξ αιτίας του παραπάνω φαινομένου η θέση της κεραίας του πομπού, σε σχέση με εκείνες των κεραίων των δεκτών, αποτελεί παράγοντα καθοριστικής σημασίας. Δεν είναι λίγες οι φορές που μετακινώντας την μερικά μόνο εκατοστά, διαπιστώνουμε πως το ασύρματο δίκτυο που προηγουμένως 'σερνόταν', 'τρέχει' με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητά του. Ένας άλλος τρόπος για να απαλλαχθούμε από τις συνέπειες του φαινομένου των πολλαπλών διαδρομών βασίζεται στη χρήση μιας ομάδας δεκτών. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο, κάθε σημείο λήψης έχει κάτω από τον έλεγχο του δύο διαφορετικούς δέκτες που ο καθένας τους έχει τη δική του κεραία. Οι τελευταίες είναι τοποθετημένες σε διαφορετικά σημεία του χώρου έτσι ώστε να λαμβάνουν το σήμα του πομπού από διαφορετικές διαδρομές. Κάθε φορά που ο πομπός ενεργοποιεί το φορέα του, γίνεται αντιληπτός και από τους δύο δέκτες, οι οποίοι επιχειρούν να αναδείξουν το σήμα πληροφορίας. Αυτός που θα το καταφέρει με τα λιγότερα σφάλματα είναι εκείνος που θα το στείλει στον υπολογιστή του κόμβου. Η τεχνική αυτή ονομάζεται 'Λήψη μέσω ομάδας κεραίων' (Antenna Diversity).

## Πολύπλεξη χώρου

Η 'Ομάδα κεραίων' χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για τη βελτιστοποίηση της στάθμης του σήματος στην είσοδο του δέκτη, όταν ο πομπός εκπέμπει από μια μοναδική κεραία. Τι γίνεται όμως στην περίπτωση που ο πομπός διαθέτει πολλές κεραίες; Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο, ενδέκνεται να χρησιμοποιηθούν κάποιες άλλες τεχνικές, με σκοπό την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Όπως είπαμε προηγουμένως το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών προκαλεί προβλήματα στο δέκτη. Μήπως, όμως, με κάποιο τρόπο μπορούμε από μειονέκτημα να το μετατρέψουμε σε πλεονέκτημα; Η απάντηση, όσο και αν φαίνεται απίθανο, είναι καταφατική. Το πρώτο που έχουμε να κάνουμε είναι να εξοπλίσουμε τόσο τον πομπό όσο και το δέκτη με δύο κεραίες τον καθένα. Αμέσως μετά θα πρέπει να τις τοποθετήσουμε σε τέτοια σημεία, ώστε η πρώτη από τις δύο κεραίες του δέκτη να λαμβάνει σήμα μόνο από την

πρώτη κεραία του πομπού. Στη συνέχεια κάνουμε το ίδιο και με το δεύτερο ζεύγος κεραίων. Από τη στιγμή που τα καταφέρουμε, είμαστε πλέον σε θέση να στείλουμε διαφορετικά σήματα Υ. Σ. από την κεραία του καθενός πομπού, διαμορφωμένα με διαφορετικά σήματα πληροφορίας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι και οι δύο πομποί χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες εκπομπής, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων έχει πρακτικά διπλασιαστεί χωρίς να δεσμεύσουμε μεγαλύτερο εύρος ζώνης εκπομπής (σχ. 11). Στην πράξη, βέβαια, είναι πολύ δύσκολο να εξασφαλίσουμε την τέλεια απομόνωση των δύο διαδρομών, άρα και τον απόλυτο διπλασιασμό του ρυθμού μετάδοσης. Μπορούμε όμως σίγουρα να τον επαυξήσουμε, πετυχαίνοντας αξιοσημείωτες ταχύτητες μετάδοσης. Η τεχνική που βασίζεται στην εκμετάλλευση των διαφορετικών διαδρομών των σημάτων Υ. Σ. στο χώρο ονομάζεται 'Πολύπλεξη Χώρου' (Spatial Multiplexing).

## Συνδυασμένη ζεύξη

Το γεγονός πως η τεχνική MIMO προβλέπεται να ενσωματωθεί στο καινούργιο πρότυπο 802.11 αφήνει αναμφισβήτητα πολλά περιθώρια για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των περιοχών ISM. Αυτό το αντιλήφθηκαν εγκαίρως οι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, οι οποίοι έσπευσαν να διαθέσουν στην αγορά ολοκληρωμένα κυκλώματα συμβατά με αυτήν.

Η εταιρία Atheros, μια από τις πολλές που ασχολούνται με αυτό το αντικείμενο, παράγει το ταίπισετ ολοκληρωμένων - πομποδεκτών AR5005VA με δυνατότητες σύμφωνες με αυτές του μελλοντικού 802.11n. Η ενεργοποίηση των δυνατοτήτων θα γίνει με την αναβάθμιση του ταίπισετ μέσω καταλλήλων προγραμμάτων - οδηγών που θα διαθέσει η εταιρία μόλις ανακοινωθεί επισήμως το πρότυπο. Τα ολοκληρωμένα του ταίπισετ διαθέτουν δύο εισόδους/εξόδους Υ. Σ. υποστηρίζοντας δύο ανεξάρτητα κανάλια εκπομπής/λήψης. Ακόμα και τώρα που οι δυνατότητες αυτές μένουν 'κρυφές', το ταίπισετ της Atheros καταφέρνει να μεταδίδει δεδομένα με ρυθμό μεγαλύτερο των 100 Mbit/sec, που με απλά λόγια σημαίνει πως μπορεί να μεταδίδει χωρίς καμία μείωση της ποιότητας τηλεοπτικά σήματα HDTV μέσω ασυρμάτων δικτύων. Αν αυτό σας φαίνεται λίγο, περιμένετε μέχρι το 2007 που θα ανακοινωθεί το 802.11n, για να έχετε ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες. (040439-1)