



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **«ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ»**



**Των φοιτητριών**  
**Ζδουκοπούλου Κωνσταντίνα (Α.Μ. 02/2000)**  
**Κυριακίδου Κυριακή (Α.Μ. 02/2045)**

**Επιβλέπων καθηγητής**  
**Βίτσας Βασίλειος**

**Θεσσαλονίκη 2010**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει θέμα τα «Πρωτόκολλα Ασύρματων Τοπικών Δικτύων».

Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε τον κ .Βίτσα Βασίλειο Ph.D, M.Sc Καθηγητή Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, ο οποίος μας εμπιστεύθηκε την εκπόνηση της, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά του, την καθοδήγηση και τις χρήσιμες υποδείξεις του σε όλα τα στάδια της παρούσας πτυχιακής.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για τη συνεχή συμπαράστασή τους κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι η μελέτη της ανάπτυξης και χρησιμότητας των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLANs), που ακολουθούν το πρότυπο 802.11, εστιάζοντας περισσότερο στη σύγκριση των διαφόρων τεχνολογιών. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην περιγραφή των προτύπων ασύρματων δικτύων καθώς και στη νέα τεχνολογία 802.16/WIMAX. Η εργασία χωρίζεται σε 6 κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζονται η εξέλιξη και τα βασικά χαρακτηριστικά των ασυρμάτων τοπικών δικτύων. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται η περιγραφή των βασικών στοιχείων του προτύπου 802.11. Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζονται τα ασύρματα δίκτυα προσωπικής χρήσης (WPANs), ενώ στο Κεφάλαιο 4 εξετάζεται το φυσικό επίπεδο του προτύπου 802.11. Στο Κεφάλαιο 5 εξετάζεται το υπόστρωμα MAC του προτύπου 802.11 ενώ στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η νέα τεχνολογία WIMAX.

## **ABSTRACT**

The objective of our diploma thesis is the presentation of wireless local area networks' development and utility, which are based on 802.11 model, while the whole presentation is focused on the comparison of those different technologies. Also, the wireless networks' models and the new 802.16/WIMAX technology are specially described in this diploma thesis, which is separated into 6 chapters:

The evolution and the main characteristics of wireless local area networks (WLANS) are presented at the first chapter. The second one describes the basic elements of 802.11 model. At the third chapter, the wireless personal area networks (WPANS) are examined, while the 802.11 model's physical level is described at the fourth chapter. Finally, the fifth chapter presents the MAC technology of 802.11 model and the sixth one describes the new WIMAX technology.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>12</b>
<b>1. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ</b>	<b>12</b>
1.1 Εισαγωγή	12
1.2 Ιστορική αναδρομή ασύρματων τοπικών δικτύων	12
1.3 Τεχνολογία ενσύρματης δικτυωσης	14
1.4 Μετάβαση στα ασύρματα τοπικά δίκτυα και η εξάπλωση τους	15
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ασύρματων τοπικών δικτύων	16
1.5.1 Πλεονεκτήματα WLAN	16
1.5.2 Μειονεκτήματα WLAN	17
1.6 Τμήματα των ασύρματων τοπικών δικτύων	18
1.7 Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων	22
1.7.1 IBSS (Independent Basic Service Set)	22
1.7.2 Basic Service Set (BSS) δίκτυα	23
1.7.3 Extended Service Set (ESS) δίκτυα	24
1.8 Υπηρεσίες του 802.11	25
1.9 Hot Spots	28
1.10 Το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (Medium Access Control, MAC) στα ασύρματα δίκτυα	28
1.10.1 Το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου (Hidden Terminal Problem)	29
1.10.2 Το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου (Exposed Terminal Problem)	30
1.11 Απαιτήσεις ασύρματων τοπικών δικτύων	31
1.12 Εφαρμογές ασύρματων τοπικών δικτύων	33
1.12.1 Επέκταση τοπικού δικτύου	33
1.12.2 Δια-κτιριακή διασύνδεση τοπικών δικτύων	34
1.12.3 Νομαδική πρόσβαση	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>35</b>
<b>2.ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ</b>	<b>35</b>
2.1 Εισαγωγή	35
2.2 Πρότυπα της οικογένειας του IEEE 802.11	35

2.2.1	IEEE 802.11	35
2.2.2	IEEE 802.11b	35
2.2.3	IEEE 802.11a	36
2.2.4	IEEE 802.11g	36
2.2.5	IEEE 802.11c	37
2.2.6	IEEE 802.11d	37
2.2.7	IEEE 802.11e	37
2.2.8	IEEE 802.11f	37
2.2.9	IEEE 802.11h	38
2.2.10	IEEE 802.11i	38
2.2.11	IEEE 802.11j	38
2.2.12	IEEE 802.11k	38
2.2.13	IEEE 802.11m	38
2.2.14	IEEE 802.11n	39
2.3	Ακτίνα κάλυψης και επιδόσεις ασύρματων τοπικών δικτύων	40
2.4	Χαρακτηριστικά του IEEE 802.11	41
2.4.1	Παρεμβολές ραδιοσημάτων	41
2.4.2	Εμβέλεια	42
2.4.3	Ρυθμός μετάδοσης	42
2.4.4	Ποιότητα επικοινωνίας	42
2.4.5	Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο	42
2.5	Το IEEE 802.11 ή Wi-Fi	43
2.5.1	Ελεύθερο Wi-Fi	43
2.5.2	Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Wi-Fi	44
2.6	Ασφάλεια	45
2.7	Πρότυπο HIPERLAN	46
2.7.1	Το υποεπιπεδο MAC του HIPERLAN 1	47
2.7.1.1	Μηχανισμός προτεραιοτήτων και υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών (QoS)	48
2.7.1.2	Το πρωτόκολλο MAC του HIPERLAN 1	48
2.7.1.3	Υποστηριζόμενες τεχνολογίες και δρομολόγηση πολλαπλών Διαδρομών	49
2.7.1.4	Εξοικονόμηση ενέργειας	50
2.7.1.5	Ασφάλεια	50

2.8	HIPERLAN 2	51
2.8.1	Αρχιτεκτονική δικτύου	52
2.8.2	Η στοίβα πρωτοκόλλων του HIPERLAN 2	53
2.8.2.1	Το φυσικό επίπεδο του HIPERLAN 2	54
2.8.2.2	Το επίπεδο DLL του HIPERLAN 2	55
2.8.2.3	Πρωτόκολλο MAC και τύποι καναλιών	55
2.8.2.4	Πρωτόκολλο Ελέγχου Σφαλμάτων	57
2.8.2.5	Πρωτόκολλο Ελέγχου Ραδιοσύνδεσης	58
2.8.3	Το επίπεδο σύγκλισης του HIPERLAN 2	58
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>		<b>60</b>
<b>3. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ WPAN</b>		<b>60</b>
3.1	Εισαγωγή	60
3.2	Bluetooth	60
3.2.1	Η ιστορία του Bluetooth	60
3.2.2	Εμβέλεια	61
3.3	Συσκευές Bluetooth	62
3.4	Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Bluetooth	63
3.4.1	Πλεονεκτήματα	63
3.4.2	Μειονεκτήματα	64
3.5	Αρχιτεκτονική Bluetooth	64
3.5.1	Οι προδιαγραφές του προτύπου Bluetooth	64
3.6	Τα προφίλ του προτύπου Bluetooth	66
3.7	Μικροδίκτυα (Piconets) και δίκτυα διασποράς (Scatternets)	69
3.8	Ασφάλεια	70
3.9	HomeRF	70
3.9.1	Η ιστορία του HomeRF	70
3.9.2	Η στοίβα πρωτοκόλλων του HomeRF	71
3.9.3	Κατηγορίες συσκευών HomeRF	72
3.9.4	Το φυσικό επίπεδο του προτύπου HomeRF	73
3.9.5	Το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο του προτύπου HomeRF	73
3.9.6	Ασφάλεια HomeRF	74
3.9.7	Σύγκριση των χαρακτηριστικών των δικτύων Bluetooth και HomeRF	75

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>76</b>
<b>4. ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11</b>	<b>76</b>
4.1 Εισαγωγή	76
4.2 Αρχιτεκτονική του 802.11	78
4.3 Τρόποι λειτουργίας του 802.11	79
4.4 Το πρωτόκολλο 802.11	80
4.4.1 Φυσικό Επίπεδο του 802.11	81
4.4.1.1 Υπέρυθρες	83
4.4.1.2. Διασπορά Φάσματος Αναπήδησης Συχνότητας	83
4.4.1.2.1. FHSS με χρήση MFSK	87
4.4.1.2.2. Εκτίμηση απόδοσης της FHSS	90
4.4.1.2.3. Διασπορά Φάσματος Αναπήδησης Συχνότητας 802.11	91
4.4.1.3. Διασπορά Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας	93
4.4.1.3.1. DSSS με χρήση BPSK	94
4.4.1.3.2. Εκτίμηση απόδοσης της DSSS	97
4.4.1.3.3. Διασπορά Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας στο 802.11	100
4.4.1.4. Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας	102
4.5 Απαιτήσεις Ασφάλειας	104
4.5.1. Αλγόριθμος WEP	104
4.5.2. Πιστοποίηση	105
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>107</b>
<b>5.ΤΟ ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΣΟΥ ΤΟΥ 802.11</b>	<b>107</b>
5.1 Εισαγωγή	107
5.2 Πρωτόκολλα ασύρματων LAN : MACA και MACAW	107
5.3 Έλεγχος Πρόσβασης Μέσου του 802.11	109
5.3.1 Αξιόπιστη παράδοση δεδομένων	110
5.4 Έλεγχος πρόσβασης	111
5.4.1 Πρόβλημα κρυφού και εκτεθειμένου σταθμού	111
5.4.2 Χρονικά διαστήματα αναμονής μεταξύ διαδοχικών πλαισίων	112
5.4.3 Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού	113
5.4.3.1 Πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων ( CSMA/CA)	113



5.4.3.2 Διαδικασία πρόσβασης	115
5.4.3.3 Διαδικασία προσωρινής αναβολής προσπάθειας για αποστολή πλαισίου (backoff procedure)	116
5.4.3.4 Επιβεβαίωση σωστής λήψης	117
5.4.3.5 Εικονική ανίχνευση φέροντος	118
5.5 Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού	120
5.5.1 Σημασία	120
5.5.2 Μηχανισμός	121
5.5.3 Ασφάλεια	123
5.6 Έλεγχος και επιβεβαίωση ταυτότητας τερματικού	124
5.6.1 Κωδικοποίηση	124
5.7 Δομή πλαισίων MAC του 802.11	125
5.7.1 Πλαίσια Ελέγχου	126
5.7.2 Πλαίσια Δεδομένων	126
5.7.3 Πλαίσια Διαχείρισης	127
5.8 Τεμαχισμός πλαισίων	128
5.9 Συσχέτιση τερματικού με σημείο πρόσβασης	130
5.10 Συγχρονισμός και διαχείριση των αποθεμάτων ενέργειας	131
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>133</b>
<b>6. ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΙΕΕΕ 802.16</b>	<b>133</b>
6.1 Εισαγωγή	133
6.2 Ασύρματα συστήματα τοπικού βρόχου στενής ζώνης	134
6.3 Ευρυζωνικά συστήματα 1 <sup>ης</sup> γενιάς	134
6.4 Ευρυζωνικά συστήματα 2 <sup>ης</sup> γενιάς	135
6.5 Γέννηση του 802.16	135
6.5.1 WiMAX προφίλ	137
6.5.2 Τα κύρια χαρακτηριστικά του WiMAX	138
6.6 Φυσικό Επίπεδο	140
6.6.1 WirelessMAN SC	142
6.6.2 WirelessMAN SCa	146
6.6.3 WirelessMAN OFDM	146
6.6.4 WirelessMAN OFDMA	148

6.6.5 Λειτουργικά επίπεδα PHY επιπέδου	149
6.6.5.1 Κωδικοποίηση Καναλιού	150
6.7 Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας	151
6.7.1 Η Σημασία του OFDM στο WiMAX	151
6.7.1.1 QoS: Διόρθωση Σφαλμάτων και Διεμπλοκή	152
6.8 TDD και FDD	153
6.9 Τεχνολογία Έξυπνων Κεραιών	154
6.9.1 Multiple Input and Multiple Output system (MIMO)	154
6.9.2 Σύστημα προσαρμοζόμενων κεραιών	155
6.10 MAC Επίπεδο	156
6.10.1 Η σχέση του MAC με το Φυσικό Στρώμα (PHY)	156
6.10.2 Το MAC και η αρχιτεκτονική του WiMAX	157
6.10.2.1 Τάξεις υπηρεσιών και QoS	159
6.11 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών	161
6.11.1 Common Part Sub layer	162
6.11.2 Μορφές MAC PDU	162
6.11.2.1 Μετάδοση των MAC PDU και SDU	163
6.12 Πακετοποίηση και Κατάτμηση	164
6.13 Δημιουργία PDU και ARQ	165
6.14 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής	166
6.15 Εφαρμογές του WiMAX	167
6.16 Σύγκριση WiFi – WiMAX	169

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Βασικά χαρακτηριστικά βασικών προτύπων	39
Πίνακας 2: Τα IEEE πρότυπα	40
Πίνακας 3: Η οικογένεια προτύπων ETSI HIPERLAN	47
Πίνακας 4: Σύγκριση χαρακτηριστικών δικτύων Bluetooth και HomeRF	75
Πίνακας 5: Οικογένεια 802.11	77
Πίνακας 6: Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας	82
Πίνακας 7: Διασπορά φάσματος αναπήδησης συχνότητας	82
Πίνακας 8: Υπέρυθρες	82
Πίνακας 9: Ορθογώνιο FDM	83
Πίνακας 10: Σύγκριση WIFI / WIMAX	170
Πίνακας 11: Διαφορές WiFi / WiMAX	172
Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά WiFi / WiMAX	173
Πίνακας 13: Αντιστοιχία των bit ανα Hz φάσματος	173

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

### 1.1 Εισαγωγή

Ένα ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίξει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου[1]. Η ανάπτυξη και η χρήση των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων (Wireless Local Area Networks, WLANs) αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς τομείς της σύγχρονης τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης σε μια περιορισμένη σχετικά περιοχή όπως μια αίθουσα, ένα κτίριο ή την περιοχή ενός συγκροτήματος.

Τα WLAN παρέχουν όλα τα προνόμια των ενσύρματων τοπικών δικτύων, είναι όμως πιο ευέλικτα. Τα ενσύρματα δίκτυα καλύπτουν τις ανάγκες ενός ή περισσότερων γραφείων, ακόμη και ενός οργανισμού του οποίου τα κτίρια εκτείνονται σε μια μικρή περιοχή. Στην ενσύρματη δικτυωση ανάλογα με την ταχύτητα μετάδοσης τα τοπικά δίκτυα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες:

- Στα δίκτυα Ethernet, με ταχύτητα 10 Mbps
- Fast Ethernet , με ταχύτητα μετάδοσης 100Mbps
- Gigabit Ethernet με ταχύτητα μετάδοσης 1 Gbps

### 1.2 Ιστορική αναδρομή ασύρματων δικτύων

Το 1970 στο πανεπιστήμιο της Χαβαης υπό την ηγεσία του Norman Abramson, αναπτύχθηκε το πρώτο δίκτυο επικοινωνιών στον κόσμο, με τη χρήση υπολογιστή χαμηλού κόστους, το οποίο ονομάστηκε ALOHAnet. Το σύστημα χρησιμοποιούσε αμφίδρομη τοπολογία αστέρα και περιλάμβανε 7 υπολογιστές διασκορπισμένους σε 4 νησιά για να επικοινωνούν με τον κεντρικό υπολογιστή στο νησί Oahu με τη βοήθεια ραδιοκυμάτων.

Το 1979, ο F.R. Gfeller και ο U.Barst δημοσίευσαν ένα έγγραφο στην IEEE στο οποίο παρουσίαζαν ένα πειραματικό ασύρματο δίκτυο με διασκορπισμένη

υπέρυθρη ακτινοβολία. Λίγο αργότερα, το 1980, ο P.Ferrert αναφέρθηκε σε μια πειραματική εφαρμογή απλού κώδικα spread spectrum για ασύρματες επικοινωνίες στην εθνική διάσκεψη για τις τηλεπικοινωνίες της IEEE. Η ανάπτυξη των ασύρματων τοπικών δικτύων άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και πυροδοτήθηκε από την απόφαση της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (Federal Communications Committee, FCC) των ΗΠΑ να εγκρίνει τη δημόσια χρήση των αποκαλούμενων βιομηχανικών, επιστημονικών και ιατρικών ζωνών συχνοτήτων ( Industrial, Scientific and Medical [ISM] bands). Μετά από αυτή την απόφαση, οι επιχειρήσεις και οι τελικοί χρήστες δεν χρειαζόταν να λαμβάνουν πλέον άδεια από την FCC για να ενεργοποιούν τα ασύρματα προϊόντα τους. Αργότερα ο M. Kavehrad πρότεινε ένα πειραματικό ασύρματο PBX σύστημα χρησιμοποιώντας CDMA ( Code Division Multiple Access). Αυτές οι προσπάθειες είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικών βιομηχανικών δραστηριοτήτων στην ανάπτυξη μιας νέας γενιάς τοπικών ασύρματων δικτύων .

Η πρώτη γενιά ασύρματων modem δεδομένων αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 από ραδιοερασιτέχνες, οι οποίοι συχνά αναφέρονταν σε αυτό το πακέτο, όπως το ραδιόφωνο. Θα προστεθεί μια φωνητική ζώνη επικοινωνίας δεδομένων modem, με ρυθμούς δεδομένων κατώτερους των 9600-bit/s, σε ένα ήδη υπάρχον σύστημα ραδιοπλοήγησης μικρής απόστασης. Η δεύτερη γενιά ασύρματων modem αναπτύχθηκε αμέσως μετά την ανακοίνωση της FCC για μη στρατιωτική χρήση της spread spectrum τεχνολογίας σε πειραματικές ζώνες. Τα modem αυτά παρείχαν ρυθμούς δεδομένων σχετικά με τα ποσοστά της τάξης των εκατοντάδων Kbit/s. Η τρίτη γενιά των ασύρματων modem είχε ως στόχο τη συμβατότητα με τα υπάρχοντα LANs με ρυθμούς δεδομένων της τάξης του Mbit/s.

Το πρώτο από τα IEEE εργαστήρια πάνω στα WLAN πραγματοποιήθηκε το 1991. Εκείνη την εποχή μόλις είχαν εμφανιστεί στην αγορά τα ασύρματα προϊόντα και η IEEE 802.11 επιτροπή, η οποία και είναι αρμόδια για τον καθορισμό προτύπων που σχετίζονται με το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control, MAC), είχε μόλις ξεκινήσει τις διαδικασίες για την ανάπτυξη ενός προτύπου για τα WLANs. Το πρώτο πρότυπο 802.11 οριστικοποιήθηκε το 1997 και αναπτύχθηκε αφού ελήφθησαν υπόψη υπάρχουσες ερευνητικές προσπάθειες και σχετικά προϊόντα της αγοράς, σε μια προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τόσο τα τεχνικά ζητήματα όσο και ζητήματα που αφορούσαν την αγορά. Πρόσφερε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι 2 Mbps με

τη χρήση διαμόρφωσης φάσματος στις ζώνες συχνοτήτων ISM. Το Σεπτέμβριο του 1999, εγκρίθηκαν από την επιτροπή προτύπων του IEEE δυο συμπληρωματικά πρότυπα. Το πρώτο από αυτά, το 802.11b, επεκτείνει την απόδοση του υπάρχοντος φυσικού επιπέδου των 2,4 GHz, με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 11Mbps. Το δεύτερο συμπληρωματικό πρότυπο, το 802.11a, στοχεύει στην παροχή ακόμη υψηλότερων ταχυτήτων (από 20 μέχρι 54Mbps) στη ζώνη των 5 GHz.

Ένα άλλο πρότυπο για WLAN, το οποίο αναπτύχθηκε από την ομάδα του Ευρωπαϊκού Ιδρύματος Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (European Telecommunications Standards Institute, ETSI), είναι το ασύρματο τοπικό δίκτυο υψηλής απόδοσης (High Performance Radio LAN, HIPERLAN) ως το πανευρωπαϊκό πρότυπο για δίκτυα WLAN υψηλής ταχύτητας. Το πρότυπο HIPERLAN 1, όπως και το 802.11, καλύπτει το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC, παρέχοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μεταξύ 2 και 25 Mbps με χρήση των παραδοσιακών τεχνικών ασύρματης διαμόρφωσης στη ζώνη συχνοτήτων των 5,2 GHz.

### **1.3 Τεχνολογία ενσύρματης δικτυωσης**

Οι τεχνολογίες της ενσύρματης και ασύρματης δικτυωσης σε καμιά περίπτωση δε μπορούν να χαρακτηριστούν ανταγωνιστικές. Το αντίθετο, θα μπορούσαμε να τις χαρακτηρίσουμε συμπληρωματικές, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που ενδείκνυται η χρήση των ενσύρματων δικτύων. Ορισμένες από αυτές τις περιπτώσεις είναι οι ακόλουθες :

- Με τη χρήση ενός απλού Ethernet καλωδίου μπορούμε να συνδέσουμε δυο υπολογιστές που βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας στον άλλο.
- Με πολύ χαμηλό κόστος μπορούμε να υλοποιήσουμε μια ενσύρματη διαδίκτυωση όταν ο ρυθμός μετάδοσης που απαιτείται είναι μεγάλος, π.χ της τάξης του 1 Gbps.
- Σε θέματα ασφαλείας, οι ενσύρματες λύσεις είναι σαφώς καλύτερες. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στις ενσύρματες συνδέσεις καθιστούν πολύ δύσκολη την υποκλοπή πληροφοριών μέσω φυσικής πρόσβασης. Για το λόγο αυτό, όταν έχουμε αυξημένες απαιτήσεις σε θέματα ασφάλειας καλό είναι να χρησιμοποιούμε ενσύρματες τεχνολογίες.

- Επίσης, καλό θα ήταν να χρησιμοποιούμε ενσύρματες συνδέσεις σε περιπτώσεις με μεγάλο ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο, γεγονός που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα προβληματικές και αναξιόπιστες συνδέσεις.

#### **1.4 Μετάβαση στα ασύρματα τοπικά δίκτυα και η εξάπλωση τους**

Παρότι οι λύσεις ενσύρματης δικτυωτής παρείχαν ικανές επιδόσεις, ήταν ανεπαρκείς σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογών. Η ευελιξία που παρέχουν οι ασύρματες τεχνολογίες φάνηκε από νωρίς πως θα άνοιγε ένα τεράστιο πεδίο νέων εφαρμογών. Πρόκειται για μια ασύρματη επανάσταση όπου τα καλώδια των ενσύρματων δικτύων έχουν αντικατασταθεί από υπέρυθρες ακτίνες και σήματα ραδιοκυμάτων. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη έκανε δυνατή την παραγωγή συσκευών με πολύ μικρό κόστος και σε μεγάλες ποσότητες. Το αποτέλεσμα όλων αυτών χαρακτηρίζει την αρχή της τρίτης χιλιετίας ως δικτυακή εποχή, με τα ασύρματα δίκτυα να πρωταγωνιστούν στις εξελίξεις την τελευταία δεκαετία.

Στην ασύρματη δικτυωση, το μέσο μετάδοσης των δεδομένων είναι οι υπέρυθρες ακτίνες και τα ραδιοκύματα. Η μέθοδος αυτή απαιτεί άμεση οπτική επαφή πομπού και δέκτη. Μια από τις ιδιότητες της είναι να ανακλάται σε διάφορες επιφάνειες και να περιορίζεται μέσα σε ένα χώρο. Για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να γίνει υποκλοπή του σήματος του και παρέχει υψηλή ασφάλεια.

Προκειμένου να επιτευχθεί η διασύνδεση ασύρματων τοπικών δικτύων και ο κάθε χρήστης να έχει πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα, οι παγκόσμιοι οργανισμοί δημιουργίας προτύπων θέσπισαν πρότυπα λειτουργίας στα οποία βασίζονται τα WLAN's.

Το πιο βασικό πρόβλημα κατά τη δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου, είναι να μπορούν ταυτόχρονα πολλοί χρήστες να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. Στο πρόβλημα αυτό δίνουν λύση οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης, όπως είναι η Time Division Multiple Access (TDMA – πολυπλεξη χρόνου), η Frequency Division Multiple Access (FDMA- πολυπλεξη συχνότητας), και Code Division Multiple Access (CDMA – πολυπλεξη με διαίρεση κωδικών) ή συνδυασμός αυτών (π.χ FDMA / TDMA).

## 1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ασύρματων τοπικών δικτύων .

### 1.5.1 Πλεονεκτήματα WLANS

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα που παρέχει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο τα οποία προέρχονται από τη φύση της ασύρματης τεχνολογίας και μας προσφέρει πολλές ευκολίες. Τα πλεονεκτήματα αυτών των δικτύων είναι:

- Είναι ιδανικά για συνεδριακούς χώρους όπου δεν μπορούμε να γνωρίζουμε από την αρχή τον ακριβή αριθμό των χρηστών, καθώς και για εκθεσιακά κέντρα όπου η διαρρύθμιση μεταβάλλεται ανά περίπτωση. Χαρακτηρίζονται λοιπόν από απλότητα εγκατάστασης, ευελιξία και ευκολία.
- Οι χρήστες που συνδέονται ασύρματα σ' ένα δίκτυο το οποίο είναι καλά σχεδιασμένο, επιτρέπει την πρόσβαση με μια φορητή συσκευή χωρίς να ενδιαφέρει η τοποθεσία του χρήστη. Επιπλέον, οι τωρινές υλοποιήσεις των ασύρματων τεχνολογιών επιτρέπουν υψηλές ταχύτητες, αλλά και την συνύπαρξη πολλών τύπων δεδομένων.
- Προσφέρεται η δυνατότητα για πρόσβαση στο Διαδίκτυο από σημεία που πριν ήταν αδύνατο, όπως σε χώρους ψυχαγωγίας, διανομής ή παροχής υπηρεσιών σε πολίτες, τα γνωστά ως hotspots. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να κινείται εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου, ώστε να έχει επαρκές σήμα και να διατηρεί τη συνδεσιμότητα του με αυτό. Κάτι τέτοιο μπορεί να αυξήσει την συνδεσιμότητα ή την αποτελεσματικότητα του εργαζόμενου εντός ή εκτός του χώρου εργασίας του ή απλά να εξυπηρετήσει σε θέματα επικοινωνίας και ψυχαγωγίας.
- Ευκολία υλοποίησης. Το να υλοποιήσει κανείς ένα ασύρματο δίκτυο είναι πολύ πιο εύκολο και απλό από την υλοποίηση ενός ενσύρματου δικτύου. Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν τοπολογίες που μπορούν να ανταποκριθούν σε όλες τις απαιτήσεις και να ικανοποιήσουν όλες τις ανάγκες. Οι τοπολογίες αλλάζουν εύκολα και μπορούν να επεκτείνονται από απλά δίκτυα με μικρό αριθμό χρηστών, σε μεγάλες δομές δικτύων.
- Χαμηλό κόστος επέκτασης. Οι οικονομικές απαιτήσεις είναι κάτι που απασχολεί τους περισσότερους ενδιαφερομένους. Η αλήθεια είναι ότι τα ενσύρματα δίκτυα έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης από τα ασύρματα. Μακροπρόθεσμα όμως, το κόστος για όλη τη διάρκεια ζώνης της επένδυσης, είναι πολύ μικρό, δεδομένου ότι πρόκειται για κάτι που μπορεί ν' αλλάζει συνεχώς και να προσαρμόζεται. Το κόστος υλοποίησης,



εγκατάστασης και συντήρησης του δικτύου είναι μικρό. Η αγορά του εξοπλισμού είναι το σημαντικότερο κομμάτι του κόστους. Πλέον, το κόστος μπορεί να μειώνεται σημαντικά λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών και η ποιότητα να παραμένει στα ίδια επίπεδα.

- Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία, τόσο γίνεται δυνατή η μετάδοση περισσότερων δεδομένων με μεγαλύτερες ταχύτητες. Έτσι, ενώ ξεκινήσαμε με ταχύτητες των 2Mbps σήμερα έχουμε φτάσει σε πολύ υψηλότερα επίπεδα.
- Ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων τοπικών δικτύων είναι ότι μπορούν να συνυπάρχουν με ενσύρματα δίκτυα ή ακόμα και να αποτελούν προσθήκη ή επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου.

### 1.5.2 Μειονεκτήματα WLANS

- Οι πομποδέκτες του WLAN είναι σχεδιασμένοι να εξυπηρετούν υπολογιστές μέσα από μια δομή με συνεχή εξυπηρέτηση χρησιμοποιώντας ραδιοσυχνότητες. Λόγω χώρου και κόστους, οι κεραίες που εμφανίζονται στις τυπικές ασύρματες κάρτες δικτύου των υπολογιστών είναι σχετικά ανεπαρκείς. Προκειμένου να παραλάβει καταλλήλως τα σήματα ο ασύρματος πομποδέκτης που χρησιμοποιεί τέτοια περιορισμένη κεραία ακόμη και σε μια μικρή περιοχή, χρειάζεται ένα αρκετά μεγάλο ποσό ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο μπορεί κάποιος εχθρός να κλέψει πακέτα με ένα όχι ιδιαίτερα εξοπλισμένο υπολογιστή, αλλά και ότι κάποιος χρήστης που θα ξοδέψει κάποια χρήματα για μιας καλής ποιότητας κεραία θα λαμβάνει πακέτα σε αποστάσεις πολύ μεγαλύτερης ακτίνας από ένα τυπικό χρήστη. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν ακόμη και χρήστες υπολογιστών που αφιερώνονται στον εντοπισμό και μερικές φορές ακόμη και στην παράνομη πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα, γνωστή ως wardrivers. Σ' ένα ενσύρματο δίκτυο κάποιος υποκλοπέας θα έπρεπε να υπερκεράσει πρώτα το εμπόδιο της παγίδευσης των φυσικών καλωδίων, αλλά αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα με τα ασύρματα πακέτα. Για να αποφύγουν αυτό το ενδεχόμενο οι χρήστες ασύρματων δικτύων συνήθως χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές κρυπτογράφησης που είναι διαθέσιμες.
- Στην κατασκευή ενός WLAN θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ασυμβατότητα μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών, διαφορετικά το δίκτυο δεν

θα λειτουργεί σωστά. Λόγοι ασυμβατότητας είναι οι εξής: χρήση διαφορετικής τεχνολογίας, η χρήση διαφορετικού φάσματος συχνοτήτων και η διαφορετική υλοποίηση.

- Κατά την προετοιμασία της εγκατάστασης ενός δικτύου WLAN, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση του σήματος. Σε ένα συνηθισμένο κτίριο ή σε ένα μικρό γραφείο, αυτός ο στόχος είναι πολύ δύσκολος, αν όχι αδύνατο, να επιτευχθεί. Οι κεραίες εκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις εφόσον δεν παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο στην πορεία του σήματος. Οι τοίχοι, τα παράθυρα, τα έπιπλα, ακόμη και οι άνθρωποι είναι δυνατό να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο μοντέλο διάδοσης των σημάτων προκαλώντας ανεπιθύμητα αποτελέσματα. Τις περισσότερες φορές, αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την εκτέλεση δοκιμών στη διάδοση του σήματος πριν την εγκατάσταση του εξοπλισμού του δικτύου WLAN.
- Ένα σημαντικό ζήτημα που αφορά κάθε δίκτυο WLAN είναι η διαχείριση της ενέργειας. Οι περισσότερες WLAN συσκευές από τη πλευρά του χρήστη λειτουργούν με μπαταρίες που έχουν καθορισμένη διάρκεια ζωής. Η χρήση τους σε αυτές τις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές μειώνουν την αυτονομία τους.
- Ένα βασικό μειονέκτημα των WLANs είναι ο αυξημένος ρυθμός σφαλμάτων. Το ασύρματο μέσο χαρακτηρίζεται από ρυθμούς σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων (Bit Error Rate, BER) μεγέθους μέχρι και δέκα φορές μεγαλύτερου από τον αντίστοιχο ρυθμό ενός ενσύρματου τοπικού δικτύου. Οι κυριες αιτίες για τον αυξανόμενο ρυθμό BER είναι ο ατμοσφαιρικός θόρυβος, τα φυσικά εμπόδια που βρίσκονται στην πορεία του σήματος, η πολύδρομη διάδοση και οι παρεμβολές από άλλα συστήματα.

## **1.6 Τμήματα των ασύρματων τοπικών δικτύων**

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα τυπικά αποτελούνται από τις συσκευές των χρηστών, τους κόμβους πρόσβασης και τις διασυνδέσεις μεταξύ των δικτύων.

### Συσκευές πρόσβασης Χρηστών (Σταθμοί).

Οι σταθμοί αυτοί είναι τόσο αποστολείς όσο και παραλήπτες, που μετατρέπουν τα ραδιοκύματα σε ψηφιακά σήματα τα οποία μπορούν να

διαβιβασθούν μεταξύ τους. Οι συσκευές πρόσβασης συνδέουν τον εξοπλισμό επικοινωνίας όπως υπολογιστές laptop και PDAs με τα σημεία πρόσβασης, τα οποία λαμβάνουν και διανέμουν τα πακέτα δεδομένων σε άλλες συσκευές ή δίκτυα. Οι συσκευές πρόσβασης μπορούν να έχουν διάφορες μορφές που ποικίλουν από τους ασύρματους προσαρμοστές καρτών διεπαφών δικτύων (NIC) έως ολοκληρωμένες ράδιο ενότητες (radio modules) που είναι μέρος προσωπικών συσκευών όπως laptop ή προσωπικός ψηφιακός βοηθός (PDA). Στην Εικόνα 1.1 απεικονίζονται οι διαφορετικοί τύποι WLAN συσκευές πρόσβασης.



**Εικόνα 1.1:** WLAN συσκευές Πρόσβασης

Οι συσκευές πρόσβασης που συνδέονται με υπολογιστικές συσκευές όπως laptop ή PDA απαιτούν οδηγούς λογισμικού για να επιτραπεί σε αυτές, η επικοινωνία με το λειτουργικό σύστημα και το υλικό με το οποίο συνδέονται. Οι οδηγοί συσκευών είναι προγράμματα λογισμικού που υπαγορεύουν σε έναν υπολογιστή πώς να επικοινωνήσει με μια περιφερειακή συσκευή, όπως μια WLAN συσκευή πρόσβασης, ή με έναν εκτυπωτή. Οι οδηγοί συσκευών για τον WLAN εξοπλισμό περιλαμβάνουν το απλό Plug and Play (PnP). Το PnP είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για τους οδηγούς συσκευών, που επιτρέπει την αυτόματη εγκατάσταση των επιπρόσθετων χαρακτηριστικών και των περιφερειακών συσκευών, όπως εκτυπωτές, πληκτρολόγια και των επικοινωνιακών συσκευών (όπως WLAN κάρτα).

### Σημεία Πρόσβασης

Ένα σημείο (AP) πρόσβασης είναι ένας ράδιο πομποδέκτης πρόσβασης (συνδεδεμένη συσκευή αποστολής και αποδοχής σημάτων ) που χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις ασύρματες συσκευές δεδομένων με ένα σύστημα δικτύων τοπικής περιοχής (τοπικό LAN). Τα σημεία πρόσβασης μετατρέπουν και ελέγχουν

την αποστολή των πακέτων δεδομένων και μπορούν να συνδέσουν μια ή πολλές ασύρματες συσκευές με ένα ενσύρματο LAN.

### Γέφυρες

Μια γέφυρα είναι μια συσκευή μεταδόσεων δεδομένων που συνδέει δυο ή περισσότερα τμήματα των δικτύων επικοινωνίας δεδομένων στέλνοντας πακέτα μεταξύ τους. Οι γέφυρες επεκτείνουν την προσιοτητα του τοπικού LAN από ένα τμήμα σε άλλο. Οι γέφυρες WLAN χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν τις ασύρματες συσκευές με τα ενσύρματα τμήματα του LAN. Οι γέφυρες επιθεωρούν κάθε επικεφαλίδα των MAC πακέτων και αποστέλλουν το πακέτο βασισμένες μόνο σε αυτή την πληροφορία. Κάθε γέφυρα κρατά έναν πίνακα που επιτρέπει σε αυτή να καθορίσει τον προορισμό στον οποίο κάθε πακέτο πρέπει να διαβιβαστεί.

### Επαναλήπτης

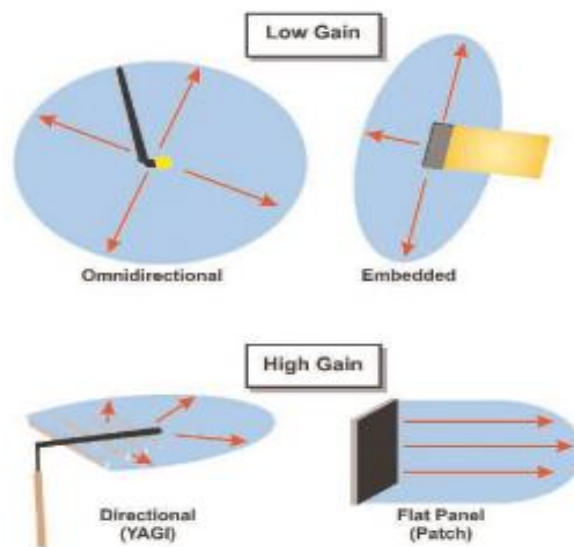
Ένας επαναλήπτης είναι μια συσκευή ή ένα κύκλωμα που βρίσκεται ανάμεσα στις συσκευές αποστολής και λήψης για να βελτιώσει την ποιότητα του σήματος που μεταδίδεται μεταξύ τους. Ένας επαναλήπτης λαμβάνει τμήμα ή όλο το σήμα από τη συσκευή αποστολής σημάτων, το ενισχύει και μπορεί να ρυθμίσει (αλλαγή μιας συχνότητας) ή να φιλτράρει το σήμα, και να αναμεταδώσει το σήμα στο δέκτη. Σε ένα σύστημα WLAN, ένας επαναλήπτης είναι μια συσκευή που λειτουργεί στο επίπεδο 1 (φυσικό στρώμα) του προτύπου αναφοράς OSI. Αυτή η συσκευή δεν επαναδρομολογεί πακέτα, απλά λαμβάνει, αποκωδικοποιεί, και αναμεταδίδει όλα τα εισερχόμενα σήματα στην έξοδο της.[2]

Μια άλλη συσκευή που επεκτείνει τη σειρά των συστημάτων WLAN είναι ένας ενισχυτής σημάτων RF. Ένας ενισχυτής σημάτων RF ενισχύει το ράδιο-σήμα που λαμβάνει και το αναμεταδίδει σε πιο υψηλό επίπεδο σημάτων.

### Κεραίες

Οι κεραίες μετατροπής είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή των σημάτων από ηλεκτρική σε ηλεκτρομαγνητική μορφή. Οι κεραίες σχεδιάζονται συνήθως για να λειτουργούν πάνω από ένα συγκεκριμένο φάσμα συχνότητας. Οι κατευθυντικές κεραίες σχεδιάζονται για να στρέψουν τη μεταδιδόμενη ενέργεια σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση για να επιτύχουν το βέλτιστο κέρδος. Οι μη κατευθυντικές κεραίες ακτινοβολούν κυκλικά (360 μοίρες)

στον οριζόντιο άξονα και ενισχύουν το σήμα μειώνοντας την εκπομπή στον κάθετο άξονα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε τοπικά ασύρματα δίκτυα όπως για παράδειγμα για τη κάλυψη ενός μεγάλου χώρου. Η Εικόνα1.2 παρουσιάζει τύπους κεραιών που χρησιμοποιούνται συνήθως στα συστήματα WLAN. Μια πολυκατευθυντήρια κεραία παρέχει κάλυψη γύρω από τη συσκευή με χαμηλό κέρδος ραδιο-σημάτων (καμιά εστίαση). Οι Yagi και οι επίπεδες κεραίες προσφέρουν υψηλό κέρδος σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.



**Εικόνα 1.2:** WLAN τύποι κεραιών

Μερικά σημεία πρόσβασης έχουν δυο κεραιές, η μέθοδος αυτή ονομάζεται antenna diversity (ετεροχρονισμός κεραιών). Έτσι αποφεύγονται ανακλάσεις που έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια ή αναμετάδοση δεδομένων. Η μέθοδος αυτή προσφέρει στον δέκτη μια επιλογή ανάμεσα σε κεραιές. Συνήθως υπάρχει κάποιο κύκλωμα στον δέκτη το οποίο επιλέγει τη χρήση της κεραιάς με το δυνατότερο σήμα. Επομένως η ισχύς των δυο κεραιών δε δρα αθροιστικά, αλλά παρέχει στον δέκτη μια επιλογή. Η σειρά των συστημάτων WLAN μπορεί να επεκταθεί με τη χρησιμοποίηση των κατευθυντικων κεραιών. Οι κατευθυντικες κεραιές όπως η κεραία Yagi, προσφέρουν τα συνήθη οφέλη ραδιοσηματων από 6 έως 14 db (μέχρι 20 φορές ενεργειακό κέρδος). Η παρακάτω Εικόνα 1.3 χρησιμοποιεί μια κατευθυντικη κεραία για να αυξήσει την εμβέλεια ανάμεσα σε μια συσκευή και ένα σημείο πρόσβασης.



**Εικόνα 1.3:** WLAN κατευθυντική κεραία

## 1.7 Τοπολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων

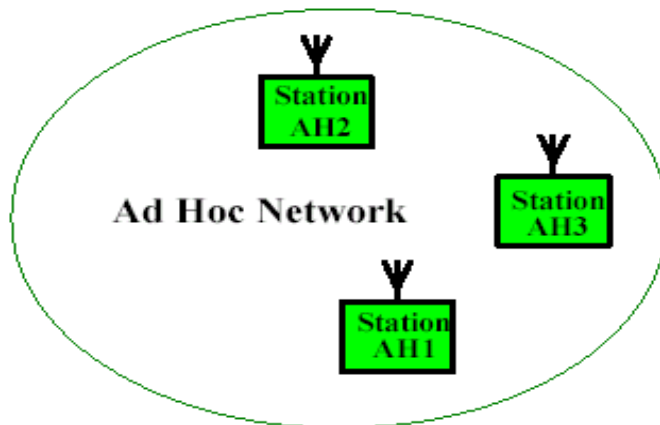
Ως γνωστόν, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα επιτρέπουν στους σταθμούς εργασίας να επικοινωνούν μέσω μετάδοσης ραδιοκυμάτων. Το ασύρματο τοπικό δίκτυο μπορεί να είναι ήδη συνδεδεμένο σ' ένα υπάρχον ενσύρματο τοπικό δίκτυο σαν επέκταση αυτού ή μπορεί να είναι η βάση για ένα νέο δίκτυο. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα εφαρμόζονται ιδιαίτερα σε εσωτερικούς χώρους όπως γραφεία, ακαδημαϊκά ιδρύματα, νοσοκομεία, ξενοδοχεία κ.λ.π. Για τη σύνδεση των υπολογιστών χρησιμοποιούνται ασύρματες κάρτες δικτύου.

Η βασική μονάδα ενός ασύρματου τοπικού δικτύου είναι η κυψέλη. Κυψέλη είναι η περιοχή όπου λαμβάνει χώρα η ασύρματη επικοινωνία. Η περιοχή που καλύπτει μια κυψέλη εξαρτάται από την ισχύ του μεταδιδόμενου σήματος καθώς και κάποιων φυσικών χαρακτηριστικών του εσωτερικού χώρου.

Υπάρχουν δυο βασικές τοπολογίες, πρόκειται για τα ανεξάρτητα δίκτυα (independent networks ) και τα δίκτυα υποδομής( infrastructure networks ) .

### 1.7.1 IBSS (Independent Basic Service Set)

Είναι η πιο βασική και πιο απλή τοπολογία ασύρματης δικτυωσης. Οι ασύρματοι σταθμοί επικοινωνούν κατευθείαν μεταξύ τους ένας προς έναν (peer-to-peer), χωρίς να υπάρχει κεντρικός σταθμός AP(Access Point). Όλοι οι σταθμοί είναι ισότιμοι μεταξύ τους. Στην Εικόνα 1.4 φαίνεται ένα δίκτυο IBSS ή όπως αλλιώς ονομάζονται Ad-hoc δίκτυα.



**Εικόνα 1.4: Τοπολογία Ad Hoc**

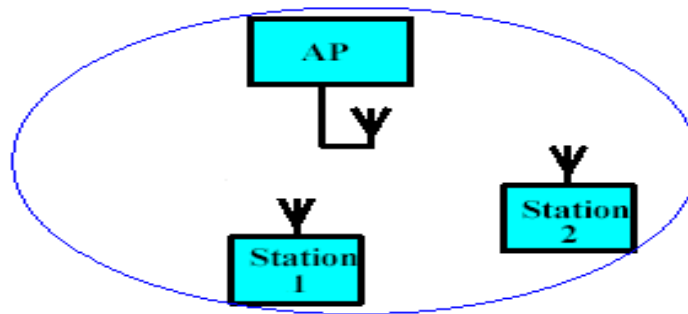
Βασικός περιορισμός είναι ότι για να γίνει η επικοινωνία μεταξύ των σταθμών, θα πρέπει ο ένας σταθμός να είναι εντός της εμβέλειας του άλλου. Έτσι δεν υπάρχει η δυνατότητα μεταγωγής των δεδομένων μέσω ενός σταθμού προς κάποιον τρίτο, ώστε τα δεδομένα να περάσουν με διαφανή τρόπο από κάποιο σταθμό. Έχει βασικό λόγο ύπαρξης για την γρήγορη και εύκολη διάρθρωση ενός ασύρματου δικτύου στην περίπτωση που δεν υφίσταται ασύρματη υποδομή ή για την κάλυψη μικρών περιοχών. Για παράδειγμα αν θέλουμε να διασυνδέσουμε δυο ή περισσότερους υπολογιστές σε έναν χώρο που δεν υπάρχει κάποια άλλη δομή ασύρματης δικτυωσης, ρυθμίζουμε τις αντίστοιχες ασύρματες κάρτες να εργάζονται σε ad-hoc τρόπο επικοινωνίας. Έτσι αν κάποια συσκευή θέλει να εκπέμψει, ελέγχει να δει αν είναι ελεύθερη η ραδιοσυχνότητα, αν είναι κατειλημμένη περιμένει για κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι να ελευθερωθεί. Όταν βρει ευκαιρία δοκιμάζει να στείλει τα προς μετάδοση πακέτα, μαζί με κάποιες άλλες πρόσθετες πληροφορίες, όπως τη διεύθυνση του παραλήπτη. Τα εκπεμπόμενα πακέτα τα ακούνε όλοι οι εκπεμπόμενοι σταθμοί και αυτός που αναγνωρίζει την δική του διεύθυνση παραλήπτη, τα παραλαμβάνει και τα επεξεργάζεται.

### **1.7.2 Basic Service Set (BSS) δίκτυα**

Στα δίκτυα BSS η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών επιτυγχάνεται με έναν κεντρικό ασύρματο διανομέα ο οποίος ονομάζεται Access Point. Ο διανομέας αυτός λειτουργεί όπως τα Hub ή Switch στα καλωδιακά δίκτυα Ethernet. Το

Access Point μπορεί να είναι συνδεδεμένο ή όχι με καλώδιο σ' ένα δίκτυο κορμού ώστε να προωθεί την κίνηση των ασύρματων σταθμών.

Στην BSS τοπολογία η περιοχή κάλυψης του Access Point αποτελεί την κυψέλη του δικτύου. Κάθε σταθμός στην κυψέλη χρησιμοποιεί ένα μοναδικό αναγνωριστικό το οποίο ονομάζεται SSID (Service Set Identifier ) για την επικοινωνία και το οποίο ορίζεται στο Access Point από τον διαχειριστή του δικτύου. Οι σταθμοί πρέπει να γνωρίζουν το SSID του δικτύου για να συνδεθούν. Η Εικόνα 1.5 απεικονίζει μια BSS τοπολογία.

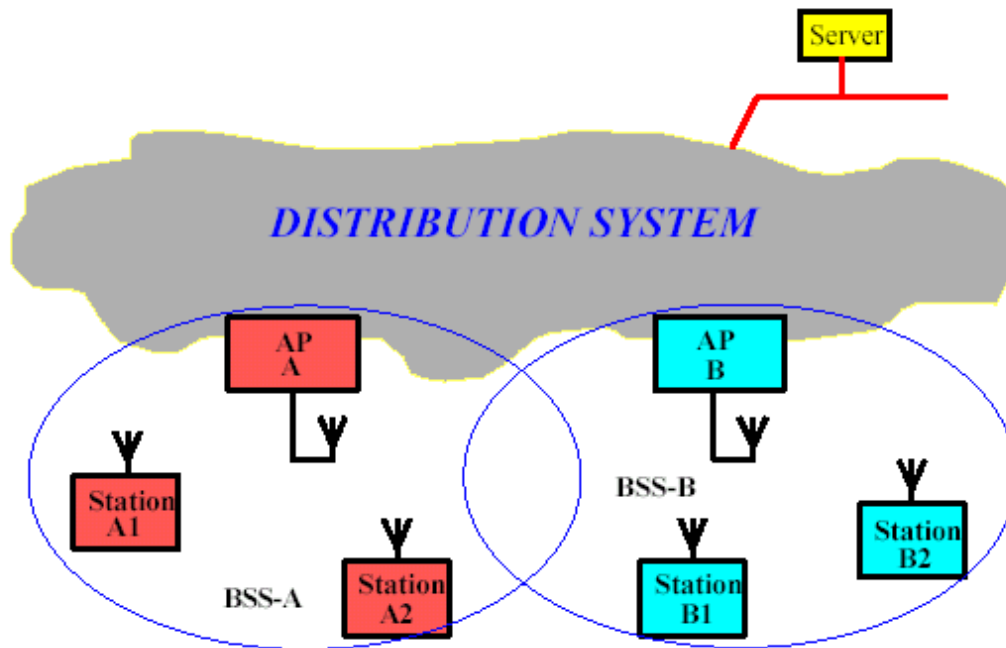


Εικόνα 1.5: BSS τοπολογία

### 1.7.3 Extended Service Set (ESS) δίκτυα

Ένας αριθμός από BSSs μπορούν να συνδεθούν και να αποτελέσουν ένα ESS ( Extended Service Set ). Στο ESS τα APs των BSSs συνδέονται μέσω ενός ενσύρματου δικτύου κορμού, που ονομάζεται σύστημα διανομής ( Distribution system – DS). Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ ασύρματων σταθμών που ανήκουν σε διαφορετικά BSSs αλλά στο ίδιο ESS. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει τα APs να επικοινωνούν στο στρώμα ζεύξης δεδομένων μέσω του δικτύου κορμού, επιτελώντας τη λειτουργία της γέφυρας για τους ασύρματους σταθμούς διαφορετικών BSSs. Στην εικόνα 1.6 απεικονίζεται μια ESS τοπολογία.





Εικόνα 1.6: Τοπολογία ESS

### 1.8 Υπηρεσίες του 802.11

Το πρότυπο 802.11 καθορίζει ότι κάθε ασύρματο LAN που συμμορφώνεται με το πρότυπο πρέπει να παρέχει εννιά υπηρεσίες. Οι υπηρεσίες αυτές διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: πέντε υπηρεσίες διανομής και τέσσερις υπηρεσίες σταθμών. Οι υπηρεσίες διανομής σχετίζονται με τη διαχείριση των μελών μιας κυψέλης και την αλληλεπίδραση με σταθμούς εκτός της κυψέλης. Αντιθέτως, οι υπηρεσίες σταθμών ασχολούνται με τις δραστηριότητες μέσα σε μία μόνο κυψέλη.

Οι πέντε υπηρεσίες διανομής παρέχονται από τους σταθμούς βάσης και ασχολούνται με τη δυνατότητα μετακίνησης των σταθμών καθώς αυτοί εισέρχονται και εγκαταλείπουν τις κυψέλες, συνδεδεμένοι και αποσυνδεδεμένοι από τους σταθμούς βάσης. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι ακόλουθες.

- **Συσχέτιση (Association).** Η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς για να συνδεθούν με τους σταθμούς βάσης. Τυπικά χρησιμοποιείται αμέσως μόλις ένας σταθμός μετακινηθεί εντός της εμβέλειας του σταθμού βάσης. Με την άφιξη του, ο σταθμός ανακοινώνει την ταυτότητα και τις δυνατότητες του. Οι δυνατότητες περιλαμβάνουν τους υποστηριζόμενους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, την ανάγκη για υπηρεσίες PCF (δηλαδή, με περίοδευση), και τις απαιτήσεις διαχείρισης ισχύος. Ο σταθμός βάσης μπορεί

να αποδεχθεί ή να απορρίψει τον κινητό σταθμό. Αν ο κινητός σταθμός γίνει αποδεκτός, θα πρέπει στη συνέχεια να πιστοποιήσει την ταυτότητα του.

- **Αποσυσχέτιση** (Disassociation). Είτε ο σταθμός είτε ο σταθμός βάσης μπορούν να αποσυνδεθούν, τερματίζοντας έτσι τη συσχέτιση. Ο σταθμός θα πρέπει να χρησιμοποιεί την υπηρεσία αυτή πριν απενεργοποιηθεί ή πριν φύγει από την κυψέλη, ενώ ο σταθμός βάσης μπορεί επίσης να τη χρησιμοποιήσει πριν απενεργοποιηθεί για λόγους συντήρησης.
- **Επανασυσχέτιση** (Reassociation). Με αυτή την υπηρεσία ένας σταθμός μπορεί να αλλάξει τον προτιμώμενο σταθμό βάσης. Αυτή η βοηθητική λειτουργία είναι χρήσιμη για τους κινητούς σταθμούς που μετακινούνται από κυψέλη σε κυψέλη. Αν χρησιμοποιηθεί σωστά, δεν θα χαθούν δεδομένα κατά τη μεταβίβαση. (Το 802.11 όμως, όπως και το Ethernet, παρέχει μόνο υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας.)
- **Διανομή** (Distribution). Η υπηρεσία αυτή προσδιορίζει πως θα δρομολογούνται τα πλαίσια που στέλνονται στο σταθμό βάσης. Αν ο προορισμός είναι τοπικός στο σταθμό βάσης, τα πλαίσια μπορούν να σταλούν άμεσα στην κυψέλη. (διαφορετικά, θα πρέπει να προωθηθούν μέσω του ενσύρματου δικτύου.
- **Ενοποίηση** (Integration). Όταν ένα πλαίσιο μπορεί να σταλεί μέσω ενός δικτύου που δεν είναι μορφής 802.11 και χρησιμοποιεί διαφορετική μέθοδο διευθυνσιοδότησης ή μορφή πλαισίων, η υπηρεσία αυτή διαχειρίζεται τη μετατροπή από τη μορφή του 802.11 στη μορφή που απαιτείται από το δίκτυο προορισμού.

Οι υπόλοιπες τέσσερις υπηρεσίες είναι εσωτερικές στις κυψέλες (δηλαδή, σχετίζονται με ενέργειες που γίνονται μέσα σε μία μόνο κυψέλη). Χρησιμοποιούνται αφού πραγματοποιηθεί η συσχέτιση (σύνδεση), και είναι οι ακόλουθες.

- **Πιστοποίηση ταυτότητας** (Authentication). Επειδή οι ασύρματες μεταδόσεις είναι εύκολο να σταλούν ή να ληφθούν από μη εξουσιοδοτημένους σταθμούς, ο σταθμός θα πρέπει να πιστοποιήσει την ταυτότητα του πριν του επιτραπεί να στείλει δεδομένα. Μόλις ένας κινητός σταθμός συνδεθεί με το σταθμό βάσης (δηλαδή, όταν γίνει αποδεκτός στην κυψέλη του), ο σταθμός βάσης του στέλνει ένα ειδικό πλαίσιο «πρόσκλησης» για να δει αν ο κινητός σταθμός γνωρίζει το μυστικό κλειδί

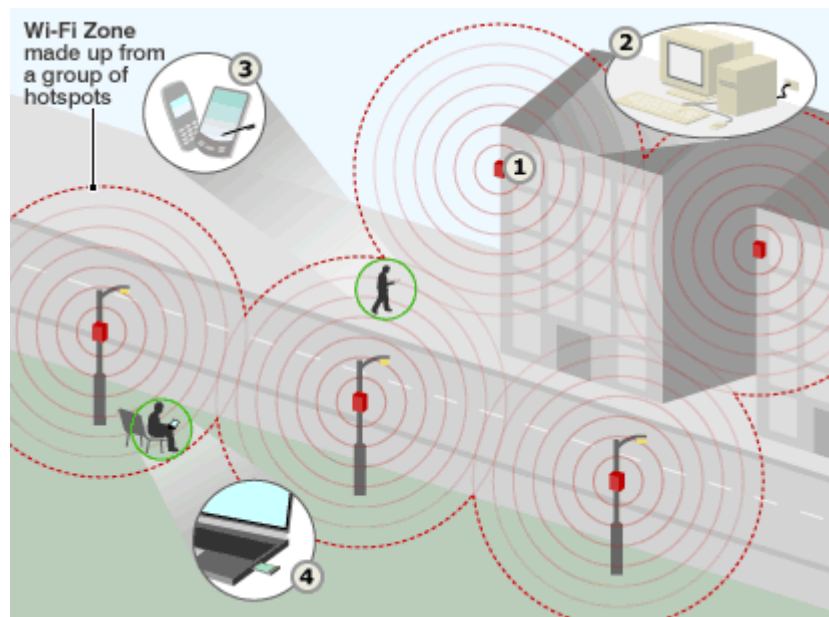
(συνθηματικό) που του έχει εκχωρηθεί. Ο σταθμός αποδεικνύει ότι γνωρίζει το μυστικό κλειδί κρυπτογραφώντας το πλαίσιο πρόσκλησης και επιστρέφοντας το στο σταθμό βάσης. Αν το αποτέλεσμα είναι ορθό, ο κινητός σταθμός εγγράφεται πλήρως στην κυψέλη. Στο αρχικό πρότυπο ο σταθμός βάσης δεν χρειαζόταν να αποδείξει και αυτός την ταυτότητά του στον κινητό σταθμό, είναι όμως ήδη σε εξέλιξη δουλειά για να επιδιορθωθεί αυτό το ελάττωμα του προτύπου.

- **Ακύρωση πιστοποίησης ταυτότητας** (Deauthentication). Όταν ένας σταθμός που έχει ήδη πιστοποιηθεί θέλει να εγκαταλείψει το δίκτυο, ακυρώνεται η πιστοποίησή του. Μετά την ακύρωση της πιστοποίησης, ο σταθμός δεν μπορεί πια να χρησιμοποιήσει το δίκτυο.
- **Προστασία απορρήτου** (Privacy). Για να διατηρούνται εμπιστευτικές οι πληροφορίες που στέλνονται μέσω ενός ασύρματου LAN, θα πρέπει να κρυπτογραφούνται. Η υπηρεσία αυτή διαχειρίζεται την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση. Ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης που προσδιορίζεται είναι ο RC4, που εφευρέθηκε από τον Ronald Rivest του M.I.T.
- **Παράδοση δεδομένων** (Data delivery). Τέλος, αφού η μετάδοση δεδομένων είναι ο σκοπός του δικτύου, το 802.11 είναι φυσικό να παρέχει μια μέθοδο μετάδοσης και λήψης δεδομένων. Επειδή το 802.11 ακολουθεί το μοντέλο του Ethernet και η μετάδοση στο Ethernet δεν είναι εγγυημένα αξιόπιστη κατά 100%. Τα ανώτερα επίπεδα θα πρέπει να ασχοληθούν με την ανίχνευση και την επιδιόρθωση σφαλμάτων. Οι κυψέλες του 802.11 έχουν κάποιες παραμέτρους οι οποίες μπορούν να εξεταστούν και, σε μερικές περιπτώσεις, να προσαρμοστούν. Αυτές σχετίζονται με την κρυπτογράφηση, τα διαστήματα χρόνου αναμονής, τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τη συχνότητα των φάρων, και άλλες τέτοιες λεπτομέρειες.

Τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται στο 802.11 αρχίζουν σιγά-σιγά να εγκαθίστανται σε κτίρια γραφείων, αεροδρόμια, ξενοδοχεία, εστιατόρια, και πανεπιστημιούπολεις σε όλο τον κόσμο. Αναμένεται να αναπτυχθούν ραγδαία.

## 1.9 Hot Spots

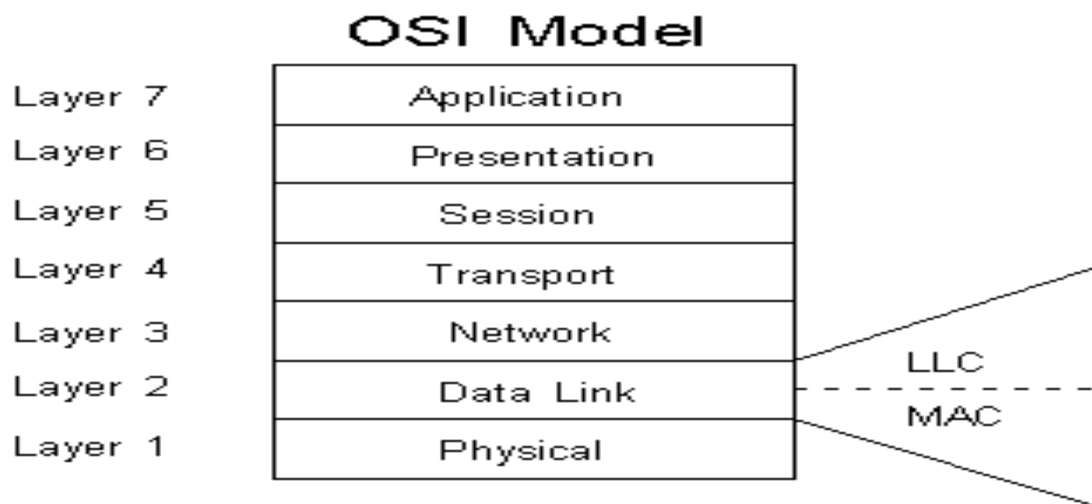
Ο όρος Hot Spot αναφέρεται στα τοπικά ασύρματα δίκτυα τα οποία παρέχουν πρόσβαση στο Internet και βρίσκονται σε δημόσιους χώρους. Συνήθως είναι προσβάσιμα δωρεάν ή με κάποιο αντίτιμο. Τέτοιοι χώροι είναι τα αεροδρόμια, café, ή ακόμα και μεγάλοι κεντρικοί δημόσιοι χώροι σε μια πόλη. Ένα Hot Spot μπορεί να αποτελείται απλά από μια BSS τοπολογία με ασύρματο δρομολογητή που συνδέεται στο Internet ή να απλώνεται σε μεγαλύτερη έκταση με τη χρήση ESS τοπολογίας η οποία περιλαμβάνει και σύνδεση στο Internet.



Εικόνα 1.7: Μια περιοχή όπου πολλά Hot Spots δημιουργούν μια ESS τοπολογία

## 1.10 Το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης (Medium Access Control, MAC) στα ασύρματα δίκτυα

Το επίπεδο Ελέγχου Πολλαπλής Πρόσβασης ( MAC ) είναι ένα υποεπίπεδο του Επιπέδου Σύνδεσης ( Data Link Layer, DLL ), που είναι το 2 κατά σειρά επίπεδο του μοντέλου OSI. Από πάνω του βρίσκεται το υποεπίπεδο Ελέγχου Λογικής Σύνδεσης (Logical Link Control, LCC) και από κάτω του το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer, PHY).



**Εικόνα 1.8:** Επίπεδα OSI

Σκοπός του MAC επιπέδου, είναι να παράσχει ένα μηχανισμό για την διευθέτηση της πρόσβασης των χρηστών στο κοινό ασύρματο μέσο. Ο μηχανισμός αυτός πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μετάδοσης στο ασύρματο μέσο. Χαρακτηριστικά όπως η τυπικότητα στην μετάδοση, ή ύπαρξη εξωτερικής παρεμβολής και η κινητικότητα των χρηστών. Ο σχεδιασμός του MAC πρωτοκόλλου πρέπει να επωφελείται από τα πλεονεκτήματα των χαρακτηριστικών αυτών και να ελαχιστοποιεί τις αρνητικές συνέπειες τους.

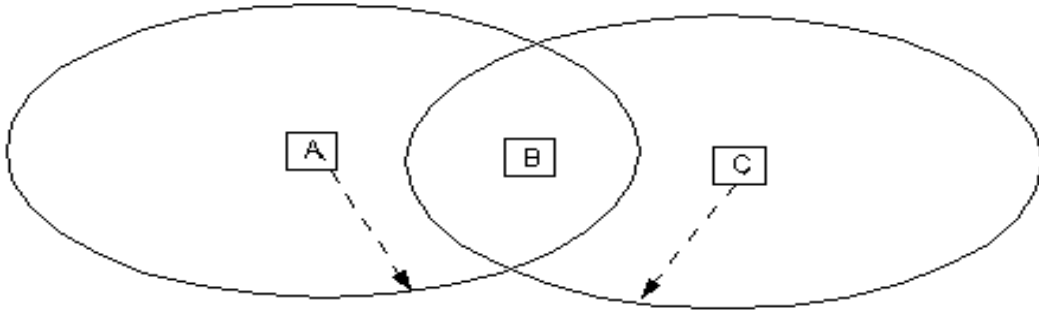
Μερικά προβλήματα που δημιουργούνται από τα παραπάνω χαρακτηριστικά παρατίθενται παρακάτω.

#### **1.10.1 Το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου ( Hidden Terminal Problem )**

Ένας συνηθισμένος περιορισμός στην απόδοση των WLAN είναι το πρόβλημα που προκύπτει από την περιορισμένη ακτίνα δράσης των ραδιοκυμάτων. Επομένως κάποιος σταθμός που θέλει να ξεκινήσει κάποια δική του μετάδοση, αν αντιληφθεί σε εξέλιξη μια άλλη, αναβάλλει την δική του μέχρι να απελευθερωθεί το μέσο. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.9, η τοπολογία του δικτύου καθώς και η εμβέλεια του κάθε σταθμού είναι τέτοια, ώστε ο σταθμός B να ακούει τους σταθμούς A και C ενώ οι σταθμοί A και C ακούν μόνο τον σταθμό B.

Λόγω του ότι ο C δεν είναι σε θέση να ακούσει την μετάδοση του A, θεωρεί το κανάλι ελεύθερο, μεταδίδει στον B και δημιουργεί σύγκρουση. Ο σταθμός C είναι κρυμμένος κόμβος για τον σταθμό A και αντίστροφα. Το σενάριο αυτό

ονομάζεται το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου, αποτελεί βασικό πρόβλημα στο χώρο των ασύρματων δικτύων.

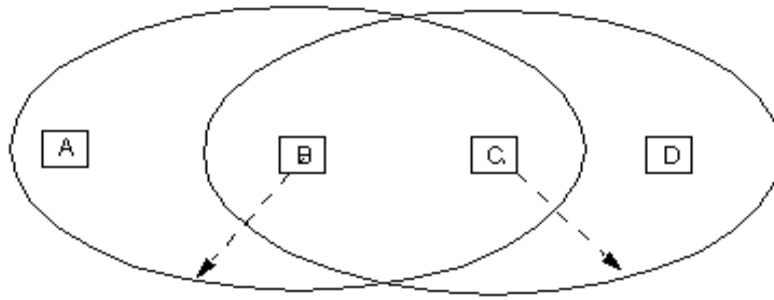


**Εικόνα 1.9:** Το πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου

### 1.10.2 Το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου (Exposed Terminal Problem)

Και στην περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι οι σταθμοί σέβονται τις εξελισσόμενες μεταδόσεις γύρω τους. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.10, η τοπολογία του δικτύου καθώς και η εμβέλεια του κάθε σταθμού είναι τέτοια, ώστε ο κάθε σταθμός ακούει τους άμεσους γείτονες του (π.χ ο σταθμός B ακούει τους A και C).

Ας θεωρήσουμε το σενάριο όπου ο σταθμός B αρχίζει να μεταδίδει στον σταθμό A και αμέσως μετά ο σταθμός C προτίθεται να μεταδώσει στον σταθμό D. Λόγω του ότι ο C ακούει την μετάδοση του B θεωρεί ότι το κανάλι δεν είναι ελεύθερο και αναβάλλει την μετάδοση του μέχρι την ολοκλήρωση της μετάδοσης του B. Με βάση την τοπολογία του δικτύου της εικόνας είναι εμφανές ότι αν ο C ξεκινούσε την μετάδοση του παράλληλα δεν θα υπήρχε κάποιο πρόβλημα και επιπλέον θα αυξάνονταν η απόδοση του δικτύου. Στην περίπτωση αυτή λοιπόν έχουμε μια άσκοπη φίμωση του σταθμού C, ο οποίος ονομάζεται εκτεθειμένος κόμβος. Το σενάριο ονομάζεται το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου και αποτελεί επίσης πρόβλημα στον χώρο των ασύρματων δικτύων, μιας και μειώνει άσκοπα την απόδοση τους.



**Εικόνα 1.10:** Το πρόβλημα του Εκτεθειμένου Κόμβου

Ένα αποδοτικό MAC πρωτόκολλο για ασύρματα δίκτυα πρέπει να λάβει υπόψη του όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν και να προσπαθήσει να τα λύσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η αγνόηση αυτών των σεναρίων κατά τον σχεδιασμό του πρωτοκόλλου, μπορεί να οδηγήσει σε λύσεις με μειωμένους παράγοντες αξιολόγησης των επιδόσεων ενός συστήματος που θα το υλοποιήσει, και επομένως θα είναι μη αποδοτικό.

### 1.11 Απαιτήσεις ασύρματων τοπικών δικτύων

Ένα δίκτυο WLAN αναμένεται να καλύπτει τις ίδιες απαιτήσεις με ένα παραδοσιακό ενσύρματο τοπικό δίκτυο, όπως η υψηλή χωρητικότητα, σταθερότητα, δυνατότητα ευρείας και πολλαπλής εκπομπής. Ωστόσο, λόγω της χρήσης του ασύρματου μέσου για τη μετάδοση των δεδομένων, υπάρχουν πρόσθετες απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν. Οι απαιτήσεις αυτές επηρεάζουν την υλοποίηση του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου MAC, και είναι οι παρακάτω:

- Ρυθμαποδοση (throughput). Αν και αυτή είναι μια γενική απαίτηση για κάθε δίκτυο, αποτελεί ακόμη κρισιμότερη πτυχή για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Το ζήτημα σε αυτή τη περίπτωση είναι η ρυθμαποδοση λειτουργίας του συστήματος και όχι η μέγιστη ρυθμαποδοση που είναι δυνατό να επιτευχθεί
- Πλήθος κόμβων. Τα δίκτυα WLAN χρειάζεται συχνά να υποστηρίξουν δεκάδες ή και εκατοντάδες κόμβους. Επομένως, η σχεδίαση ενός WLAN δεν πρέπει να θέτει κανένα όριο στο μέγιστο πλήθος κόμβων του δικτύου.
- Εξοικονόμηση ενέργειας. Οι «κινητοί» χρήστες χρησιμοποιούν φορητούς υπολογιστές οι οποίοι χρειάζεται να έχουν μια αρκετά μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας. Αυτό υπονοεί ότι ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο

διαμοιραζόμενο μέσο (MAC protocol), δε θα απαιτεί από τους κινητούς κόμβους να εποπτεύουν συνεχώς τα σημεία πρόσβασης στο μέσο, όπως συμβαίνει στα κλασσικά πρωτοκόλλα MAC, έτσι ώστε να εξοικονομείται όσο το δυνατό περισσότερη ενέργεια για περισσότερο ουσιαστικές λειτουργίες.

- Σταθερότητα και ασφάλεια. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα είναι περισσότερο επιρρεπή στις παρεμβολές και στη μη εξουσιοδοτημένη συλλογή δεδομένων. Κάθε WLAN πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε η μετάδοση των δεδομένων να παραμένει αξιόπιστη ακόμη και σε θορυβώδη περιβάλλοντα, έτσι ώστε η ποιότητα υπηρεσιών να παραμένει σε υψηλό επίπεδο. Επιπλέον, στις διατάξεις των ασύρματων τοπικών δικτύων πρέπει να ενσωματώνονται συστήματα ασφάλειας προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης ή δολιοφθοράς.
- Συνδιατεταγμένη λειτουργία δικτύων. Με την αυξανόμενη δημοτικότητα των WLAN, ένα άλλο ζήτημα που έρχεται στην επιφάνεια είναι η δυνατότητα για δυο ή περισσότερα τέτοια δίκτυα να λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή ή σε περιοχές που επικαλύπτονται μερικώς. Τα δίκτυα που βρίσκονται στην ίδια περιοχή είναι δυνατό να προκαλούν το ένα στο άλλο παρεμβολές, οι οποίες είναι δυνατό να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της απόδοσης. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα γειτονικά ασύρματα δίκτυα που βασίζονται στο πρωτόκολλο CSMA. Ας υποθέσουμε ότι δυο δίκτυα, A και B, βρίσκονται σε παρακείμενα κτίρια και ότι μερικοί από τους κόμβους τους είναι σε θέση να ανιχνεύσουν τις μεταδόσεις που προέρχονται από το άλλο ασύρματο τοπικό δίκτυο. Επιπλέον, υποθέστε ότι για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα δεν είναι σε εξέλιξη καμία μετάδοση στο δίκτυο A και ότι υπάρχει ένας κόμβος που εκπέμπει στο δίκτυο B. Οι κόμβοι του δικτύου A είναι πιθανό να ανιχνεύσουν την κίνηση που παράγεται στο δίκτυο B και να αναβάλλουν, εσφαλμένα, τις μεταδόσεις τους παρά το γεγονός ότι στο δικό τους δίκτυο δεν λαμβάνει χώρα καμία μετάδοση.
- Δυναμική τοπολογία. Σε ένα WLAN δεν είναι δυνατό να θεωρηθούν πλήρως συνδεδεμένες τοπολογίες λόγω της παρουσίας των προβλημάτων των «κρυφών» και «εκτεθειμένων» σταθμών. Μια καλή σχεδίαση ασύρματου τοπικού δικτύου πρέπει να λαμβάνει υπόψη αυτό το ζήτημα και να περιορίζει την αρνητική του επίδραση στην απόδοση του δικτύου.



- Συμμόρφωση με τα πρότυπα. Με δεδομένο ότι η αγορά των WLAN ωριμάζει σταδιακά, έχει μεγάλη σημασία η συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα. Οι εφαρμογές σχεδίων και προϊόντων που βασίζονται σε νέες ιδέες είναι πάντα ευπρόσδεκτες, υπό τον όρο ότι αποτελούν προαιρετικές επεκτάσεις δεδομένου προτύπου.

### **1.12 Εφαρμογές ασύρματων τοπικών δικτύων**

Αρκετές είναι οι εφαρμογές των ασύρματων τοπικών δικτύων στην εποχή μας, και κάποιες από αυτές είναι :

- Επέκταση τοπικού δικτύου.
- Δια-κτιριακή Διασύνδεση Τοπικών Δικτύων.
- Νομαδική πρόσβαση .

#### **1.12.1 Επέκταση τοπικού δικτύου**

Με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο αποφεύγονται τα διάφορα έξοδα που σχετίζονται με την εγκατάσταση της καλωδίωσης και παράλληλα διευκολύνονται οι λειτουργίες της αναδιάρθρωσης-ανακατάταξης της δικτυακής υποδομής.

Τα περιβάλλοντα στα οποία τα ασύρματα τοπικά δίκτυα αποτελούν καλύτερη λύση από ένα ενσύρματο δίκτυο είναι:

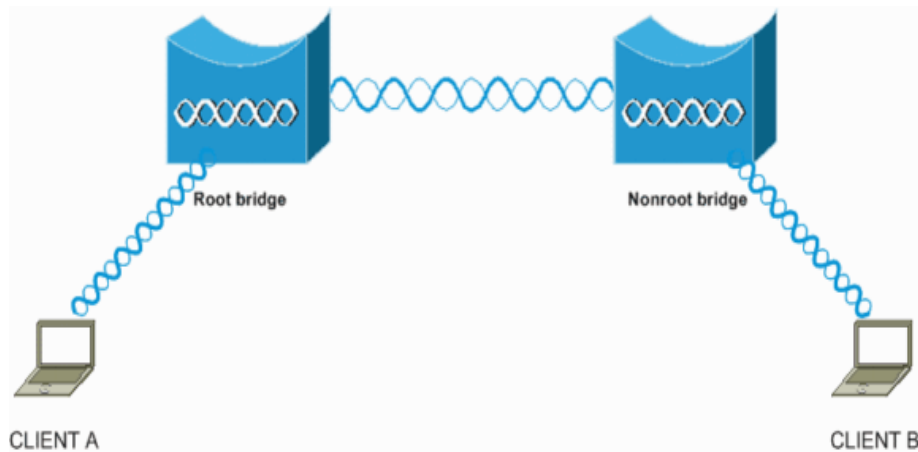
- Περιβάλλοντα μεγάλων εκτάσεων, όπως οι χώροι παραγωγής ενός εργοστασίου ή μιας αποθήκης.
- Πολύ παλιά κτίρια, όπου η καλωδίωση είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα ιστορικά διατηρητέα κτίρια στα οποία απαγορεύεται η διάνοιξη καινούργιων οπών για τη διέλευση καλωδίων.
- Μικρά γραφεία, όπου η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός ενσύρματου δικτύου είναι οικονομικά ασύμφορη.

Το ασύρματο δίκτυο αποτελεί μια αποδοτική λύση. Σε αρκετές περιπτώσεις θα υπάρχει και ένα ενσύρματο δίκτυο το οποίο θα πρέπει να διασυνδεθεί με ένα ασύρματο δίκτυο. Για παράδειγμα είναι πολύ συνηθισμένο μια εργοστασιακή επιχείρηση να αποτελείται από ένα χώρο γραφείων, ο οποίος βρίσκεται ξεχωριστά από το χώρο παραγωγής, αλλά πρέπει να είναι συνδεδεμένος με αυτόν, έτσι ώστε να περιέχονται δικτυακές υπηρεσίες στο προσωπικό (π.χ παρακολούθηση των χώρων λειτουργίας από τον επόπτη, ηλεκτρονική διαχείριση της αποθήκης κ.α). Η λύση στην περίπτωση αυτή είναι η σύνδεση ενός ενσύρματου μ' ένα ασύρματο

τοπικό δίκτυο. Ο τύπος της εφαρμογής των ασύρματων τοπικών δικτύων αναφέρεται ως επέκταση τοπικού δικτύου.

### 1.12.2 Δια-κτιριακή διασύνδεση τοπικών δικτύων

Η διασύνδεση δυο ή περισσότερων αυτόνομων τοπικών δικτύων που βρίσκονται σε διαφορετικούς χώρους (διαφορετικά κτιριακά συγκροτήματα) είναι δύσκολο να τα ενώσουμε με μια οπτική ίνα (λόγω εδάφους, κόστος, αδειών κ.τ.λ) συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε ασύρματες μεθόδους. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται μια ασύρματη σύνδεση από σημείο-σε-σημείο (wireless point-to-point link) μεταξύ των δυο κτιρίων. Οι συσκευές που συνήθως διασυνδέονται είναι γέφυρες ή δρομολογητές.



**Εικόνα 1.11:** Δια- κτιριακή διασύνδεση

### 1.12.3 Νομαδική Πρόσβαση.

Η νομαδική πρόσβαση παρέχει μια ασύρματη σύνδεση μεταξύ ενός τοπικού δικτύου και ενός φορητού υπολογιστή, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με μια κεραία, όπως είναι ένα Laptop ή ένα Notepad. Ένα παράδειγμα χρήσης μιας τέτοιου είδους σύνδεσης είναι να μπορεί ένας υπάλληλος ο οποίος βρίσκεται εκτός γραφείου να μεταφέρει πληροφορίες από τον προσωπικό του υπολογιστή στον υπολογιστή του γραφείου του. Η νομαδική πρόσβαση είναι επίσης και σε χώρους όπως μια επιχείρηση, ή μια πανεπιστημιούπολη, στους οποίους τα κτήρια βρίσκονται συγκεντρωμένα ανά ομάδες. Στις περιπτώσεις αυτές, οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται στο χώρο της επιχείρησης ή του πανεπιστημίου και με τους φορητούς υπολογιστές τους να προσπελαίνουν αρχεία των servers και των υπολογιστών που βρίσκονται συνδεδεμένοι σε κάποιο τοπικό δίκτυο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2. ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

#### 2.1 Εισαγωγή

Το 802.11 είναι μια οικογένεια πρωτοκόλλων που περιγράφουν τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων. Το 802.11 καλύπτει το φυσικό επίπεδο (PHY, Physical Layer) και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC, Medium Access Control) του μοντέλου OSI. Τα πρωτοκόλλα αυτά αναπτύσσονται από την IEEE γεγονός που είναι σημαντικό για τη διαλειτουργικότητα, δηλαδή την ικανότητα συνεργασίας των συσκευών που το ακολουθούν.

Ο σκοπός των προτύπων είναι να επιτρέπουν σε φορητές συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές και προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs) να συνδέονται σε τοπικά δίκτυα, αλλά τώρα χρησιμοποιείται συχνά για πρόσβαση στο Διαδίκτυο και ασύρματα VoIP τηλεφώνια.

#### 2.2 Πρότυπα της οικογένειας του IEEE 802.11

##### 2.2.1 IEEE 802.11

Το πρώτο πρότυπο για ασύρματη δικτυωση, δημοσιεύτηκε απ' την IEEE έπειτα από 7 χρόνια μελέτης, το 1997. Το συγκεκριμένο πρότυπο προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης από 1 έως 2 Mbps. Όσον αφορά στο φυσικό επίπεδο χρησιμοποιεί είτε τεχνική FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) είτε DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) σε ζώνες συχνοτήτων 915 MHz, 2.4 GHz και 5.2 GHz ή υπέρυθρη μετάδοση στα 850 nm έως 900 nm.

##### 2.2.2 IEEE 802.11b

Το πρότυπο 802.11 παρείχε χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων με αρκετά υψηλό κόστος. Το πρότυπο που διαδέχτηκε το 802.11 ήταν το πρότυπο 802.11b όπου επικυρώθηκε από την IEEE τον Ιούλιο του 1999 και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz. Η μέθοδος διαμόρφωσης που έχει επιλεγεί για το 802.11b είναι η Τεχνική Ευρέως Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας (DSSS) η οποία χρησιμοποιεί τη Συμπληρωματική Διαμόρφωση Κώδικα (Complementary Code Keying- CCK), καθιστώντας έτσι δυνατή την επίτευξη ταχυτήτων έως 11 Mbps.

Είναι το πιο δημοφιλές από όλα τα πρότυπα έχοντας τη μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα και αποτελεσματικότητα. Οι προσθήκες του 802.11b σε σχέση με την 802.11 αφορούν μόνο τον τρόπο μετάδοσης, ενώ ο τρόπος πρόσβασης των συσκευών και οι τρόποι λειτουργίας μένουν ίδιοι.

Μια συσκευή που εργάζεται ακολουθώντας το 802.11b, υλοποιεί και τους τρόπους μετάδοσης του 802.11 και έτσι είναι συμβατή με αυτό. Καινούργιες συσκευές θα μπορούν να συνεργαστούν και με παλιότερες, προκειμένου να μην αναγκαστεί ο καταναλωτής να αλλάξει εξ ολοκλήρου τον εξοπλισμό του.

### **2.2.3 IEEE 802.11a**

Το 802.11a ανακοινώθηκε το 2001 αν και είχε επικυρωθεί ήδη από το 1999. Το πρωτόκολλο λειτουργεί σε συχνότητα των 5 GHz και με ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 54 Mbps. Αυτό καθίσταται δυνατό λόγω της τεχνικής πολυπλεξίας OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η επέκταση αυτή αποσκοπούσε να καλύψει την ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης.

Το 802.11a χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 300 MHz όπου χωρίζεται σε τρεις περιοχές των 100 MHz και σε κάθε περιοχή ορίζεται μέγιστη ισχύ εκπομπής. Η «χαμηλή» ζώνη λειτουργεί από τα 5,15 έως τα 5,25 GHz, με τις συσκευές που χρησιμοποιούν αυτή τη ζώνη να παράγουν σήματα ισχύος 50 mW. Η «μεσαία» ζώνη βρίσκεται στην περιοχή 5,25-5,35 GHz, με μέγιστη ισχύ τα 250 mW. Η «υψηλή» ζώνη χρησιμοποιεί την περιοχή 5,72-5,82 GHz, με μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ το 1W. Οι χαμηλές και μεσαίες ζώνες μοιάζουν καταλληλότερες για χρήση σε οικιακά προϊόντα. Μια απαίτηση που αφορά τη χαμηλή ζώνη λειτουργίας είναι ότι όλες οι συσκευές πρέπει να χρησιμοποιούν ενσωματωμένες κεραίες.

### **2.2.4 IEEE 802.11g**

Το 802.11g είναι το τελευταίο πρότυπο ασύρματης δικτυωσης και το οποίο έχει επικυρωθεί πρόσφατα. Το 802.11g αποτελεί επέκταση του 802.11b επιτρέποντας ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 54Mbps και λειτουργεί σε συχνότητα των 2,4 GHz. Το πρότυπο 802.11g βασίζεται στην τεχνική πολυπλεξίας OFDM η οποία θα παρέχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 54 Mbps. Μέχρι πρόσφατα, η επιτροπή FCC των ΗΠΑ απαγόρευε τη χρήση της OFDM στη ζώνη των 2,4 GHz.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του 802.11g είναι η συμβατότητα του με το 802.11b. Το 802.11b ως γνωστών αποτελεί το φυσικό στρώμα που υλοποιείται στα περισσότερα προϊόντα ασύρματης δικτυωσης.

Σημειώνεται τέλος ότι προϊόντα που βασίζονται στο 802.11g είχαν αρχίσει να κυκλοφορούν στην αγορά αρκετά πριν την ανακοίνωση του τελικού προτύπου. Βασίζονταν σε ενδιάμεσες εκδόσεις του προτύπου και οι κατασκευαστές τους υπόσχονταν πλήρη συμβατότητα με την τελική μορφή.

### **2.2.5 IEEE 802.11c**

Το 802.11c παρέχει απαραίτητες πληροφορίες για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία των bridges. Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιούνται κυρίως από τους κατασκευαστές σημείων πρόσβασης ώστε να εξασφαλίζεται η διαλειτουργικότητα τους με συσκευές άλλων κατασκευαστών.

### **2.2.6 IEEE 802.11d**

Η ομάδα εργασίας 802.11d έχει αναλάβει την εργασία να καθορίσει τις απαιτήσεις του φυσικού επιπέδου καθώς και να καταγράψει το νομικό πλαίσιο που ισχύει για τη χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων σε διάφορες χώρες ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν προϊόντα που θα λειτουργούν σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

### **2.2.7 IEEE 802.11e**

Χωρίς καλό QoS (Quality of Service) το αρχικό πρωτόκολλο 802.11 δεν βελτιστοποιεί την μετάδοση φωνής και video. Αυτό ακριβώς το μειονέκτημα έρχεται να καλύψει η ομάδα εργασίας 802.11e τροποποιώντας το υποεπίπεδο MAC και βελτιώνοντας το QoS του πρωτοκόλλου.

### **2.2.8 IEEE 802.11f**

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα προτείνει τον καθορισμό των απαραίτητων πληροφοριών που πρέπει να ανταλλάσσονται μεταξύ των σημείων πρόσβασης του προτύπου 802.11.

### **2.2.9 IEEE 802.11h**

Η προδιαγραφή αυτή είναι συμπληρωματική του υποεπιπέδου MAC και συμμορφώνεται με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων στα 5GHz. Συγκεκριμένα οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί απαιτούν για τις συσκευές που λειτουργούν σε αυτή την ζώνη συχνοτήτων να έχουν δυνατότητες ελέγχου εκπεμπόμενης ισχύος (Transmission Power Control) και δυναμικής επιλογής συχνότητας (Dynamic Frequency Selection).

### **2.2.10 IEEE 802.11i**

Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφαλείας που βρέθηκαν στο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP(Wired Equivalent Privacy) του 802.11[3].

### **2.2.11 IEEE 802.11j**

Ειδικά σχεδιασμένο για την Ιαπωνική αγορά. Τελειοποιήθηκε το 2004. Το πρωτόκολλο αυτό λειτουργεί στα 5GHz ώστε να συμμορφώνεται με τους Ιαπωνικούς κανόνες για λειτουργία ραδιοκυμάτων σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Το 802.11j καθορίζει τις μεθόδους που επιτρέπουν στα APs να κινηθούν σε νέες συχνότητες ή να αλλάξουν το πλάτος των καναλιών για καλύτερη απόδοση ή χωρητικότητα, π,χ για να αποφύγει τις παρεμβολές με άλλες ασύρματες εφαρμογές.

### **2.2.12 IEEE 802.11k**

Το 802.11k είναι το προτεινόμενο πρότυπο για τη διαχείριση των πόρων της ασύρματης επικοινωνίας. Τα IEEE 802.11 και IEEE 802.11r είναι τα βασικά πρότυπα βιομηχανίας. Το πρότυπο 802.11k παρέχει τις πληροφορίες για να βρεθεί το καλύτερο δυνατό σημείο πρόσβασης.

### **2.2.13 IEEE 802.11m**

Συντήρηση του IEEE 802.11 πρότυπο, με τεχνικές και συντακτικές διορθώσεις.

### 2.2.14 IEEE 802.11n

Το νέο πρότυπο της ασύρματης τοπικής δικτυωσης το οποίο αναπτύσσεται από τον οργανισμό IEEE ονομάζεται 802.11n και ακόμα βρίσκεται στο στάδιο του σχεδιασμού. Το νέο αυτό πρότυπο υπόσχεται σημαντικά γρηγορότερες ταχύτητες μετάδοσης και θα υποστηρίξει εφαρμογές πολυμέσων και τηλεφωνίας. Υπολογίζεται ότι η ταχύτητα του 802.11n θα είναι στα 100 Mbit/s.

Στον Πίνακα 1 διαφαίνονται τα χαρακτηριστικά των τριών σημαντικότερων προτύπων και στον Πίνακα 2 μια σύντομη περιγραφή για κάθε πρότυπο.

**Πίνακας 1:** Βασικά χαρακτηριστικά βασικών προτύπων

<b>Πρότυπο</b>	<b>Ραδιοσυχνότητα</b>	<b>Πολυπλεξία</b>	<b>Μέγιστη Κάλυψη</b>	<b>Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης</b>
802.11b	2.4 GHz	DSSS	100μ	11 Mbps
802.11a	5 GHz	OFDM	50μ	54 Mbps
802.11g	2.4 GHz	OFDM	100μ	54 Mbps

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Το 802.11b, έχει κατασκευαστεί για να χρησιμοποιείται σε υλοποιήσεις τοπικών δικτύων, που εκτείνονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση και στα οποία δεν χρειάζεται να τρέχουν εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων σε εύρος ζώνης. Επίσης το κόστος υλοποίησης του είναι αρκετά χαμηλό σε σχέση με το 802.11a.
- Από την άλλη το 802.11a, είναι κατάλληλο για τη δημιουργία τοπικών δικτύων περιορισμένης εμβέλειας στα οποία υφίστανται εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων σε εύρος ζώνης (όπως φωνής και video). Κύριο μειονέκτημα του είναι ότι δεν είναι συμβατό με το 802.11b, ενώ παράλληλα έχει υψηλό κόστος υλοποίησης.
- Τέλος το 802.11g, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το στήσιμο δικτύων μεγάλης εμβελείας με αυξημένες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Αυτό είναι πλήρως συμβατό με το 802.11b.

## Πίνακας 2: Τα IEEE πρότυπα

Πρότυπο	Περιγραφή
802.11	Το αρχικό πρότυπο "WLAN. Υποστηρίζει ταχύτητες από 1 έως 2 Mbps.
802.11a	Πρότυπο WLAN υψηλής ταχύτητας για τη ζώνη των 5GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες έως 54 Mbps.
802.11b	Πρότυπο WLAN για τη ζώνη των 2,4 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες έως 11 Mbps.
802.11c	Λειτουργία γεφύρωση (bridging) πλαισίων 802.11
802.11e	Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών για τα WLAN.
802.11f	Ορισμός επικοινωνίας μεταξύ των σημείων πρόσβασης προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία πολλών καταναμημένων WLANs.
802.11g	Καθιέρωση επιπλέον τεχνικής διαμόρφωσης στη ζώνη των 2.4 GHz με σκοπό την επίτευξη ταχυτήτων έως 54 Mbps.
802.11h	Επιλύει θέματα παρεμβολών.
802.11i	Αναφορά στις αδυναμίες ασφάλειας των πρωτοκόλλων πιστοποίησης και κωδικοποίησης.
802.11j	Επεκτάσεις για την Ιαπωνία.
802.11k	Βελτιώνει τον τρόπο που η πληροφορία διανέμεται σε ένα δίκτυο.
802.11m	Συντήρηση – προστασία του προτύπου 802.11.
802.11n	Πρότυπο βελτίωσης του 802.11g
802.11p	Ασύρματη πρόσβαση κινούμενων οχημάτων
802.11r	Γρήγορο roaming

### 2.3 Ακτίνα κάλυψης και επιδόσεις ασυρμάτων τοπικών δικτύων

Η ταχύτητα μιας ζεύξης τύπου WLAN εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, από την αποδοτικότητα του ενσύρματου δικτύου που συνδέει τα σημεία πρόσβασης, μέχρι τη δομή του κτιρίου που έχει εγκατασταθεί και το πρότυπο που χρησιμοποιείται.



Τα πρότυπα 802.11 υποστηρίζουν διάφορους ρυθμούς μετάδοσης, προκειμένου να προσαρμόζονται στην απώλεια ισχύος των σημάτων και να διατηρούν υψηλή την ποιότητα συναρμολόγησης των πακέτων δεδομένων. Ο χρήστης του WLAN εκτελεί συνεχώς διαδικασίες που ανιχνεύουν και θέτουν αυτόματα την καλύτερη δυνατή ταχύτητα

Οι ασύρματες γέφυρες (wireless bridges) που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση δυο σημείων με βάση τα προαναφερόμενα πρότυπα ή συμμορφωμένα με τα πρότυπα μπορούν να καλύψουν ζεύξεις από μερικές εκατοντάδες μετρά έως μερικά χιλιόμετρα ανάλογα την απολαβή της χρησιμοποιούμενης κεραίας και τον κατασκευαστή.

## **2.4 Χαρακτηριστικά του IEEE 802.11**

Η ζώνη των 2.4 GHz γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής σήμερα. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι πρόκειται για ελεύθερη ζώνη και έχει κατάλληλα χαρακτηριστικά για μετάδοση σε μικρές αποστάσεις.

### **2.4.1 Παρεμβολές ραδιοσημάτων**

Η διαδικασία της εκπομπής και λήψης ραδιοσημάτων και σημάτων laser μέσω του αέρα καθιστά τα ασύρματα συστήματα ευπαθή από τον θόρυβο της ατμόσφαιρας και από τις μεταδόσεις άλλων συστημάτων που λειτουργούν στην ίδια μπάντα συχνοτήτων και λειτουργούν στον ίδιο φυσικό χώρο. Οι παρεμβολές από ραδιοσηματα χωρίζονται σε:

Εσωτερικές (inward): Οι παρεμβολές αυτές προέρχονται από τις μεταδόσεις συστημάτων που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες με αυτές ενός WLAN με το οποίο βρίσκονται στην ίδια περιοχή. Για παράδειγμα, πολλές συσκευές WLAN λειτουργούν στην περιοχή των 2.4 GHz, στην οποία λειτουργούν και οι φούρνοι μικροκυμάτων με αποτέλεσμα η μια συσκευή να παρεμβάλλεται στην άλλη, γεγονός που οδηγεί σε καθυστερήσεις και σφάλματα στην μετάδοση

Εξωτερικές (outward): Οι παρεμβολές αυτού του είδους προκύπτουν όταν το σήμα ενός ασύρματου δικτύου διακόπτει την μετάδοση ενός άλλου γειτονικού ασύρματου συστήματος. Οι παρεμβολές αυτές είναι σπάνιες καθώς τα προϊόντα WLAN λειτουργούν, συνήθως, με ιδιαίτερα χαμηλή ισχύ.

### **2.4.2 Εμβέλεια**

Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μετρά. Τα ραδιοκύματα σε εσωτερικό χώρο, έχουν να διαπεράσουν τοίχους και οροφές, οπότε υφίστανται σημαντικές απώλειες. Δηλαδή όταν ένα ραδιοκύμα προσπέσει σε ένα τοίχο, ένα μέρος της ισχύος του θα απορροφηθεί από το υλικό του τοίχου και ένα μόνο κομμάτι θα μπορέσει να τον διαπεράσει. Επίσης το σήμα θα ανακλαστεί στις περιβάλλουσες επιφάνειες, με αποτέλεσμα ένας αριθμός από αντίγραφα του αρχικού σήματος-όλα με διαφορετικά πλάτη και φάσεις- να φτάσει στον δέκτη . Από την άθροιση τους μπορεί να προκύψει αλληλοαναίρεση και το τελικό σήμα να έχει πολύ μικρότερη ισχύ με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας της ζεύξης. Σε περιβάλλον όπου υπάρχει οπτική επαφή, σε εξωτερικό χώρο, η εμβέλεια του ασύρματου δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερη και εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής, την ευαισθησία του δέκτη, τις κεραίες την απόσταση, την ευθυγράμμιση τους των κεραιών, το επίπεδο παρεμβολών και θορύβου.

### **2.4.3 Ρυθμός μετάδοσης**

Η πραγματική διαπερατότητα του συστήματος εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως οι παράμετροι ραδιομετάδοσης (εμβέλεια, ανακλάσεις και απορρόφηση), όπως και από τον αριθμό των χρηστών. Για τις περισσότερες εφαρμογές το bandwidth είναι επαρκές.

### **2.4.4 Ποιότητα επικοινωνίας**

Έχοντας πίσω τους μισό αιώνα σε εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές, οι ασύρματες τεχνολογίες έχουν γίνει πολύ στιβαρές και αξιόπιστες. Έτσι μπορούν να παρέχουν στους χρήστες τους αξιόπιστες συνδέσεις και σε καλύτερο επίπεδο από ότι οι αντίστοιχες στην κινητή τηλεφωνία.

### **2.4.5 Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο**

Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα έχουν προτυποποιημένο τρόπο διασύνδεσης με τα ενσύρματα δίκτυα. Έτσι η προσθήκη ασύρματης δικτυωσης, σε υπάρχουσες δομές δικτύων, μπορεί να γίνει με τον ευκολότερο τρόπο. Συστήματα διαχείρισης επιβλέπουν τους ασύρματους κόμβους όπως και οποιοδήποτε άλλο στοιχείο ελέγχου.

## **2.5 Το IEEE 802.11b ή Wi-Fi**

Το Wi-Fi προέρχεται από τα αρχικά των " Wireless Fidelity " (Ψηφιακή Πιστότητα) και έχει επικρατήσει σαν όρος για το υψηλής ταχύτητας ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN). Βασικά αποτελεί έναν ασύρματο τρόπο διασύνδεσης, ενώ δίνει την δυνατότητα σύνδεσης και με το Internet.

Οι επιτραπέζιοι υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιούν Wi-Fi, επιτρέποντας σε γραφεία και σπίτια να δικτυώνονται χωρίς ακριβή καλωδίωση. Σχεδόν όλοι οι υπολογιστές πωλούνται σήμερα με ενσωματωμένο Wi-Fi ενώ άλλοι χρειάζονται την προσθήκη κάρτας δικτύου Wi-Fi. Και κάποιες άλλες συσκευές όπως για παράδειγμα οι ψηφιακές κάμερες είναι εξοπλισμένες με Wi-Fi.

Μια λειτουργική Wi-Fi συσκευή είναι ικανή να συνδέεται σε ένα τοπικό δίκτυο όταν βρίσκεται κοντά σε ένα από τα σημεία πρόσβασης του δικτύου. Η σύνδεση γίνεται μέσω ραδιοσημάτων. Η γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης ονομάζεται hotspot. Η εμβέλεια ενός σημείου πρόσβασης ποικίλει. Το σημείο πρόσβασης που βρίσκεται σε ένα τυπικό Wi-Fi δρομολόγηση μπορεί να έχει εμβέλεια 45 μέτρων εσωτερικά και 90 μέτρα εξωτερικά.

Το Wi-Fi ελέγχεται από την Ένωση Wi-Fi, τον εμπορικό οργανισμό που δοκιμάζει και πιστοποιεί την συμβατότητα του εξοπλισμού με τα στάνταρ IEEE 802.11. Πιστοποιημένα προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιούν το επίσημο Wi-Fi λογότυπο, το οποίο υποδεικνύει ότι το προϊόν συνεργάζεται με οποιοδήποτε προϊόν που έχει το ίδιο λογότυπο.

### **2.5.1 Ελεύθερο Wi-Fi**

Λειτουργία ελεύθερης άδειας: Προφανώς οι χρήστες προτιμούν να αγοράζουν και να χρησιμοποιούν ασύρματα προϊόντα χωρίς την ανάγκη εξασφάλισης άδειας για τη χρησιμοποιούμενη ζώνη συχνοτήτων.

Κάποιες μικρές χώρες και δήμοι ήδη παρέχουν ελεύθερα Wi-Fi hotspots και ελεύθερη τοπική Wi-Fi πρόσβαση στο Διαδίκτυο στον καθένα. Πολλά πανεπιστήμια παρέχουν ελεύθερη πρόσβαση στο Διαδίκτυο στους φοιτητές, στους επισκέπτες τους και στον καθένα στον Πανεπιστημιακό χώρο. Παρόμοια κάποιες εμπορικές εταιρίες παρέχουν ελεύθερη πρόσβαση σε τακτικούς πελάτες.

Η Ελλάδα έχει τις δικές της ασύρματες κοινότητες, που στήνουν το ανεξάρτητο δίκτυο τους, στηριγμένο στο WiFi, εξασφαλίζοντας φθηνή επικοινωνία.

Τέτοια δίκτυα (community networks) υπάρχουν σε αρκετές ελληνικές πόλεις και γίνεται προσπάθεια για τη διαμόρφωση πανελληνίου δικτύου. Στη χώρα μας, οι επίσημοι κόμβοι Wi-Fi έχουν πλέον αυξηθεί κατά πολύ (κυρίως στα αστικά κέντρα).

Το Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο Αθηνών (A.W.M.N: Athens Wireless Metropolitan Network) είναι το μεγαλύτερο Ασυρματικό Κοινοτικό Δίκτυο στην Ελλάδα, το οποίο κάνοντας χρήση νέων τεχνολογιών ασύρματης δικτυωσής WiFi, συνδέει ανθρώπους και υπηρεσίες σε ένα ενιαίο δίκτυο. Τα μέλη του AWMN είναι κομβοχιοι που συνθέτουν ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Το ασύρματο δίκτυο υλοποιείται με τεχνολογία IEEE 802.11a/b, χρησιμοποιώντας εξοπλισμό από πληθώρα κατασκευαστών, με δυναμικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, σε ένα πλήθος υλοποιήσεων - διαρθρώσεων. Για την υλοποίηση των υπηρεσιών, χρησιμοποιεί ένα πλήθος από λειτουργικά συστήματα, με προτίμηση στο ελεύθερο λογισμικό το οποίο βοηθά να επιτευχθεί η επιθυμητή σταθερότητα και ευελιξία. Στοχεύει στη διαφήμιση και προβολή των ασύρματων τηλεπικοινωνιών στο κοινό και η προώθηση της ιδέας παροχής ευζωνικών υπηρεσιών αμφίδρομης ψηφιακής τηλεπικοινωνίας, με μη κερδοσκοπικό χαρακτήρα, σε συνεργασία με άλλες ασύρματες κοινότητες στην Ελλάδα, με εκπαιδευτικά ιδρύματα και άλλους οργανισμούς.[4]

## **2.5.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Wi-Fi**

### **Πλεονεκτήματα:**

- Σε αντίθεση με τα συστήματα packet radio το Wi-Fi χρησιμοποιεί μη κατοχυρωμένο ραδιοφάσμα και δε χρειάζεται έγκριση των αρχών για ιδιωτική ανάπτυξη.
- Επιτρέπει στα LANs να αναπτυχθούν χωρίς καλωδίωση, πιθανώς μειώνοντας το κόστος της ανάπτυξης και επέκτασης του δικτύου. Μέρη όπου τα καλώδια δεν μπορούν να υπάρχουν όπως εξωτερικές περιοχές και ιστορικά κτίρια, μπορούν να φιλοξενήσουν ασύρματα δίκτυα.
- Προϊόντα WiFi χρησιμοποιούνται μαζικά στην αγορά.
- Ο ανταγωνισμός μεταξύ των πωλητών έχει μειώσει τις τιμές σημαντικά από τη κυκλοφορία τους.

- Πολλά δίκτυα WiFi υποστηρίζουν το roaming, στο οποίο μια φορητή συσκευή πελάτη όπως ένας φορητός υπολογιστής, μπορεί να μετακινηθεί από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο καθώς ο χρήστης μετακινείται σε ένα κτίριο ή σε μια περιοχή.
- Πολλά σημεία πρόσβασης και διεπαφές δικτύων υποστηρίζουν διάφορα επίπεδα κρυπτογράφησης για να προστατέψουν τα δεδομένα από υποκλοπή.

#### **Μειονεκτήματα :**

- Η χρησιμοποίηση της συχνότητας των 2.4 GHz από το Wifi δεν απαιτεί άδεια από τον περισσότερο κόσμο με την προϋπόθεση ότι κάποιος μένει κάτω από τα θεσμοθετημένα τυπικά όρια και με την προϋπόθεση ότι κάποιος δέχεται παρεμβολές από άλλες πηγές, συμπεριλαμβανομένων παρεμβολές που προκαλούν τη δυσλειτουργία των συσκευών του.
- Το 802.11 b και 802.11g χρησιμοποιούν το φάσμα των 2.4 GHz, στο οποίο υπάρχει συνωστισμός από άλλες συσκευές όπως το Bluetooth, ασύρματα τηλέφωνα (τα 900MHz ή τα 5.8GHz είναι εναλλακτικές συχνότητες τηλεφωνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποφυγή παρεμβολών με ένα Wi-Fi δίκτυο) και συσκευές αποστολής βίντεο ανάμεσα σε πολλές άλλες. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μια στατική μείωση στην απόδοση. Άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν αυτές τις συχνότητες μικροκυμάτων μπορούν επίσης να προκαλέσουν σταδιακή μείωση στην απόδοση.
- Κλειστά σημεία πρόσβασης μπορούν να παρεμβάλλονται με σωστά ρυθμισμένα ανοιχτά σημεία πρόσβασης στην ίδια συχνότητα, εμποδίζοντας την λειτουργία των ανοιχτών σημείων πρόσβασης από άλλους.

#### **2.6 Ασφάλεια**

Ο εξοπλισμός Wi-Fi μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κλοπή προσωπικών πληροφοριών (κωδικών, οικονομικών δεδομένων, δεδομένων αναγνώρισης κτλ) που μεταδίδονται από χρήστες Wi-Fi, αν δεν χρησιμοποιούνται λογικές προστασίες. Το πρώτο και πιο κοινό στανταρ ασύρματης κρυπτογράφησης το WEP (Wired Equivalent Privacy), έχει αποδειχθεί ότι παραβιάζεται εύκολα ακόμα και όταν είναι σωστά ρυθμισμένο. Τα περισσότερα ασύρματα προϊόντα

στην αγορά υποστηρίζουν το WPA (Wi-Fi Protected Access) πρωτόκολλο κρυπτογράφησης που θεωρείται πολύ πιο δυνατό, αν και κάποια παλιότερα σημεία πρόσβασης πρέπει να αντικατασταθούν για να το υποστηρίξουν. Η υιοθέτηση του στάνταρ 802.11i (με εμπορικό όνομα WPA2) κάνει δυνατό ένα καλύτερο σύστημα προστασίας όταν είναι καλά ρυθμισμένο. Από τα μέσα του 2005, τα Microsoft Windows XP και το MAC OS υποστηρίζουν το WPA2, αλλά μόνο στον πιο σύγχρονο εξοπλισμό. Καλύτερα στάνταρ περιμένουμε να γίνουν διαθέσιμα, πολλές είναι οι επιχειρήσεις που έχουν επιλέξει να αναπτύξουν επιπλέον βαθμίδες κρυπτογράφησης (όπως τα VPNS) για να προστατευτούν από υποκλοπές.

Υπάρχουν πολλές αναφορές ότι η αλληλεπίδραση ενός κλειστού ή κρυπτογραφημένου σημείου πρόσβασης με άλλα ανοιχτά σημεία πρόσβασης στα ίδια ή σε γειτονικά κανάλια μπορεί να αποτρέψει την πρόσβαση στα ανοιχτά σημεία πρόσβασης από άλλους στην περιοχή. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως τα μεγάλα συγκροτήματα πολυκατοικιών, όπου πολλοί κάτοικοι χρησιμοποιούν Wi-Fi σημεία πρόσβασης.

Μεγάλες επιχειρήσεις συχνά ανησυχούν για το ρίσκο της ασφάλειας σε ένα ασφαλές εταιρικό δίκτυο από ένα μη εξουσιοδοτημένο ασύρματο σημείο πρόσβασης, επίσης γνωστό ως rogue σημείο πρόσβασης. Για να εξαλείψουμε το πιθανό ρίσκο των rogue σημείων πρόσβασης κάποιοι μεγάλοι οργανισμοί άρχισαν (από το 2005) να εγκαθιστούν ασύρματα συστήματα ανίχνευσης εισβολών. Αυτά τα συστήματα είναι σχεδιασμένα να ελέγχουν για ασύρματα σήματα και να αναφέρουν αμέσως την παρουσία μη εξουσιοδοτημένων σημείων πρόσβασης.

## **2.7 Πρότυπο HIPERLAN**

Εκτός από το πρότυπο IEEE 802.11, αναπτύχθηκε από την ομάδα RES 10 του Ευρωπαϊκού Ιδρύματος Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (European Telecommunications Standards Institute. ETSI) και ένα άλλο πρότυπο για WLAN, το ασύρματο τοπικό δίκτυο υψηλής απόδοσης (High Performance Radio LAN, HIPERLAN) ως το πανευρωπαϊκό πρότυπο για δίκτυα WLAN υψηλής ταχύτητας. Το πρότυπο HIPERLAN 1, όπως και το 802.11, καλύπτει το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC, παρέχοντας ρυθμούς μετάδοσης

δεδομένων μεταξύ 2 και 25 Mbps με χρήση των παραδοσιακών τεχνικών ασύρματης διαμόρφωσης στη ζώνη συχνοτήτων των 5,2 GHz. Με την ολοκλήρωση του προτύπου HIPERLAN 1, το ίδρυμα ETSI αποφάσισε να συγχωνεύσει τις εργασίες για τον ασύρματο τοπικό βρόχο (Radio Local Loop) και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Radio LAN) μέσω του προγράμματος για τα ευρυζωνικά ραδιοδίκτυα πρόσβασης (BRAN). Αυτό το πρόγραμμα στοχεύει στον καθορισμό προτύπων για ασύρματο ATM (HIPERLAN 2,3,4). Η οικογένεια προτύπων HIPERLAN παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3:** Η οικογένεια προτύπων ETSI HIPERLAN

	<b>HIPERLAN 1</b>	<b>HIPERLAN 2</b>	<b>HIPERLAN 3</b>	<b>HIPERLAN 4</b>
Εφαρμογή	WLAN	WATM Εσωτερική πρόσβαση	Σταθερή ασύρματη πρόσβαση – απομακρυσμέ νη πρόσβαση WATM	Ασύρματες συνδέσεις προς σημείο – διασύνδεση WATM
Ζώνη συχνοτήτων Μεγ.	5 GHz	5 GHz	5 GHz	17 GHz
Ρυθμός μετάδοσης	23,5 Mbps	20 Mbps	20 Mbps	155 Mbps

### 2.7.1 Το υποεπιπεδο MAC του προτύπου HIPERLAN 1

Το πρότυπο HIPERLAN 1 οριστικοποιήθηκε το 1995 με στόχο τον καθορισμό μιας τεχνολογίας ασύρματων τοπικών δικτύων με απόδοση ίση με εκείνη των παραδοσιακών ενσύρματων τοπικών δικτύων και ικανή να υποστηρίξει ισόχρονες υπηρεσίες. Αντίθετα με το πρότυπο IEEE 802.11, η επιτροπή HIPERLAN δεν καθοδηγήθηκε από ισχύουσες τεχνολογίες και κανονισμούς. Απλώς έθεσε ένα σύνολο απαιτήσεων και ξεκίνησε να τις ικανοποιήσει. Το πρότυπο καλύπτει το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο MAC του μοντέλου OSI.

Οι λειτουργίες του ελέγχου πρόσβασης στο μέσο διαιρούνται σε δυο τμήματα, τα οποία αναφέρονται ως υποεπιπεδο πρόσβασης και ελέγχου καναλιού (Channel Access and Control, CAC) και υποεπιπεδο MAC. Το υποεπιπεδο CAC καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να γίνεται μια προσπάθεια πρόσβασης

στο κανάλι ανάλογα με το αν το κανάλι είναι απασχολημένο ή όχι, καθώς και το επίπεδο προτεραιότητας της συγκεκριμένης προσπάθειας – εφόσον απαιτείται διεκδίκηση του μέσου. Το υποεπίπεδο MAC του HIPERLAN καθορίζει διάφορα πρωτόκολλα που παρέχουν τις δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας, αναζήτηση, ασφάλεια, και δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών, καθώς επίσης και την υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων προς τα ανώτερα επίπεδα πρωτοκόλλων. Ο μηχανισμός δρομολόγησης παρέχει στους κόμβους ενός δικτύου HIPERLAN τη δυνατότητα να προωθούν πακέτα προς σταθμούς που βρίσκονται εκτός εμβέλειας με τη βοήθεια ενδιάμεσων σταθμών προώθησης. Η λειτουργία της αναζήτησης επιτρέπει τη συνύπαρξη στην ίδια περιοχή περισσότερων από ενός δικτύων HIPERLAN. Τέλος το συγκεκριμένο πρότυπο υποστηρίζει καθορισμό προτεραιοτήτων, εξοικονόμηση ενέργειας και κρυπτογράφηση.

#### **2.7.1.1 Μηχανισμός προτεραιοτήτων και υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών (QoS)**

Αν και το πρότυπο HIPERLAN 1 δεν καθορίζει διαφορετικές προτεραιότητες για το εκάστοτε είδος κυκλοφορίας, όπως η φωνή ή τα πολυμέσα, προσπαθεί να υποστηρίξει τη χρονικά εξαρτώμενη παράδοση των πακέτων. Το HIPERLAN 1 αναθέτει στα πακέτα προτεραιότητες πρόσβασης στο κανάλι με δυναμικό τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη τη διάρκεια ζωής και την προτεραιότητα MAC κάθε πακέτου. Η προτεραιότητα MAC ενός πακέτου μπορεί να είναι είτε κανονική είτε υψηλή, με προκαθορισμένη την κανονική προτεραιότητα. Όταν δημιουργείται, κάθε πακέτο έχει μια συγκεκριμένη διάρκεια ζωής που κυμαίνεται από 0 έως 32767 msec, με προκαθορισμένη τιμή τα 500 msec. Τα πακέτα που δεν είναι δυνατό να παραδοθούν μέσα στην καθορισμένη διάρκεια ζωής απορρίπτονται. Η απομένουσα διάρκεια ζωής ενός πακέτου, σε συνδυασμό με την προτεραιότητα του, καθορίζει την προτεραιότητα πρόσβασης στο κανάλι. Επομένως καθώς ο χρόνος κυλά, η προτεραιότητα πρόσβασης στο κανάλι για κάθε πακέτο αυξάνεται.

#### **2.7.1.2 Το πρωτόκολλο MAC του προτύπου HIPERLAN 1**

Στο πρότυπο HIPERLAN 1, ένας σταθμός μπορεί να ξεκινήσει μετάδοση αμέσως μόλις ανιχνεύσει ότι το μέσο είναι ανενεργό για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποστολή 1700 bit με υψηλό ρυθμό μετάδοσης. Ωστόσο, ακόμη και σε καταστάσεις μέτριου φορτίου, η παραπάνω συνθήκη δεν εκπληρώνεται



σχεδόν ποτέ. Όταν ένας σταθμός ανιχνεύσει ότι το μέσο είναι απασχολημένο, περιμένει μέχρι να γίνει αδρανές, οπότε και εφαρμόζεται το πρωτόκολλο EY-NPMA (Elimination Yield – Non-Preemptive Priority Multiple Access). Μετά το τέλος της ανιχνευμένης μετάδοσης, όλοι οι σταθμοί που θέλουν να μεταδώσουν περιμένουν για χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια μετάδοσης 256 bit, αυτό το χρονικό διάστημα ονομάζεται σχισμή χρονισμού (synchronization slot).

### **2.7.1.3 Υποστηριζόμενες τεχνολογίες και δρομολόγηση πολλαπλών διαδρομών.**

Το πρότυπο HIPERLAN 1 υποστηρίζει τόσο τοπολογίες υποδομής όσο και αδόμητες τοπολογίες. Επιπλέον, υποστηρίζει διατάξεις πολλαπλών διαδρομών, σύμφωνα με τις οποίες ένα σταθμός μπορεί να μεταδώσει ένα πακέτο σε κάποιον άλλο σταθμό ο οποίος βρίσκεται εκτός εμβέλειας χωρίς την ανάγκη για επιπλέον υποδομή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ενδιάμεσων σταθμών οι οποίοι προωθούν τα πακέτα που προορίζονται για άλλους σταθμούς. Κάθε σταθμός ενός δικτύου HIPERLAN επιλέγει έναν και μονό ένα γειτονικό σταθμό ως διαβιβαστή και στέλνει σε αυτόν όλα τα πακέτα που προορίζονται για σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται έξω από την εμβέλεια του. Τα προωθημένα πακέτα αναμεταδίδονται από διαβιβαστή σε διαβιβαστή μέχρι να φτάσουν στον προορισμό τους. Αυτό σημαίνει ότι ένας διαβιβαστής, όχι μόνο πρέπει να γνωρίζει τη τοπολογία του δικτύου, αλλά και να συντηρεί και να ενημερώνει τις βάσεις δεδομένων δρομολόγησης με δυναμικό τρόπο. Ωστόσο, δεν είναι υποχρεωτικό για ένα σταθμό να προωθεί πακέτα. Ένας σταθμός μπορεί να αναγγείλει την απόφασή του να μην προωθεί πακέτα και να γίνει έτσι ένας «μη διαβιβαστής». Οι σταθμοί που δεν λειτουργούν ως διαβιβαστές αρκεί να γνωρίζουν μόνο τους άμεσους γείτονες τους.

Η διαδικασία της διαβίβασης πακέτων σε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο δημιουργεί μερικά προβλήματα. Καταρχήν, ένας διαβιβαστής πρέπει να έχει συνεχή γνώση της τοπολογίας του δικτύου. Επειδή οι κοινοί αλγόριθμοι δρομολόγησης δεν έχουν σχεδιαστεί για δυναμικά μεταβαλλόμενες τοπολογίες, πρέπει να αναπτυχθούν νέοι αλγόριθμοι. Επιπλέον, η τήρηση βάσεων δεδομένων δρομολόγησης σε ένα διαβιβαστή απαιτεί την περιοδική ανταλλαγή πληροφοριών με τους γειτονικούς του σταθμούς, γεγονός που περιορίζει το χρήσιμο εύρος ζώνης του καναλιού.

Ένα άλλο πρόβλημα προκύπτει λόγω του αυξημένου ρυθμού σφαλμάτων δυαδικών ψηφίων (BER) που χαρακτηρίζει τις ασύρματες συνδέσεις. Καθώς ένα παρωθημένο πακέτο «ταξιδεύει» μέσω πολλών τέτοιων αναξιόπιστων συνδέσεων, είναι αρκετά πιθανό να αλλοιωθεί ή να μη φτάσει καθόλου στον προορισμό του. Επιπλέον, η διαδικασία της διαβίβασης στηρίζεται στην ύπαρξη σταθμών πρόθυμων να διαθέσουν πόρους και ισχύ επεξεργασίας προκειμένου να εξυπηρετήσουν άλλους σταθμούς. Συνεπώς σε ένα περιβάλλον HIPERLAN περιορισμένων πόρων, είναι πιθανό ότι οι διαβιβαστές θα είναι λίγοι.

#### **2.7.1.4 Εξοικονόμηση ενέργειας**

Το πρότυπο HIPERLAN 1 υποστηρίζει εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση τεχνικών που βασίζονται τόσο σε κατάλληλο υλικό όσο και στο πρωτόκολλο. Η πρώτη μέθοδος στηρίζεται στην ύπαρξη δυο ταχυτήτων μετάδοσης. Ένας κόμβος που «ακούει» ένα πακέτο το οποίο προορίζεται για κάποιον άλλο σταθμό μπορεί να διακόψει τους μηχανισμούς διόρθωσης σφαλμάτων και ισοστάθμισης καναλιού, καθώς και άλλα κυκλώματα του δέκτη του, μέχρι να λάβει ένα πακέτο που προορίζεται γι' αυτόν.

Με τη χρήση της δεύτερης μεθόδου εξοικονόμησης ενέργειας, η οποία είναι γνωστή ως μέθοδος αποταμιευτή-ρ (p-saver), ένας κόμβος μπορεί να αναγγείλει ότι ενεργοποιείται μονό για να λαμβάνει πότε-πότε εισερχόμενα πακέτα. Όλοι οι άλλοι σταθμοί που επιθυμούν να μεταδώσουν πακέτα σε αυτόν, γνωστοί ως υποστηρικτές-ρ (p-supporters), μεταδίδουν προς τον αποταμιευτή-π μόνο όταν αυτός «ακούει». Ένας υποστηρικτής-ρ μπορεί να είναι μια συνηθισμένη συσκευή HIPERLAN ή ένας διαβιβαστής. Σε ότι αφορά τις πολλαπλές εκπομπές, οι υποστηρικτές-ρ που αναμεταδίδουν δεδομένα πολλαπλής εκπομπής αναγγείλουν τις χρονικές στιγμές που είναι προγραμματισμένο να εκτελέσουν τη συγκεκριμένη λειτουργία, δίνοντας έτσι την επιλογή στους αποταμιευτές-ρ να ενεργοποιηθούν προκειμένου να λάβουν τα σχετικά πακέτα. Αυτά τα προγράμματα των αποταμιευτών-ρ είναι δυνατό να ανακοινωθούν ξανά ανά πάσα στιγμή, προκειμένου να γνωστοποιηθούν οι νέες απαιτήσεις.

#### **2.7.1.5 Ασφάλεια**

Το υποεπιπεδο MAC προσφέρει τη δυνατότητα κρυπτογράφησης των μεταδιδόμενων μαινάδων MPDU. Κάθε πακέτο ενός δικτύου HIPERLAN έχει κεφαλίδα του ωφέλιμου φορτίου ένα πεδίο μήκους 2 bit το οποίο δείχνει αν το

φορτίο είναι κρυπτογραφημένο ή όχι. Αν είναι, στην κεφαλίδα προσδιορίζεται ένα από τα τρία πιθανά κλειδιά. Το πρότυπο ορίζει ένα μικρό σύνολο κλειδιών, αλλά δεν καθορίζει τους μηχανισμούς διανομής τους.

Ο αλγόριθμος ασφαλείας του προτύπου HIPERLAN 1 λειτουργεί ως εξής:

- Στο μεταδότη, πραγματοποιείται η λογική πράξη της αποκλειστικής διάζευξης (exclusive OR, XOR) μεταξύ του κλειδιού και μιας τυχαίας ακολουθίας bit ίσου μήκους. Και τα δυο έχουν μήκος 30 bit. Η τελική τιμή των 30 bit χρησιμοποιείται ως γεννήτρια τυχαίων αριθμών που παράγει μια ροή bit (bit stream) με μήκος ίσο με το μήκος της μονάδας MPDU. Στις δυο ροές bit εφαρμόζεται και πάλι η πράξη XOR προκειμένου να παραχθούν τα κρυπτογραφημένα δεδομένα.
- Η κρυπτογραφημένη μονάδα MPDU ενθυλακώνεται σε ένα πλαίσιο του φυσικού επιπέδου και μεταδίδεται στον προορισμό. Το κλειδί και τα κρυπτογραφημένα δεδομένα στέλνονται στον προορισμό μέσα στο ίδιο πακέτο.
- Κατά την εξαγωγή της κρυπτογραφημένης μονάδας MPDU στον προορισμό, η διαδικασία εκτελείται αντίστροφα προκειμένου να ανακτηθούν τα αποκρυπτογραφημένα δεδομένα.

## 2.8 HIPERLAN 2

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, το πρόγραμμα για τα ευρυζωνικά ραδιοδίκτυα πρόσβασης (BRAN) του ευρωπαϊκού ινστιτούτου προτύπων τηλεπικοινωνιών (ETSI) λειτουργεί στα πρότυπα για διάφορων ειδών δίκτυα ευρείας-ζώνης, ασύρματης πρόσβασης. Ένα από τα πρότυπα αυτά, αποκαλούμενο ως υψηλής απόδοσης ευρωπαϊκό τοπικό ασύρματο δίκτυο, HIPERLAN 2, παρέχει μεγάλης ταχύτητας τηλεπικοινωνιακή πρόσβαση στα ευρείας-ζώνης κεντρικά δίκτυα και φορητούς υπολογιστές.

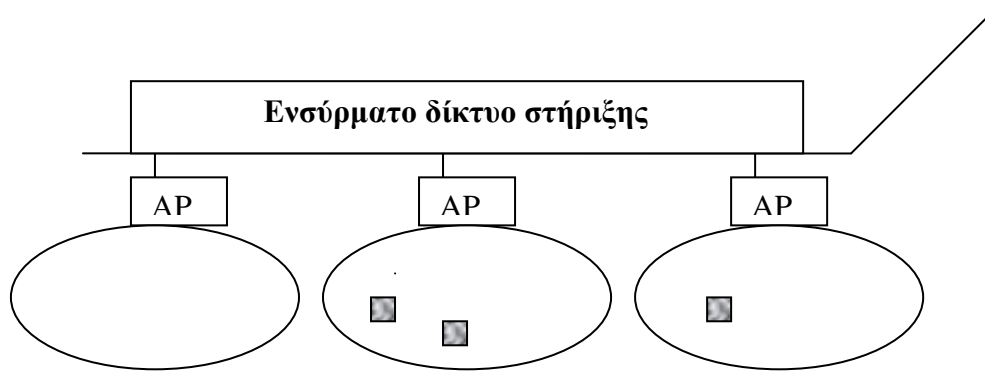
Το πρότυπο HIPERLAN 2 προσφέρει ταχύτητες δεδομένων μέχρι 54 Mbps στη ζώνη των 5 GHz του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων, καθώς και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών. Το φυσικό μέσο μετάδοσης είναι το ίδιο με αυτό του 802.11a και το ETSI συνεργάστηκε με το IEEE για την ανάπτυξη του. Δεδομένου ότι ο χαμηλότερος ρυθμός μετάδοσης του 802.11a περιορίζει τη χρήση του, ειδικά στις εφαρμογές πολυμέσων, η υψηλότερη ταχύτητα του HIPERLAN , αν και είναι πιθανό να κοστίζει περισσότερο, αποτελεί μια

αποτελεσματική εναλλακτική τεχνολογία για ορισμένες εφαρμογές WLAN, ιδιαίτερα αυτές που περιλαμβάνουν μετάδοση τηλεοπτικών εικόνων. Το HIPERLAN 2 είναι βασισμένο στην τεχνολογία ασύρματης μεταφοράς (ATM), και προσφέρει καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών από τις αντίστοιχες του 802.11.

### **2.8.1 Αρχιτεκτονική δικτύου**

Το πρότυπο HIPERLAN 2 υιοθετεί τοπολογία υποδομής. Όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 2.1, η περιοχή κάλυψης περιλαμβάνει ένα σύνολο κυψελών, με τη κυκλοφορία σε κάθε κυψέλη να ελέγχεται από ένα σημείο πρόσβασης (ACCESS Point, AP). Τα κινητά τερματικά που βρίσκονται σε μια κυψέλη επικοινωνούν με το σημείο πρόσβασης μέσω της ασύρματης διασύνδεσης HIPERLAN 2. Η άμεση επικοινωνία μεταξύ δυο κινητών τερματικών είναι επίσης δυνατή, αλλά αυτή η διαδικασία βρίσκεται ακόμη σε φάση ανάπτυξης. Κάθε τερματικό μπορεί να επικοινωνήσει μόνο με ένα σημείο (της τρέχουσας κυψέλης), αλλά για να πραγματοποιηθεί αυτή η επικοινωνία πρέπει πρώτα να λάβει χώρα μια διαδικασία συσχέτισης (association) μεταξύ του σημείου πρόσβασης και του κινητού τερματικού. Μετά τη διαδικασία αυτή, τα τερματικά μπορούν ελεύθερα να κινηθούν μέσα στην περιοχή κάλυψης του δικτύου HIPERLAN 2, διατηρώντας τις λογικές τους συνδέσεις. Η μετακίνηση σε μια άλλη κυψέλη είναι δυνατή μέσω μιας διαδικασίας μεταπομπής. Τα σημεία πρόσβασης διευθετούν αυτόματα το δίκτυο λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στην τοπολογία λόγω της κινητοτητας.

Ως συμβατό με την τεχνολογία ATM, το HIPERLAN 2 είναι συνδεδεισσοστρεφές και χρησιμοποιεί πακέτα σταθερού μεγέθους. Για την προετοιμασία των συνδέσεων μεταξύ των κινητών κόμβων και του σημείου πρόσβασης χρησιμοποιούνται λειτουργίες σηματοδοσίας, και τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω των συνδέσεων με τη χρήση μιας τεχνικής πολυπλεξής διαίρεσης χρόνου.



**Εικονα 2.1:** Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου HIPERLAN 2

Το πρότυπο υποστηρίζει δυο τύπους συνδέσεων: αμφίδρομες σημείου-προς-σημείο μεταξύ ενός κινητού κόμβου και ενός σημείου πρόσβασης και μονοδρομες σημείου-προς-πολλά σημεία που μεταφέρουν κυκλοφορία προς τους κινητούς κόμβους. Τέλος, υπάρχει και ένα χωριστό κανάλι ευρείας εκπομπής μέσω του οποίου το σημείο πρόσβασης μεταδίδει δεδομένα σε όλα τα κινητά τερματικά που καλύπτει.

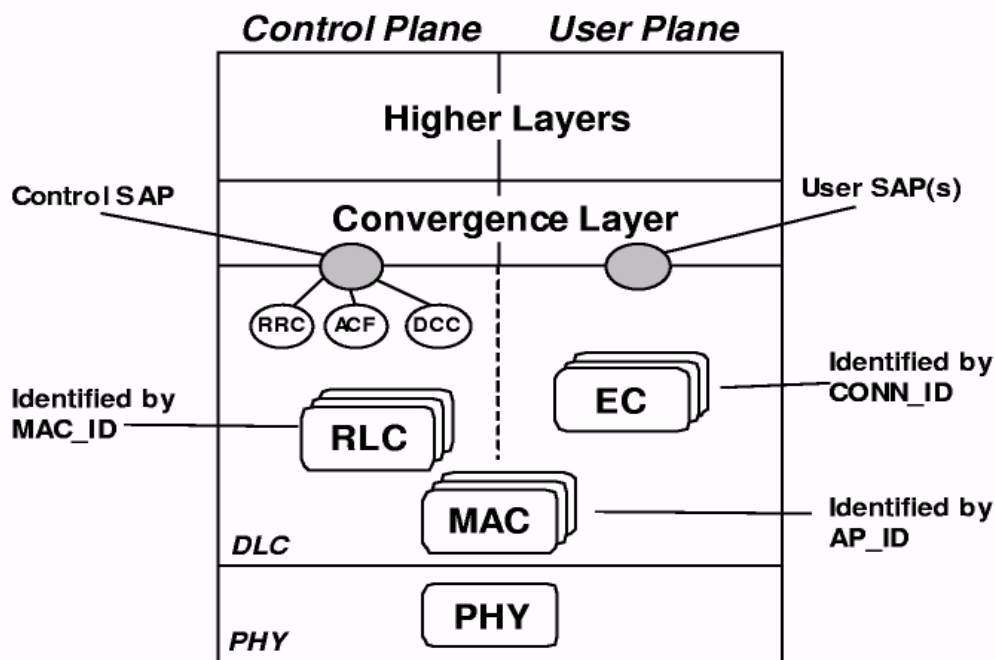
Το γεγονός ότι το HIPERLAN 2 είναι συνδεσιοστρεφες, καθιστά εύκολη την υποστήριξη εφαρμογών ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Κάθε σύνδεση μπορεί να δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες απαιτήσεις ποιότητας, όπως περιορισμό στην καθυστέρηση, στην παραμόρφωση χρονισμού, και στο ρυθμό σφαλμάτων. Έτσι, το δίκτυο HIPERLAN 2 είναι ικανό να υποστηρίξει εφαρμογές πολυμέσων με τρόπο παρόμοιο με εκείνον του δικτύου ATM.

Το HIPERLAN 2 παρέχει επίσης υποστήριξη για ζητήματα όπως η κρυπτογράφηση και η ασφάλεια, η εξοικονόμηση ενέργειας, η δυναμική κατανομή καναλιών, η μεταπομπη κελιών, ο έλεγχος ισχύος, κ.λπ. Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά τα ζητήματα είτε δεν έχουν προτυποποιηθεί ακόμη είτε η υλοποίησή τους έχει αφηθεί στους κατασκευαστές.

### 2.8.2 Η στοίβα πρωτοκόλλων του HIPERLAN 2

Η στοίβα πρωτοκόλλων του προτύπου HIPERLAN 2 παρουσιάζεται στη παρακάτω Εικονα 2.2. Περιλαμβάνει ένα επίπεδο ελέγχου και ένα επίπεδο

χρήστη, ακολουθώντας τη σημασιολογία διαμερισμού λειτουργιών του ISDN. Το επίπεδο χρήστη περιλαμβάνει τη λειτουργία μετάδοσης της κυκλοφορίας μέσω εγκατεστημένων συνδέσεων και το επίπεδο ελέγχου παρέχει τις απαραίτητες διαδικασίες για τον έλεγχο αυτών των συνδέσεων. Το πρωτόκολλο έχει τρία βασικά επίπεδα: το φυσικό επίπεδο (Physical Layer, PHY), το επίπεδο Data Link Control (DLC), και το επίπεδο σύγκλισης (Convergence Layer, CL). Προς το παρόν, μονό το επίπεδο DLC περιλαμβάνει τις λειτουργίες του επιπέδου ελέγχου.



**Εικόνα 2.2:** Η στοίβα πρωτοκόλλων του HIPERLAN 2

### 2.8.2.1 Το φυσικό επίπεδο του HIPERLAN 2

Το HIPERLAN 2 χαρακτηρίζεται από υψηλές ταχύτητες μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο, μέχρι 54 Mbps. Η χρήση της διαμόρφωσης OFDM στο φυσικό επίπεδο αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την αυξανόμενη εξασθένηση που υπάρχει στα εσωτερικά ασύρματα περιβάλλοντα (όπως σε γραφεία), όπου τα ραδιοσηματα αντανακλώνται στα διάφορα αντικείμενα οδηγώντας σε πολυδρομη διάδοση και, συνεπώς, σε διασυμβολική παρεμβολή (InterSymbol Interference, ISI). Η τοποθέτηση των καναλιών γίνεται σε διαστήματα των 20 MHz με τη χρήση 52 υποφορεων (subcarriers) για κάθε κανάλι. Από αυτούς, 48 υποφορεις μεταφέρουν πραγματικά δεδομένα ενώ οι υπόλοιποι 4 χρησιμοποιούνται ως οδηγοί ώστε να πραγματοποιείται ομοιόμορφη αποδιαμόρφωση.

Το HIPERLAN 2 είναι σε θέση να προσαρμόζεται στη μεταβαλλόμενη ποιότητα των ασύρματων συνδέσεων μέσω ενός μηχανισμού προσαρμογής σύνδεσης (Link Adaptation, LA). Με βάση την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος, η οποία εξαρτάται τόσο από τη σχετική θέση του τερματικού ως προς το σημείο πρόσβασης όσο και από τις παρεμβολές από τις κοντινές κυψέλες, η προσαρμογή σύνδεσης επιλέγει δυναμικά τη μέθοδο διαμόρφωσης και των κωδικό FEC που θα χρησιμοποιηθεί σε μια προσπάθεια να εξασφαλιστεί ένα ισχυρό φυσικό επίπεδο. Οι εναλλακτικές μέθοδοι διαμόρφωσης είναι η δυαδική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (Binary Phase Shift Keying, BPSK), η QPSK, η τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους 16 επιπέδων (16 Quadrature Amplitude Modulation, 16-QAM), και η τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους 64 επιπέδων (64-QAM). Η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων εκτελείται από ένα συνελικτικό κώδικα με ρυθμό  $\frac{1}{2}$  και μήκος περιορισμού 7.

#### **2.8.2.2 Το επίπεδο DLC του HIPERLAN 2**

Το επίπεδο DLC χρησιμοποιείται για την προετοιμασία των λογικών συνδέσεων μεταξύ των σημείων πρόσβασης και των κινητών τερματικών. Περιλαμβάνει τρία υποεπίπεδα που παρέχουν στα ανώτερα επίπεδα υπηρεσίες πρόσβασης στο μέσο και διαχείρισης των συνδέσεων: το υποεπίπεδο MAC, το υποεπίπεδο ελέγχου σφαλμάτων (ERROR Control, EC) και το υποεπίπεδο ελέγχου ραδιοσύνδεσης (Radio Link Control, RLC).

#### **2.8.2.3 Πρωτόκολλο MAC και τύποι καναλιών**

Το πρωτόκολλο MAC που χρησιμοποιείται από το HIPERLAN 2 βασίζεται στην αμφίδρομη διαίρεση χρόνου (Time-Division Duplex, TDD) και στη δυναμική πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA). Ο έλεγχος MAC είναι συγκεντρωτικός και εκτελείται από το σημείο πρόσβασης κάθε κυψέλης. Το ασύρματο μέσο διαιρείται στο χρόνο μέσω της χρήσης ενός περιοδικού πλαισίου MAC που περιέχει χρονικές σχισμές (slots) αφιερωμένες στην ανωφερή (uplink) και την κατωφερή (downlink) σύνδεση. Το μήκος του πλαισίου MAC είναι σταθερό στα 2 msec και περιλαμβάνει διάφορα τμήματα που δεν είναι σταθερά. Τα μήκη αυτών των τμημάτων είναι μεταβλητά και καθορίζονται από το σημείο πρόσβασης. Οι σχισμές της ανωφερούς και της κατωφερούς σύνδεσης μέσα σε ένα πλαίσιο ανατίθενται δυναμικά ανάλογα με τις

ανάγκες για πόρους μετάδοσης. Όλα τα δεδομένα, τόσο από τα κινητά τερματικά όσο και από τα σημεία πρόσβασης, μεταδίδονται στις αποκλειστικές σχισμές. Για τις μεταδόσεις των τερματικών, οι σχισμές ανατίθενται μετά από αιτήσεις για εύρος ζώνης που υποβάλλονται στο σημείο πρόσβασης. Η ακριβής μορφή του πλαισίου MAC παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 2.3, όπου φαίνεται ότι, εκτός από τα τμήματα που αφιερώνονται στις ανωφερείς και κατωφερείς ζεύξεις, υπάρχουν και φάσεις ευρείας εκπομπής απευθείας σύνδεσης, και τυχαίας πρόσβασης.

Ευρεία	Κατωφερής	Απευθείας	Ανωφερής	Τυχαία
εκπομπή	σύνδεση	σύνδεση	σύνδεση	πρόσβαση

**Εικόνα 2.3:** Δομή του πλαισίου MAC μήκους 2 msec.

Το πλαίσιο ευρείας εκπομπής φέρει το κανάλι ελέγχου ευρείας εκπομπής και το κανάλι ελέγχου πλαισίων. Η φάση της απευθείας σύνδεσης επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των κινητών τερματικών χωρίς παρέμβαση του σημείου πρόσβασης, αυτό είναι προαιρετικό. Τέλος, η φάση της τυχαίας πρόσβασης φέρει το κανάλι τυχαίας πρόσβασης και χρησιμοποιείται από τα κινητά τερματικά είτε για λόγους συσχέτισης με ένα σημείο πρόσβασης, για σηματοδότηση ελέγχου όταν δεν έχουν ανατεθεί στο τερματικό σχισμές της ανωφερούς σύνδεσης μέσα στο πλαίσιο MAC, είτε κατά την διάρκεια της μεταπομπής σε ένα σημείο πρόσβασης με σκοπό τη μεταγωγή των τρεχουσών συνδέσεων σε αυτό.

Το πλαίσιο MAC αποτελείται από τα ακόλουθα κανάλια μεταφοράς:

- Το κανάλι ευρείας εκπομπής (Broadcast Channel, BCH), ένα κανάλι κατωφερούς σύνδεσης που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβιβάζονται στα κινητά τερματικά πληροφορίες ελέγχου σχετικά με τα επίπεδα ισχύος μετάδοσης, δείκτες αφύπνισης για τους κόμβους που βρίσκονται σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας, το μήκος των καναλιών ελέγχου πλαισίων και τυχαίας πρόσβασης, και τα μέσα για τον προσδιορισμό του δικτύου HIPERLAN 2 και του σημείου πρόσβασης στα οποία ανήκει το τερματικό.
- Το κανάλι ελέγχου πλαισίων (Frame Control Channel, FCH), ένα κανάλι κατωφερούς σύνδεσης που χρησιμοποιείται προκειμένου να ενημερώνονται οι κινητοί κόμβοι για την κατανομή των πόρων στο τρέχον πλαίσιο MAC



τόσο για τις ανωφερείς και κατωφερείς ζεύξεις όσο και για το κανάλι τυχαίας πρόσβασης.

- Το κανάλι τυχαίας πρόσβασης (Random Access Channel, RACH) χρησιμοποιείται στην ανωφερή σύνδεση για τις αιτήσεις μετάδοσης στα τμήματα των ανωφερών και κατωφερών ζεύξεων μελλοντικών πλαισίων MAC, καθώς και για τη μετάδοση μηνυμάτων σηματοδότησης. Το RACH περιλαμβάνει σχισμές ανταγωνισμού που χρησιμοποιούνται από τα τερματικά για τη διεκδίκηση πόρων. Μπορεί να εμφανιστούν συγκρούσεις, και τα αποτελέσματα της τυχαίας πρόσβασης ανακοινώνονται στα τερματικά στο κανάλι ανάδρασης πρόσβασης (Access Feedback Channel, AFCH). Όταν αυξάνονται οι αιτήσεις για πόρους μετάδοσης από τα τερματικά, το σημείο πρόσβασης μπορεί να διαθέσει περισσότερους πόρους για το RACH προκειμένου να εξυπηρετηθεί η αυξανόμενη ζήτηση.
- Το κανάλι ανάδρασης (AFCH) χρησιμοποιείται στην κατωφερή σύνδεση ώστε να ενημερώνονται τα τερματικά σχετικά με προηγούμενες προσπάθειες πρόσβασης που έγιναν στο κανάλι τυχαίας πρόσβασης

#### **2.8.2.4 Πρωτόκολλο Ελέγχου Σφαλμάτων .**

Χρησιμοποιεί ένα επιλεκτικό μοντέλο αυτόματης αίτησης επανάληψης ώστε να εξασφαλιστεί παράδοση των δεδομένων στο επίπεδο σύγκλισης χωρίς σφάλματα και με τη σωστή σειρά. Οι θετικές και αρνητικές επιβεβαιώσεις μεταδίδονται μέσω του LCCH (Link Control Channel). Την παράδοση των δεδομένων με τη σωστή σειρά εγγυάται η ανάθεση κατάλληλων αυξόντων αριθμών σε όλα τα πλαίσια της σύνδεσης. Υπάρχει επίσης δυνατότητα ρύθμισης του πλήθους των προσπαθειών αναμετάδοσης ανά πλαίσιο. Επιπλέον, σε μια προσπάθεια να υποστηριχθεί ποιότητα υπηρεσιών για τις εφαρμογές που είναι ευάλωτες στην καθυστέρηση, το επίπεδο ελέγχου σφαλμάτων περιλαμβάνει ένα μηχανισμό που απορρίπτει τα πλαίσια για τα οποία έχει ξεπεράσει το χρονικό όριο. Πιο συγκεκριμένα, το επίπεδο ελέγχου σφαλμάτων του αποστολέα μπορεί να αποφασίσει να απορρίψει την αντίστοιχη κυψελίδα μαζί με τα πλαίσια της ίδιας σύνδεσης με μικρότερο αύξοντα αριθμό. Σε αυτή την περίπτωση, η ευθύνη αντιμετώπισης της απώλειας δεδομένων ανήκει στα ανώτερα επίπεδα.

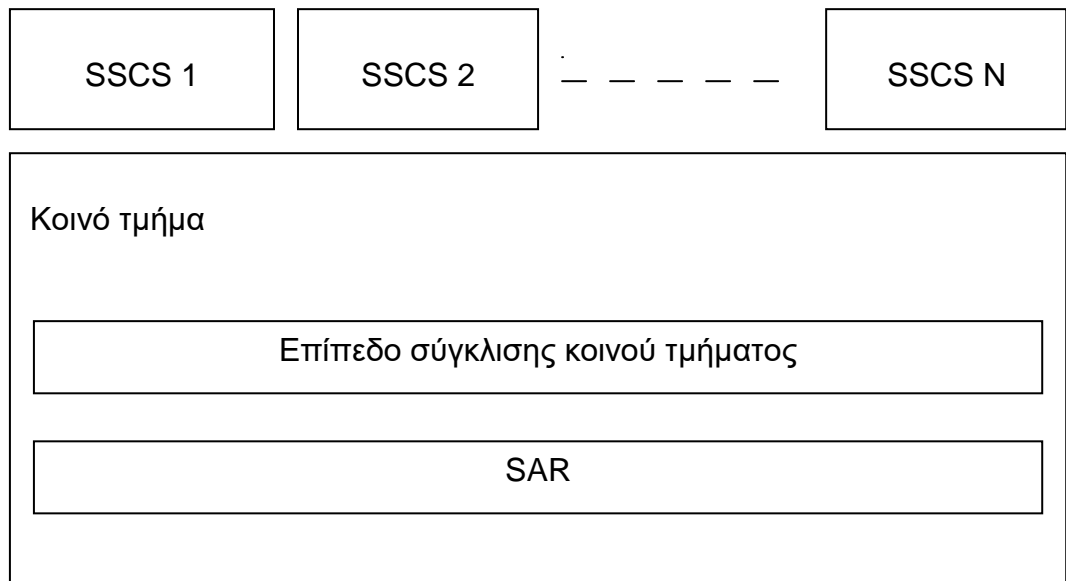
### **2.8.2.5 Πρωτόκολλο ελέγχου ραδιοσυνδεσης.**

Παρέχει υπηρεσίες στη λειτουργία ελέγχου συσχέτισης (Association Control Function, ACF), στη λειτουργία ελέγχου ραδιοπόρων και στη λειτουργία ελέγχου συνδέσεων χρηστών DLC (DLC user Connection Control, DCC). Αυτές οι οντότητες σηματοδοσίας υλοποιούν τη λειτουργικότητα του επιπέδου ελέγχου DLC για την ανταλλαγή πληροφοριών ελέγχου μεταξύ του σημείου πρόσβασης και των κινητών τερματικών

### **2.8.3 Το επίπεδο σύγκλισης του HIPERLAN 2.**

Το επίπεδο σύγκλισης (Convergence Layer, CL) της στοίβας πρωτοκόλλων εκτελεί δυο λειτουργίες. Η πρώτη αφορά τη διάσπαση των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου (PDU) που προέρχονται από τα ανώτερα επίπεδα σε πακέτα σταθερού μεγέθους που χρησιμοποιούνται από το DLC. Η δεύτερη σχετίζεται με την προσαρμογή των υπηρεσιών που απαιτούνται από τα ανώτερα επίπεδα σε εκείνες που προσφέρονται από το DLC. Αυτή η λειτουργία απαιτεί την επανασυναρμολόγηση των πακέτων σταθερού μεγέθους DLC στα αρχικά πακέτα μεταβλητού μεγέθους που χρησιμοποιούνται από τα ανώτερα επίπεδα. Προς το παρόν έχουν καθοριστεί δυο διαφορετικοί τύποι CL:

- Επίπεδο σύγκλισης βασισμένο σε κυψελίδες. Το CL που βασίζεται στη μετάδοση κυψελίδων παρέχει διασύνδεση σε δίκτυα ATM και εμπλουτίζει διαφανώς το HIPERLAN 2 με τη τεχνολογία ATM. Δεν περιλαμβάνεται η λειτουργία της κατάμησης και επανασυναρμολόγησης (Segmentation and Reassembly, SAR) επειδή οι κυψελίδες του ATM «εφαρμόζουν» στη μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου DLC του HIPERLAN 2. Ωστόσο, είναι απαραίτητη η συμπίεση της κεφαλίδας των κελιών ATM, με τη μετάδοση μόνο των σημαντικότερων τμημάτων της.
- Επίπεδο σύγκλισης βασισμένο σε πακέτα. Το CL που βασίζεται στη μετάδοση πακέτων χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση κινητών τερματικών ασύρματου ATM σε παραδοσιακά ενσύρματα τοπικά δίκτυα, όπως το Ethernet. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, περιλαμβάνει ένα κοινό τμήμα και αρκετά τμήματα εξειδικευμένα σε υπηρεσίες (Service Specific, SSS) που επιτρέπουν την εύκολη διασύνδεση με σταθερά δίκτυα.



**Εικόνα 2.4:** Δομή του επιπέδου σύγκλισης (CL) που βασίζεται σε πακέτα.

Το κοινό τμήμα έχει την ευθύνη της κατάτμησης των πακέτων που παραλαμβάνονται από τα SSCS πριν παραδοθούν στα χαμηλότερα επίπεδα, καθώς και της επανασυναρμολόγησης των κατατμημένων πακέτων που παραλαμβάνονται από DLC πριν προωθηθούν στο κατάλληλο SSCS. Επιπλέον, είναι αρμόδιο να προσθέτει byte συμπλήρωσης (padding) με στόχο τη δημιουργία κοινού τμήματος PDU και ενός ακέραιου πλήθους μονάδων δεδομένων υπηρεσίας (Service data Unit, SDU) DLC.

Η συνολική απόδοση ενός συστήματος HIPERLAN 2 εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τα διαθέσιμα κανάλια συχνοτήτων, τις συνθήκες διάδοσης του σήματος, και τις παρεμβολές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ WPAN

#### 3.1 Εισαγωγή

Η έννοια του δικτύου προσωπικής περιοχής(Personal Area Network, PAN) διαφέρει από τους άλλους τύπους δικτύων δεδομένων (π.χ, τοπικά, μητροπολιτικά, και ευρείας περιοχής) σε ότι αφορά την εμβέλεια, την απόδοση, και το κόστος. Τα δίκτυα προσωπικής περιοχής (PAN) βρίσκονται -- σε ότι αφορά την κλίμακα—ακριβώς πριν από τα τοπικά δίκτυα (LAN) και στοχεύουν σε εφαρμογές που απαιτούν επικοινωνίες περιορισμένης εμβέλειας εντός του προσωπικού χώρου λειτουργίας (Personal Operating Space, POS) ενός ατόμου. Ο όρος POS χρησιμοποιείται για να ορίσει το χώρο που περιβάλλει ένα άτομο ή μια συσκευή και μπορεί να θεωρηθεί ως μια φυσαλίδα γύρω του. Καθώς το άτομο εκτελεί τις καθημερινές του δραστηριότητες, ο προσωπικός του χώρος αλλάζει περιλαμβάνοντας διάφορες συσκευές (όπως κινητά τηλέφωνα, βομβητές, ακουστικά, διασυνδέσεις PC,κ.λπ.) με τις οποίες θα ήταν επιθυμητή η δυνατότητα εύκολης και διαφανούς ανταλλαγής πληροφοριών. Τα δίκτυα PAN στοχεύουν στην αποδοτική παροχή αυτής της δυνατότητας.

Η αληθινή επανάσταση στον τομέα των δικτύων PAN επήλθε με τη χρήση ασύρματων δικτύων προσωπικής περιοχής (Wireless PAN, WPAN). Η πρώτη προσπάθεια καθορισμού ενός προτύπου για δίκτυα προσωπικής περιοχής ήταν ένα πρόγραμμα της Ericsson το 1994, το οποίο στόχευε στην εύρεση λύσης για ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των σχετικών συνοδευτικών εξαρτημάτων (π.χ ακουστικών). Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε Bluetooth. Μια άλλη πρωτοβουλία από μέλη της βιομηχανίας για την ανάπτυξη ενός προτύπου για δίκτυα WPAN ξεκίνησε το 1997 με το σχηματισμό της ομάδας εργασίας HomeRF.Τα δυο αυτά πρότυπα θα αναπτυχθούν στη συνέχεια του αυτού του κεφαλαίου.

#### 3.2 Bluetooth

##### 3.2.1 Η ιστορία του Bluetooth.

Ο Harald Blatand, Bluetooth στα αγγλικά, ήταν βασιλιάς Βίκινγκ που κυβέρνησε τη Δανία στα έτη 940 και 981. Ο Δανός βασιλιάς κατέλαβε με τα

στρατεύματα του πολλές χώρες. Ένα σημαντικό του επίτευγμα του ήταν η ένωση της Δανίας με την Νορβηγία και ο έλεγχος τους.[5]

Το 1994 η εταιρία Ericsson Mobile Communications άρχισε τη μελέτη μιας χαμηλό-τροφοδοτούμενης και φθηνής ράδιο-ζεύξης μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των κινητών εξαρτημάτων. Καθώς η μελέτη προχωρούσε, οι άνθρωποι που συμμετείχαν σε αυτήν, άρχισαν να συνειδητοποιούν ποιες δυνατότητες θα μπορούσε να έχει αυτή η νέα τεχνική. Η Ericsson όμως, γρήγορα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι για την περαιτέρω ανάπτυξη της ζεύξης χρειαζόταν κάποια βοήθεια από αλλού. Το Bluetooth ήταν μια ελπιδοφόρα προσέγγιση και έτσι, η Nokia, η Intel, η Toshiba, και η IBM συμάχησαν το Μάιο του 1998 με την Ericsson για τη συγκρότηση της ειδικής ομάδας ενδιαφέροντος Bluetooth (Special Interest Group, SIG). Σκοπός αυτής της ομάδας είναι η ανάπτυξη ενός κοινώς αποδεκτού προτύπου για δίκτυα WPAN που να καλύπτει τις ανάγκες επικοινωνίας όλων των κινητών συσκευών που βρίσκονται σε περιορισμένο γεωγραφικό χώρο, ανεξάρτητα από το μέγεθος και τη διαθέσιμη ενέργεια τους. Η έκδοση 1.0 της προδιαγραφής Bluetooth κυκλοφόρησε από την ομάδα SIG το 1999, και ακολούθησε η έκδοση 1.1 το 2001. Το πρότυπο Bluetooth χρησιμοποιεί διαμόρφωση διασποράς φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum FHSS) στη ζώνη των 2,4 GHz.

### **3.2.2 Εμβέλεια**

Το βασικό χαρακτηριστικό του Bluetooth είναι ότι καταναλώνει χαμηλή ενέργεια, αφού χρησιμοποιείται σε συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, και άλλες παρόμοιες συσκευές που η κατανάλωση ενέργειας είναι σημαντικός παράγοντας. Για να γίνει αυτό δυνατό, οι προδιαγραφές καθορίζουν 3 διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας όσον αφορά τη κατανάλωση ενέργειας:

- 1 mW (dBm) που είναι η βασική στάθμη
- 2.5 mW(+4 dBm)
- 100 mW(+20 dBm)

Οι παραπάνω καταστάσεις λειτουργίας παρέχουν στις συσκευές ακτίνα λειτουργίας 10 μέτρα, με δυνατότητα επέκτασης μέχρι τα 100 μέτρα.

### 3.3 Συσσκευές Bluetooth

#### Κινητά τηλέφωνα Bluetooth

Πολλά κινητά τηλέφωνα έχουν ενσωματωμένο Bluetooth. Αρχικά, αρκούσε η προσθήκη ενός Bluetooth adapter στο κινητό, που του έδινε την δυνατότητα Bluetooth επικοινωνίας.



#### Personal Digital Assistants (PDAs)

Μια όλο και περισσότερο δημοφιλής φορητή συσκευή είναι το PDA. Στην σημερινή αγορά υπάρχουν αρκετοί κατασκευαστές PDAs, οι οποίοι για να προσελκύσουν τους καταναλωτές πρέπει να υποστηρίξουν την τεχνολογία Bluetooth. Ένα PDA χρησιμοποιείται ως ημερολόγιο, σημειωματάριο, ως συσκευή για να γράψει κανείς τα mail του κ.λπ. με την ενσωμάτωση του Bluetooth μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με πολλούς άλλους τρόπους όπως για παράδειγμα να συγχρονιστεί με άλλες συσκευές.



#### Dongle USB

Για να εξασφαλιστεί η Bluetooth υποστήριξη σε ένα notebook ή Desktop PC, ώστε να είναι δυνατή η ασύρματη επικοινωνία του με διάφορα είδη συσκευών

(απομακρυσμένες συσκευές, modems, κινητά τηλέφωνα κ.λπ.), απαιτείται ένας προσαρμοστής Bluetooth που συνδέεται στο PC. Ένας προσαρμοστής κατάλληλος για αυτόν τον σκοπό είναι το dongle USB. Ο προσαρμοστής αυτός δε χρησιμοποιείται στους σημερινούς υπολογιστές, καθώς έχουν ενσωματωμένο Bluetooth.



### **3.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Bluetooth**

#### **3.4.1 Πλεονεκτήματα**

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν Bluetooth εκπέμπουν και λαμβάνουν σήματα στην περιοχή των 2.4 GHz η οποία αποτελεί μια ελεύθερη Industrial Scientific and Medical (ISM) ζώνη συχνοτήτων. Η λειτουργία ενός προϊόντος σε αυτή την ζώνη μπορεί να γίνει χωρίς την αγορά των αδειών ή την πληρωμή των δικαιωμάτων, σε παγκόσμιο επίπεδο, σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες ζώνες συχνοτήτων. Το Bluetooth είναι μια φιλική προς το χρήστη ράδιο-διεπαφή, η οποία αν και αρχικά σχεδιάστηκε για αντικατάσταση των καλωδίων στην κινητή τηλεφωνική αγορά, έχει αναβαθμιστεί από τότε σε μια περιορισμένου φάσματος ασύρματη λύση δικτυωσης. Η τεχνική μεταπήδησης συχνότητας που χρησιμοποιεί, το καθιστά πολύ ανθεκτικό ενάντια στην παρεμβολή. Αυτή η ανθεκτικότητα στην παρεμβολή είναι πρώτιστη απαίτηση στην ISM εξαιτίας του μεγάλου αριθμού προϊόντων που λειτουργούν σε αυτή την ζώνη.

Το πρότυπο Bluetooth υποστηρίζει τόσο τη μετάδοση δεδομένων όσο και τη μετάδοση φωνής. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό και αρκεί για να καταστήσει το Bluetooth τυποποιημένο πρότυπο απέναντι σε άλλα ανταγωνιστικά πρότυπα που υποστηρίζουν μόνο ένα είδος επικοινωνίας.

Το modules ή τα τσιπς Bluetooth είναι μικρά, ανθεκτικά στην παρεμβολή και καταναλώνουν πολύ λίγη ενέργεια. Αυτό είναι το κύριο χαρακτηριστικό που καθιστά το Bluetooth μια ιδανική λύση για τις φορητές ασύρματες συσκευές όπως οι υπολογιστές χειρός (PDAs), τα headset, τα κινητά τηλέφωνα κ.λπ. Δεδομένου ότι η εκλυόμενη ενέργεια είναι πολύ μικρότερη από αυτή ενός κινητού τηλεφώνου, το Bluetooth δίνει τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας χωρίς οποιουσδήποτε πιθανούς κινδύνους της ακτινοβολίας RF.

Το Bluetooth είναι ένα ενδιαφέρον πρότυπο για τους κατασκευαστές και σε συνδυασμό με την αυστηρή διαδικασία προσόντων (qualification process), εξασφαλίζει διαλειτουργικότητα (interoperability) μεταξύ συσκευών διαφορετικών ειδών και διαφορετικών κατασκευαστών. Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το Bluetooth είναι ήδη εκτενείς και ο αριθμός τους αναμένεται να αυξηθεί εντυπωσιακά.

### **3.4.2 Μειονεκτήματα**

Τα πρότυπα Bluetooth έχουν μια εμβέλεια περίπου 10 μέτρων. Αν και υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης στα 100 μέτρα, η απόσταση αυτή είναι μικρή συγκρινόμενη με λύσεις που προσφέρουν άλλες ασύρματες τεχνολογίες, με εξαίρεση τις υπέρυθρες ακτίνες (infrared). Επιπλέον τα εμπόδια, όπως οι τοίχοι, μπορούν να μειώσουν την εμβέλεια.

Το εύρος ζώνης (bandwidth) του Bluetooth είναι μόνο 1 MHz ανά κανάλι. Αυτό δεν είναι αρκετό για video εφαρμογές και μερικές άλλες εφαρμογές πολυμέσων. Στο μέλλον το εύρος ζώνης Bluetooth αναμένεται να αυξηθεί.

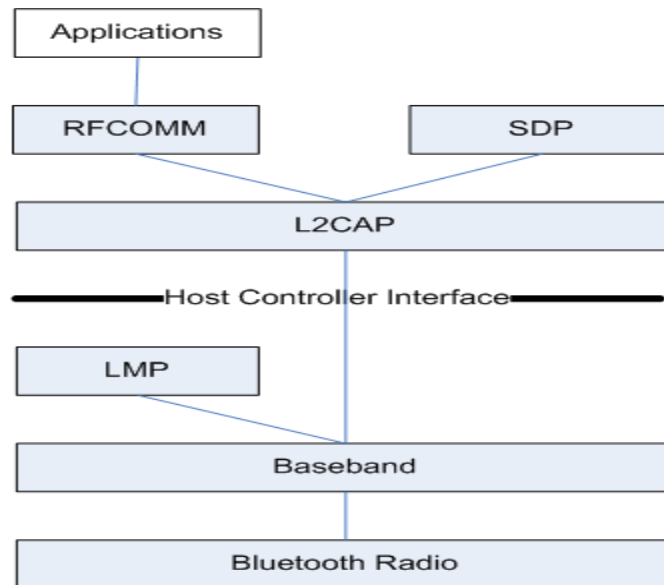
## **3.5 Αρχιτεκτονική Bluetooth.**

### **3.5.1 Οι προδιαγραφές του προτύπου Bluetooth.**

Το πρότυπο Bluetooth περιλαμβάνει δυο τμήματα: τον πυρήνα και τα προφίλ. Οι προδιαγραφές του πυρήνα καθορίζουν τα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του Bluetooth. Στόχος αυτής της στοίβας είναι η παροχή κοινού επιπέδου σύνδεσης δεδομένων και φυσικού επιπέδου στις διάφορες εφαρμογές και τα πρωτόκολλα υψηλών επιπέδων που επικοινωνούν μέσω της ασύρματης σύνδεσης Bluetooth, καθώς και η μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης των υπάρχοντων πρωτοκόλλων στα υψηλότερα επίπεδα. Στη παρακάτω Εικόνα 3.1



παρουσιάζεται η στοίβα πρωτοκόλλων που προδιαγράφει η αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Bluetooth.



**Εικόνα 3.1:** Η στοίβα πρωτοκόλλων του προτύπου Bluetooth.

Συνοπτικά τα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων συνοψίζονται παρακάτω:

- Το επίπεδο ραδιοεκπομπής (Bluetooth Radio) παρέχει τις ηλεκτρικές προδιαγραφές για την μετάδοση και λήψη των δεδομένων μέσω του ασύρματου καναλιού.
- Το επίπεδο βασικής ζώνης (Baseband) επιτρέπει τη λειτουργία των συνδέσεων Bluetooth στο ασύρματο μέσο. Το επίπεδο αυτό είναι επίσης αρμόδιο για τη διαμόρφωση των πλαισίων, τον έλεγχο ροής, και τις διαδικασίες συγχρονισμού, ενώ διαχειρίζεται την επικοινωνία σε επίπεδο συνδέσμου μεταξύ δυο συσκευών Bluetooth.
- Το επίπεδο διαχείρισης ζεύξης (Link Management Protocol) δημιουργεί μια σύνδεση μεταξύ δυο συσκευών και καθορίζει το μέγεθος πακέτου μετάδοσης, τις υπηρεσίες ασφάλειας και τη διαχείριση των κλειδιών κρυπτογράφησης που θα χρησιμοποιηθούν.
- Η διασύνδεση ελεγκτή υπολογιστή υπηρεσίας (Host Controller Interface, HCI) δεν αποτελεί επίπεδο της στοίβας αλλά λειτουργεί ως ένα σημείο διασύνδεσης και διαχωρισμού μεταξύ των χαμηλού επιπέδου ελεγκτών του υλικού και των υψηλών επιπέδου διεργασιών λογισμικού.

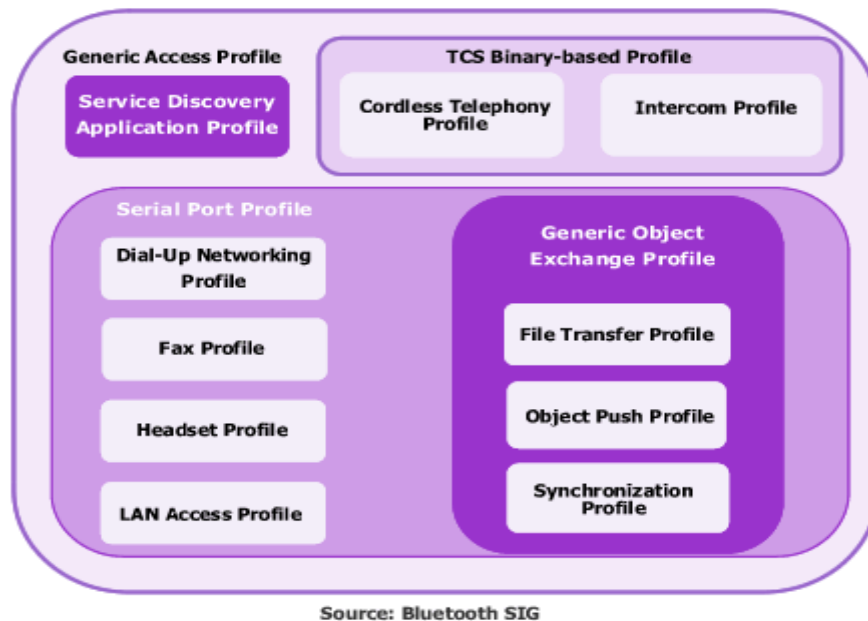
- Το επίπεδο λογικής ζεύξης και προσαρμογής (Logical Link and Adaptation Layer, L2CAP) ενθυλακώνει τα πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου για τη μετάδοση τους μέσω το Baseband.
- Το επίπεδο ανακάλυψης υπηρεσιών (Service Discovery Protocol, SDP) χρησιμοποιείται από τις συσκευές τεχνολογίας Bluetooth για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τους τύπους συσκευών, τις υπηρεσίες και τις προδιαγραφές υπηρεσιών που βρίσκονται στην εμβέλεια τους, ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία συνδέσεων μεταξύ αυτών.
- Το επίπεδο RFCOMM εκτελεί ένα πρωτόκολλο προσομοίωσης ελέγχου σειριακής γραμμής RS-232 και σηματοδότησης δεδομένων. Χρησιμοποιείται για την αντικατάσταση της καλωδίωσης προσφέροντας δυνατότητες μεταφοράς μέσω της ασύρματης σύνδεσης σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν σειριακές γραμμές ως μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων.

Η αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων της τεχνολογίας Bluetooth έχει ορισθεί λαμβάνοντας υπόψη και ήδη γνωστά πρωτόκολλα δικτύου και ανταλλαγής δεδομένων, όπως για παράδειγμα τα TCP/IP και OBEX. Όλα αυτά τα πρωτόκολλα έχουν ενθυλακωθεί στην προδιαγραφή του Bluetooth, ώστε να μπορεί το Bluetooth να ενσωματωθεί σε ήδη υπάρχουσες εφαρμογές και πρωτόκολλα μεταφοράς δεδομένων, επιτυγχάνοντας ευρεία εξάπλωση της τεχνολογίας. Επίσης, η δομή αυτή των πρωτοκόλλων επιτρέπει την υλοποίηση ανεξάρτητων μηχανισμών ασφάλειας στο επίπεδο εφαρμογής, αν απαιτείται, και στα χαμηλότερα επίπεδα, όπου εκτελούνται τα πρωτόκολλα του Bluetooth.

### **3.6 Τα προφίλ του προτύπου Bluetooth.**

Το τμήμα των προφίλ χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των εφαρμογών Bluetooth σε εννέα προφίλ εφαρμογών. Καθένα από αυτά υλοποιεί μόνο ένα συγκεκριμένο σύνολο των πρωτοκόλλων της στοίβας. Αυτού του είδους η προσέγγιση έχει υποστεί κάποια κριτική, σύμφωνα με την οποία οι προδιαγραφές του Bluetooth αποτελούν ουσιαστικά το σύνολο εννέα προτύπων αντί του ενός, με πιθανή αύξηση αυτού του αριθμού καθώς προστίθενται νέα προφίλ εφαρμογών [6-7]. Η έννοια του προφίλ είναι πολύ σημαντική, καθώς με τη βοήθεια του επιτυγχάνεται η διαλειτουργικότητα. Προκειμένου να πιστοποιηθεί μια συσκευή για μια συγκεκριμένη εφαρμογή Bluetooth, πρέπει να ακολουθεί το αντίστοιχο προφίλ. Επιπλέον, η παραγωγή

συσκευών για μια συγκεκριμένη εφαρμογή σημαίνει ότι η συσκευή μπορεί να υποστηρίξει μόνο μερικά από τα προφίλ εφαρμογών, μειώνοντας έτσι το συνολικό της κόστος.



**Εικόνα 3.2 :** Τα προφίλ του προτύπου Bluetooth.

Τα προφίλ Bluetooth είναι βασισμένα στο πρότυπο διασυνδέσεων ανοικτών συστημάτων (OSI). Τα δεκατρία προφίλ συνοψίζονται παρακάτω. Μερικά από αυτά μπορούν να υπάρξουν μόνο αν υλοποιούν άλλα προφίλ, όπως φαίνεται και από τη παραπάνω Εικόνα 3.2.

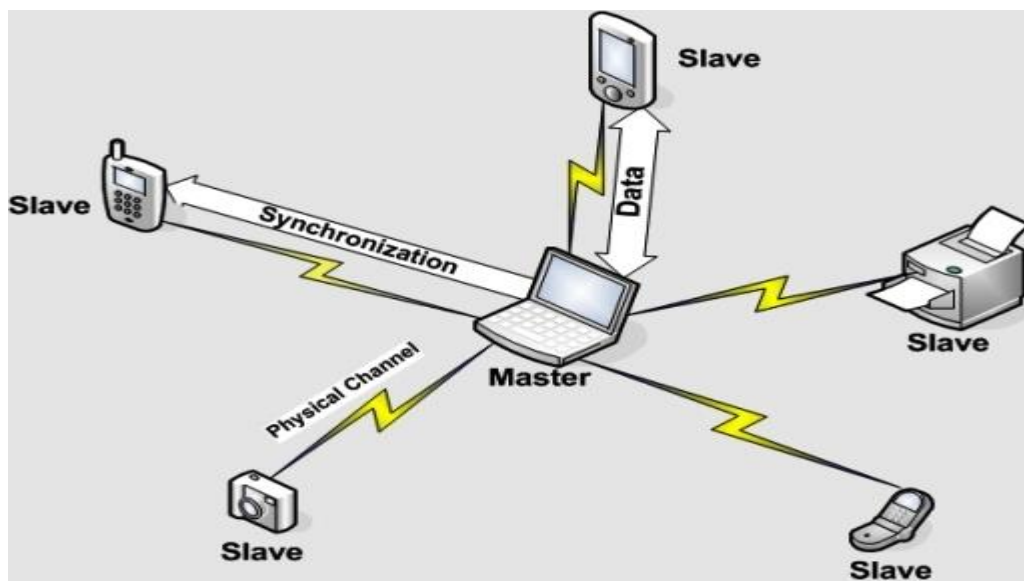
- Προφίλ γενικής πρόσβασης (Generic Access Profile). Είναι αρμόδιο για τη συντήρηση των συνδέσεων μεταξύ των συσκευών. Δεν χρησιμοποιείται σε κάποια εφαρμογή από μόνο του, αλλά πρέπει να υποστηρίζεται από κάθε συσκευή Bluetooth καθώς περιλαμβάνει τις λειτουργίες που απαιτούνται για τη χρήση όλων των άλλων προφίλ του συστήματος.
- Προφίλ εφαρμογής ανακάλυψης υπηρεσιών (Service Discovery Application Profiles). Πρόκειται για άλλο ένα προφίλ συστήματος που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στο πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών προκειμένου να διαπιστώσουν ποιες εφαρμογές υποστηρίζονται από μια συγκεκριμένη συσκευή. Η υποστήριξη του προφίλ εφαρμογής ανακάλυψης υπηρεσιών είναι προαιρετική. Αν δεν υποστηρίζεται αυτό το προφίλ συστήματος, στο πρωτόκολλο ανακάλυψης υπηρεσιών μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο εφαρμογές, και όχι χρήστες.

- Προφίλ ενδοεπικοινωνίας (Intercom Profile). Υποστηρίζει την απευθείας μετάδοση φωνής μεταξύ δυο συσκευών Bluetooth που βρίσκονται σε εμβέλεια επικοινωνίας.
- Προφίλ ασύρματης τηλεφωνίας ( Cordless Telephony Profile). Το συγκεκριμένο προφίλ εφαρμογής είναι σχεδιασμένο για να υποστηρίζει την ιδέα του τηλεφώνου «3 σε 1», που σημαίνει ότι ένα τηλέφωνο συμβατό με Bluetooth μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενδοεπικοινωνία, ως ασύρματο τηλέφωνο, ή ως κινητό τηλέφωνο.
- Προφίλ σειριακής θύρας (Serial Port Profile). Αυτό το προφίλ συστήματος προσομοιώνει τις σειριακές θύρες RS232 και USB, προκειμένου να επιτραπεί στις εφαρμογές η ανταλλαγή δεδομένων μέσω μιας σειριακής σύνδεσης.
- Προφίλ ακουστικών / μικροφώνων (Headset Profile). Πρόκειται για ένα προφίλ εφαρμογής που χρησιμοποιεί το προφίλ σειριακής θύρας για να παρέχει συνδέσεις μεταξύ υπολογιστών με ενεργοποιημένο το Bluetooth ή μεταξύ κινητών τηλεφώνων και ασύρματων ακουστικών – μικροφώνων που υποστηρίζουν το πρότυπο Bluetooth.
- Προφίλ δικτυωσης μέσω τηλεφώνου (Dial-up Networking Profile). Αυτό το προφίλ εφαρμογής χρησιμοποιεί το προφίλ σειριακής θύρας για να παρέχει τηλεφωνικές συνδέσεις μέσω κινητών τηλεφώνων που υποστηρίζουν το πρότυπο Bluetooth.
- Προφίλ φαξ (Fax Profile). Το συγκεκριμένο προφίλ εφαρμογής χρησιμοποιεί το προφίλ σειριακής θύρας για να δώσει τη δυνατότητα στους υπολογιστές να στέλνουν φαξ μέσω κινητών τηλεφώνων που υποστηρίζουν το πρότυπο Bluetooth.
- Προφίλ πρόσβασης σε τοπικό δίκτυο (LAN Access Profile). Ένα προφίλ εφαρμογής που επιτρέπει στις συσκευές Bluetooth είτε να σχηματίζουν μικρά δίκτυα IP μεταξύ τους είτε να συνδέονται με παραδοσιακά τοπικά δίκτυα μέσω σημείων πρόσβασης.
- Προφίλ γενικής ανταλλαγής αντικειμένων (Generic Object Exchange Profile). Αυτό το πρότυπο συστήματος καθορίζει τις λειτουργίες που απαιτούνται από τις συσκευές Bluetooth προκειμένου να υποστηρίξουν ανταλλαγές αντικειμένων.

- Προφίλ προώθησης αντικειμένων (Object Push Profile). Αυτό το προφίλ εφαρμογής καθορίζει τις λειτουργίες που απαιτούνται για την υποστήριξη «προωθημένων» δεδομένων. Παράδειγμα τέτοιων πληροφοριών είναι η διανομή διαφημίσεων και ειδήσεων.
- Προφίλ μεταφοράς αρχείων (File Transfer Profile). Πρόκειται για ένα προφίλ εφαρμογής που επιτρέπει τις μεταφορές αρχείων μεταξύ σύσκιων Bluetooth.
- Προφίλ συγχρονισμού (Synchronization Profile). Αυτό το προφίλ εφαρμογής επιτρέπει τον αυτόματο συγχρονισμό δεδομένων μεταξύ συσκευών Bluetooth. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το συγχρονισμό του βιβλίου διευθύνσεων ενός χρήστη μεταξύ του υπολογιστή του γραφείου του και του φορητού του υπολογιστή.

### 3.7 Μικροδίκτυα (Piconets) και δίκτυα διασποράς (Scatternets)

Δυο ή περισσότερες μονάδες Bluetooth που μοιράζονται το ίδιο κανάλι διαμορφώνουν ένα piconet. Η μια, και μόνο μια μονάδα, πρέπει να είναι master του piconet ενώ οι άλλες slaves. Τα slaves μπορούν να συμμετέχουν σε διάφορα piconets, ως slaves ή master. Εντούτοις, μόνο μια μονάδα Bluetooth μπορεί να είναι master ενός piconet. Δυο ή περισσότερα piconets που έχουν καλύψει τις γεωγραφικές περιοχές κάλυψης διαμορφώνουν ένα scatternet. Τα μεμονωμένα piconets παραμένουν μη συγχρονισμένα και διατηρούν το hopping συχνότητας τους.



**Εικόνα 3.3:** Ένα μικροδίκτυο (piconet) Bluetooth

Στη παραπάνω Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται ένα μικροδίκτυο (piconet). Οι συσκευές που βρίσκονται σε ένα μικροδίκτυο μεταπηδούν συγχρονισμένα στις συχνότητες σύμφωνα με την τιμή του εσωτερικού ρολογιού και το (μήκους 48 bit) αναγνωριστικό της κυρίας συσκευής.

### **3.8 Ασφάλεια**

Αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι η ασύρματη μετάδοση υπόκειται σε σφάλματα ασφαλείας, το πρότυπο Bluetooth παρέχει ένα πλήθος χαρακτηριστικών ασφαλείας. Εκτός από την έμφυτη ασφάλεια της μετάδοσης με διαμόρφωση διασποράς φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (FHSS), το πρότυπο Bluetooth παρέχει ένα μηχανισμό πιστοποίησης προκειμένου να αποτρέπει τη μη πιστοποιημένη πρόσβαση και ένα μηχανισμό κρυπτογράφησης των ανταλλασσόμενων πακέτων για την αποτροπή της υποκλοπής. Και οι δυο αυτές διαδικασίες ξεκινούν στο επίπεδο διαχείρισης σύνδεσης (LMP). Προκειμένου να λάβει χώρα τόσο η πιστοποίηση όσο και η κρυπτογράφηση, πρέπει να είναι γνωστό και στις δυο συσκευές το κοινό κλειδί σύνδεσης. Αυτό μπορεί να γίνει από το χρήστη μέσω της πληκτρολόγησης ενός τυχαία επιλεγόμενου αριθμού PIN και στις δυο συσκευές. Ωστόσο, αν η μια ή και οι δυο συσκευές δεν διαθέτουν αριθμητικό πληκτρολόγιο (π.χ ασύρματα ακουστικά), το επίπεδο ασφαλείας μειώνεται εξαιτίας του γεγονότος ότι το επιλεγόμενο PIN (το οποίο είτε εισάγεται από το χρήστη σε μια συσκευή είτε υπολογίζεται από την ίδια τη συσκευή) μεταδίδεται στην άλλη συσκευή σε μορφή καθαρού κειμένου. Οι προδιαγραφές του προτύπου Bluetooth παρέχουν ένα μηχανισμό που ονομάζεται «συνένωση» (pairing) και ο οποίος χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση δυο συγκεκριμένων συσκευών για πρώτη φορά. Αφού πραγματοποιηθεί συνένωση μεταξύ δυο συσκευών, αυτές μπορούν να αποθηκεύσουν το κοινό μυστικό κλειδί σύνδεσης προκειμένου να αποτραπούν μελλοντικές επισφαλείς μεταδόσεις του PIN σε περίπτωση μελλοντικής εγκατάστασης σύνδεσης μεταξύ τους.

### **3.9 HomeRF**

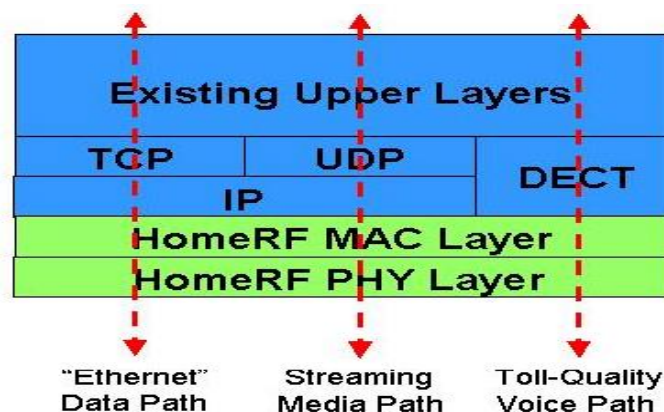
#### **3.9.1 Η ιστορία του HomeRF**

Μια άλλη πρωτοβουλία από μέλη της βιομηχανίας για την ανάπτυξη ενός προτύπου για δίκτυα PAN ξεκίνησε το 1997 με το σχηματισμό της ομάδας εργασίας HomeRF. Κύριος στόχος αυτής της ομάδας είναι να κάνει δυνατή τη

συνδυασμένη ασύρματη δικτυωση φωνής και δεδομένων μέσα στο σπίτι. Η έκδοση 1.0 του HomeRF δημοσιεύτηκε το 1999 και η έκδοση 2.0 του HomeRF δημοσιεύτηκε το 2001. Η πρώτη έκδοση μετέδιδε δεδομένα με ταχύτητα 1 Mbps στην συχνότητα των 2,4 GHz. Η δεύτερη έκδοση κράτησε την ίδια συχνότητα (δεν συγκρούεται με το Bluetooth) αλλά αύξησε την ταχύτητα στα 10 Mbps και χρησιμοποιεί τεχνολογία FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum Radio Frequency). Η εμβέλεια του μπορεί να φτάσει τα 50 μέτρα.

### 3.9.2 Η στοίβα πρωτοκόλλων του HomeRF

Το πρότυπο HomeRF, όπως και τα περισσότερα πρότυπα δικτυακών διασυνδέσεων, ορίζει μια στοίβα πρωτοκόλλων προκειμένου να περιγράψει τις λειτουργίες που αντιστοιχούν στο φυσικό επίπεδο και το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο του μοντέλου OSI. Η στοίβα πρωτοκόλλων του HomeRF φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 3.4 .



**Εικόνα 3.4 :** Η στοίβα πρωτοκόλλων του HomeRF

Οι προδιαγραφές του HomeRF ορίζουν το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC). Δεν ορίζονται πρωτόκολλα ανωτέρων επιπέδων, αλλά χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα που ήδη υπάρχουν. Τέτοια είναι το πρωτόκολλο Internet, το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (TCP), το πρωτόκολλο αυτοδύναμων πακέτων χρήστη (UDP) και το πρότυπο ψηφιακής βελτιωμένης ασύρματης τηλεπικοινωνίας (DECT).

Το HomeRF υποστηρίζει τεσσάρων τύπων δεδομένα, ασύγχρονα, ασύγχρονα με προτεραιότητα, ισόχρονα και ισόχρονα με εκπομπή και χωρίς σύνδεση. Τα ισόχρονα δεδομένα χρησιμοποιούνται από εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης και διακύμανσης καθυστέρησης, όπως π.χ η τηλεφωνία. Τα ασύγχρονα δεδομένα με προτεραιότητα χρησιμοποιούνται από εφαρμογές

συρμού δεδομένων, όπως η μεταφορά ήχου ή video. Τα ασύγχρονα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία υπολογιστών. Τέλος τα ισόχρονα δεδομένα με εκπομπή και χωρίς σύνδεση χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία εγκατάστασης μιας τηλεφωνικής κλήσης.

Κάθε ένας από τους παραπάνω τύπους δεδομένων ακολουθεί μια διαφορετική διαδρομή μέσα από τη στοίβα πρωτοκόλλων. Επιπλέον έχει διαφορετική αντιμετώπιση από τα χαμηλότερα επίπεδα (φυσικό και MAC).

### 3.9.3 Κατηγορίες συσκευών HomeRF

Υπάρχουν οι παρακάτω κατηγορίες συσκευών HomeRF:

- Σημεία σύνδεσης (Connection Points, CP). Σημείο σύνδεσης είναι η συσκευή που συνδέει το δίκτυο HomeRF με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (PSTN) και το Διαδίκτυο μέσω ενός προσωπικού υπολογιστή. Τα σημεία σύνδεσης μπορούν να είναι χωριστές συσκευές που συνδέονται με τους υπολογιστές (συνήθως, μέσω μιας θύρας USB) είτε ενσωματωμένα στον υπολογιστή. Η ύπαρξη σημείου σύνδεσης σε ένα HomeRF είναι προαιρετική.
- Ισόχρονοι κόμβοι (Isochronous nodes, I-nodes). Οι ισόχρονοι κόμβοι είναι κόμβοι που απαιτούν υποστήριξη για ισόχρονη παράδοση δεδομένων. Η μεγάλη πλειονότητα των ισόχρονων κόμβων σχετίζονται με την παράδοση δεδομένων φωνής. Τυπικό παράδειγμα ισοχρόνου κόμβου αποτελεί το ασύρματο τηλέφωνο.
- Ασύγχρονοι κόμβοι (Asynchronous nodes, A-nodes). Οι ασύγχρονοι κόμβοι είναι οι κόμβοι που εκτελούν εφαρμογές οι οποίες ανταλλάσσουν δεδομένα με ασύγχρονο τρόπο. Τυπικά παραδείγματα ασύγχρονων κόμβων αποτελούν οι κινητοί προσωπικοί υπολογιστές και οι υπολογιστές χειρός (Personal Digital Assistant, PDA).
- Συνδυασμένοι ασύγχρονοι και ισόχρονοι κόμβοι (AI-nodes). Υποστηρίζει τη μεταφορά ασύγχρονων και ισόχρονων δεδομένων.

Όπως και στην περίπτωση του προτύπου IEEE 802.11, ο τρόπος με τον οποίο ελέγχεται ένα δίκτυο HomeRF εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι ενός σημείου πρόσβασης (CP). Όταν δεν υπάρχει σημείο σύνδεσης, το σύστημα HomeRF λειτουργεί σαν προσωρινό δίκτυο και υποστηρίζει μόνο ασύγχρονες μεταφορές δεδομένων. Σε αυτή την τοπολογία, ο δικτυακός έλεγχος είναι φυσικά



κατανεμημένος και, επομένως, όλοι οι ασύγχρονοι κόμβοι μοιράζονται την ευθύνη για την εξασφάλιση συγχρονισμού.

Όταν υπάρχει σημείο σύνδεσης, το δίκτυο γίνεται συγκεντρωτικό. Σε αυτή τη περίπτωση, κατά την οποία ο έλεγχος του δικτύου αποτελεί ευθύνη του σημείου σύνδεσης, το σύστημα HomeRF μπορεί επίσης να παρέχει υποστήριξη για μεταφορά δεδομένων φωνής χωρίς ανταγωνισμό για το μέσο μετάδοσης. Η διαιτησία του εύρους ζώνης για τη μεταφορά δεδομένων φωνής μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου HomeRF γίνεται από το σημείο σύνδεσης με τη χρήση πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA). Μια άλλη ευθύνη του σημείου σύνδεσης είναι η παροχή πληροφοριών συγχρονισμού στους ασύγχρονους και ισόχρονους κόμβους, με τη μετάδοση πλαισίων σηματοδότησης. Επιπλέον, σε ένα διαχειριζόμενο δίκτυο, το σημείο σύνδεσης μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης ισχύος στους κόμβους του δικτύου του.

#### **3.9.4 Το φυσικό επίπεδο του προτύπου HomeRF**

Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δεδομένων. Η μετάδοση γίνεται στην παγκοσμίως ελεύθερη βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική ζώνη (ISM band) που βρίσκεται στα 2,4 GHz. Για τους χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (0,8 και 1,6 Mbps) χρησιμοποιούνται κανάλια με εύρος 1 MHz, ενώ για τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (5 και 10 Mbps) χρησιμοποιούνται κανάλια με εύρος 5 MHz. Επιπλέον χρησιμοποιείται και η μεταπήδηση συχνότητας για την αποφυγή παρεμβολών από άλλες συσκευές που λειτουργούν στην ίδια ζώνη. Η συχνότητα φέροντος αλλάζει κάθε 10 ή 20msec, ανάλογα με το αν υπάρχουν ή δεν υπάρχουν υποπλάσια στο σούπερ πλαίσιο του επιπέδου MAC. Όλες οι συσκευές ενός δικτύου έχουν την ίδια ακολουθία μεταπήδησης συχνοτήτων. Το φυσικό επίπεδο χειρίζεται με διαφορετικό τρόπο τα ισόχρονα και τα ασύγχρονα δεδομένα.

#### **3.9.5 Το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο του προτύπου HomeRF**

Το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο (MAC) του προτύπου HomeRF σχεδιάστηκε έτσι ώστε να υποστηρίζει τόσο ισόχρονη (π.χ φωνή) όσο και ασύγχρονη κυκλοφορία. Χρησιμοποιεί διευθυνσιοδότηση συσκευών 48 bit και παρέχει στις συσκευές HomeRF τη λειτουργικότητα να επικοινωνούν με το

δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN) χρησιμοποιώντας ένα υποσύνολο του προτύπου DECT. Προκειμένου να υποστηρίζεται τόσο ασύγχρονη όσο και ισόχρονη μετάδοση δεδομένων, το πρωτόκολλο MAC του HomeRF χρησιμοποιεί δομή σούπερ πλαισίου. Κάθε σούπερ πλαίσιο ξεκινά σε ένα νέο υποκαναλι και διαρκεί όσο και αυτό, δηλαδή είτε 10 msec είτε 20 msec, ανάλογα με την παρουσία ισόχρονων συνδέσεων. Το σούπερ πλαίσιο περιλαμβάνει δυο περιόδους χωρίς ανταγωνισμό (Contention-Free Periods, CFP) και μια περίοδο ανταγωνισμού. Οι μέθοδοι πρόσβασης που χρησιμοποιούνται για την ισόχρονη και την ασύγχρονη κυκλοφορία είναι η TDMA και η πολλαπλή ακρόαση με την ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA), αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, το πρωτόκολλο MAC του προτύπου HomeRF μπορεί να χαρακτηριστεί και υβριδικό πρωτόκολλο.

### **3.9.6 Ασφάλεια HomeRF**

Επίπεδο MAC του προτύπου HomeRF παρέχει ένα μηχανισμό πιστοποίησης ώστε να επιτρέπει τη μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και ένα μηχανισμό κρυπτογράφησης για την ασφαλή παράδοση των ανταλλασσόμενων πακέτων. Το HomeRF εκτελεί πιστοποίηση σύμφωνα με το μοντέλο ασφάλειας του προτύπου DECT. Σε ότι αφορά την κρυπτογράφηση, το HomeRF παρέχει υποστήριξη για ένα συμμετρικό μοντέλο κρυπτογράφησης, τόσο για ασύγχρονες όσο και για ισόχρονες υπηρεσίες. Κατά την εκκίνηση της σύνδεσης δυο κόμβων, ο αποστολέας ρωτά τον παραλήπτη αν μπορεί να υποστηρίξει κρυπτογράφηση. Αν όχι, η σύνδεση είτε δεν θα πραγματοποιηθεί είτε θα πραγματοποιηθεί με μη κρυπτογραφημένο τρόπο. Αν ο παραλήπτης υποστηρίζει κρυπτογράφηση, ξεκινά η διαδικασία ανταλλαγής του κοινόχρηστου μυστικού κλειδιού το οποίο μοιράζονται όλοι οι κόμβοι ενός δικτύου HomeRF. Το κλειδί μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα κόμβο με ενσωμάτωση του στη βάση πληροφοριών διαχείρισης (Management Information Base, MIB) του κόμβου, η οποία περιλαμβάνει τις παραμέτρους που απαιτούνται για τη λειτουργία του κόμβου. Προκειμένου να γίνει ανταλλαγή ενός κρυπτογραφημένου πακέτου, εκτελούνται τα ακόλουθα βήματα:

- Για κάθε πακέτο, ο αποστολέας παράγει ένα διάνυσμα αρχικών τιμών των 32 bit με βάση τον αύξοντα αριθμό του πακέτου και μια συνάρτηση κατακερματισμού της διεύθυνσης MAC μήκους 48 bit του αποστολέα.

- Ο αποστολέας χρησιμοποιεί ένα μυστικό κλειδί μήκους 56 bit και το διάνυσμα για να κρυπτογραφήσει το μήνυμα που πρόκειται να μεταδοθεί
- Όταν ο παραλήπτης λάβει το μήνυμα, χρησιμοποιεί το ίδιο μυστικό κλειδί και τον αύξοντα αριθμό του πακέτου προκειμένου να κάνει την αποκρυπτογράφηση.

Η παραπάνω ανάλυση αφορά μόνο την κυκλοφορία μονής εκπομπής. Οι μεταδόσεις πολλαπλής και ευρείας εκπομπής δεν κρυπτογραφούνται επειδή δεν είναι βέβαιο ότι υποστηρίζουν κρυπτογράφηση όλοι οι ασύγχρονοι κόμβοι του δικτύου HomeRF.

### 3.9.7 Σύγκριση των χαρακτηριστικών των δικτύων Bluetooth και HomeRF

**Πίνακας 4:** Σύγκριση χαρακτηριστικών των δικτύων Bluetooth και HomeRF.

	<b>Bluetooth</b>	<b>HomeRF1.2</b>	<b>HomeRF 2.0</b>
Συχνότητα	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Ρυθμός μεταπήδησης	1600 hops/sec	50 hops/sec	50 ή 100 hops/sec
Πακέτα/hop	1 (γρήγορη μεταπήδηση συχνότητας)	>1 (αργή μεταπήδηση συχνότητας)	>1 (αργή μεταπήδηση συχνότητας)
Εμβέλεια	10 ή 100 μ	~50μ	~50μ
Τοπολογία	Ad hoc	Αδόμητη (κυκλοφορία δεδομένων) Κε ντριοποιημενη (κυκλοφορία δεδομένων και φωνής)	Αδόμητη (κυκλοφορία δεδομένων) Κε ντριοποιημενη (κυκλοφορία δεδομένων και φωνής)
Μέθοδος κατανομής εύρους ζώνης για κυκλοφορία φωνής	Βολιδοσκόπηση	TDMA	TDMA
Υποστήριξη δεδομένων	Έως 721 kbps	Έως 1,6 Mbps	Έως 10 Mbps
Μέθοδος κατανομής εύρους ζώνης για κυκλοφορία δεδομένων	Βολιδοσκόπηση	CSMA/CA	CSMA/CA
Μήκος κλειδιού ασφάλειας	128 bit	56 bit	128 bit

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11

#### 4.1 Εισαγωγή

Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) που έχουν ως σκοπό να επεκτείνουν το 802.3 (Ethernet, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης υπολογιστών) στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα 802.11 είναι ευρύτερα γνωστά ως «WiFi» επειδή η WiFi Alliance, ένας οργανισμός ανεξάρτητος της IEEE, παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που υπακούν στις προδιαγραφές του 802.11. Αυτή η οικογένεια πρωτοκόλλων αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων.

Με την ανάπτυξη του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 και των σχετικών τεχνολογιών, επιτράπηκε στον μετακινούμενο χρήστη να κινείται σε διάφορα μέρη π.χ. αίθουσες συνεδριάσεων, διάδρομους, λόμπι, καφετέριες, τάξεις, και ούτω καθ' εξής, και να έχει ακόμα πρόσβαση στα δεδομένα του δικτύου. Επίσης, πέρα από τον εταιρικό εργασιακό χώρο, επιτράπηκε η πρόσβαση στο Διαδίκτυο, και ακόμη και οι εταιρικές ιστοσελίδες μπορούν να παρασχεθούν μέσω των δημόσιων ασύρματων «hot spot» δικτύων. Οι αερολιμένες, τα εστιατόρια, οι σιδηροδρομικοί σταθμοί, και οι πιο κοινές περιοχές σε όλες τις πόλεις μπορούν να διαμορφωθούν για να παρέχουν αυτήν την υπηρεσία.

Η ανάπτυξη του ασύρματου τοπικού δικτύου (WLANs) άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και ξεκίνησε από την αμερικανική Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC), απόφαση η οποία επέτρεψε τη δημόσια χρήση της Βιομηχανικής, Επιστημονικής και Ιατρικής (Industrial Scientific and Medical - ISM) ζώνης συχνοτήτων. Η απόφαση αυτή κατέργησε την ανάγκη των επιχειρήσεων και των τελικών χρηστών να λαμβάνουν FCC άδειες για την εκμετάλλευση των ασύρματων προϊόντων τους. Έκτοτε, σημειώθηκε σημαντική αύξηση στον τομέα των WLANs. Η έλλειψη προτύπων, ωστόσο, επέτρεψε την εμφάνιση πολλών ασύμβατων προϊόντων με αποτέλεσμα τη διαίρεση της αγοράς σε πολλά, ενδεχομένως, διαφορετικά τμήματα. Κατά συνέπεια, εμφανίστηκε η ανάγκη για τυποποίηση στον τομέα των ασύρματων προϊόντων.

Η πρώτη προσπάθεια να καθορισθεί ένα πρότυπο έγινε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 από την Ομάδα Εργασίας 802.4 του IEEE, η οποία ήταν υπεύθυνη για την ανάπτυξη ενός ασύρματου LAN ISM χρησιμοποιώντας το ισοδύναμο με το δίαυλο διέλευσης κουπονιών (token-passing). Η ομάδα αποφάσισε ότι η εργασία αυτή είναι μια αναποτελεσματική μέθοδος για τον έλεγχο ενός ασύρματου δικτύου και πρότεινε την ανάπτυξη ενός εναλλακτικού προτύπου. Ως αποτέλεσμα, η εκτελεστική επιτροπή του IEEE αποφάσισε να δημιουργήσει το πρότυπο IEEE 802.11 το οποίο καθορίζει τις προδιαγραφές τόσο του φυσικού επιπέδου όσο και του υποεπιπέδου MAC του επιπέδου ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer) για WLANs. Το πρώτο πρότυπο 802.11 ολοκληρώθηκε το 1997 και αναπτύχθηκε λαμβάνοντας υπόψη την εξέταση υπαρχόντων ερευνητικών προσπαθειών και τα προϊόντα της αγοράς, σε μια προσπάθεια να αντιμετωπίσει τόσο τεχνικά θέματα και όσο και θέματα αγοράς. Περιλαμβάνει το επίπεδο MAC και τρεις προδιαγραφές φυσικού επιπέδου, δύο για την ζώνη των 2.4GHz και μία για τις υπέρυθρες, όπου όλες λειτουργούν στα 1 και 2Mbps. Τον Σεπτέμβριο του 1999, εγκρίθηκαν δύο εκδόσεις του αρχικού προτύπου από το Συμβούλιο Προτύπων του IEEE. Το πρώτο πρότυπο, 802.11b, επεκτείνει την απόδοση των υπαρχόντων 2.4GHz του φυσικού επιπέδου, με ρυθμούς δεδομένων μέχρι και 11Mbps. Το δεύτερο πρότυπο, 802.11a, έχει ως στόχο να προσφέρει ένα νέο, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (από 20 έως 54Mbps) στο φυσικό επίπεδο στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz. Η οικογένεια των 802.11 προτύπων φαίνεται στον Πίνακα 5.

**Πίνακας 5:** Οικογένεια 802.11

	<b>802.11</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11b</b>	<b>802.11g</b>	<b>802.11n</b>
<b>Εφαρμογή</b>	WLAN	WLAN	WLAN	WLAN	WLAN
<b>Ζώνη συχνοτήτων</b>	2.4GHz	2.4GHz	5GHz	2.4GHz	2.4GHz
<b>Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων</b>	2Mbps	54Mbps	11Mbps	54Mbps	100Mbps

## 4.2 Αρχιτεκτονική του 802.11

Το μικρότερο τμήμα ενός ασύρματου LAN αποτελείται από μια βασική ομάδα υπηρεσιών (Basic Service Set, BSS), η οποία αποτελείται από έναν αριθμό σταθμών που εκτελούν το ίδιο πρωτόκολλο MAC και ανταγωνίζονται για την πρόσβαση στο ίδιο κοινόχρηστο ασύρματο μέσο. Μία BSS μπορεί να είναι απομονωμένη ή μπορεί να συνδέεται σε ένα κεντρικό σύστημα διανομής (Distribution System, DS) από ένα σημείο πρόσβασης (Access Point, AP). Το AP λειτουργεί ως μία γέφυρα. Το πρωτόκολλο MAC μπορεί να είναι πλήρως καταμετρημένο ή ελεγχόμενο από μία κεντρική λειτουργία συντονισμού που βρίσκεται στο AP. Το σύστημα διανομής μπορεί να είναι ένας μεταγωγέας, ένα ενσύρματο δίκτυο ή ένα ασύρματο δίκτυο.

Κάθε σταθμός βρίσκεται μέσα στην ασύρματη εμβέλεια μόνο όσων σταθμών βρίσκονται στην ίδια BSS. Επίσης υπάρχει η πιθανότητα δύο BSS να επικαλύπτονται γεωγραφικά με αποτέλεσμα ένας σταθμός να συμμετέχει ταυτόχρονα και στις δύο. Επιπλέον, η σχέση μεταξύ ενός σταθμού και μιας BSS είναι δυναμική, το οποίο σημαίνει ότι οι σταθμοί μπορεί να απενεργοποιούνται, να βρίσκονται εντός εμβέλειας ή να βρίσκονται εκτός εμβέλειας.

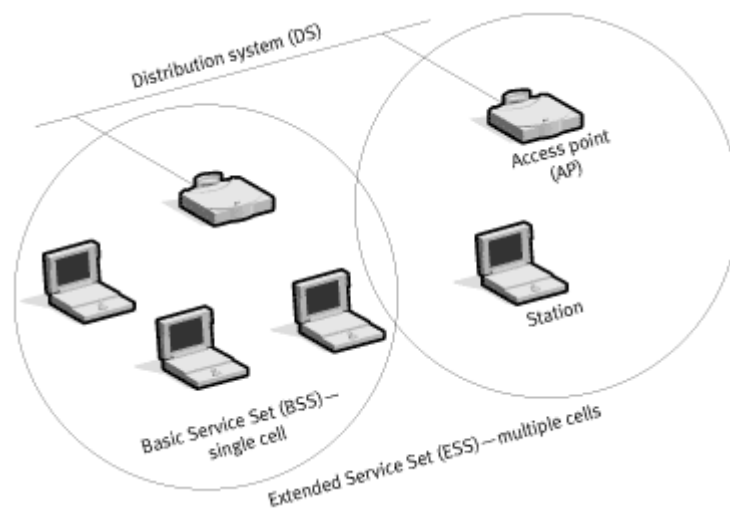
Μία εκτεταμένη ομάδα υπηρεσιών (Extended Service Set, ESS) αποτελείται από δύο ή περισσότερες BSS που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός συστήματος διανομής. Συνήθως, το σύστημα διανομής είναι ένα κεντρικό ενσύρματο LAN αλλά μπορεί να είναι και οποιοδήποτε δίκτυο επικοινωνιών. Η ESS εμφανίζεται στο στρώμα ελέγχου λογικής σύνδεσης (LLC) ως ένα μόνο λογικό LAN.

Το AP παρέχει την πρόσβαση στο DS, προσφέροντας και υπηρεσίες συστήματος διανομής εκτός από τη βασική λειτουργία ως σταθμού. Για τη ενοποίηση της αρχιτεκτονικής 802.11 μέσα σε ένα παραδοσιακό ενσύρματο LAN χρησιμοποιείται μία πύλη εισόδου (portal), της οποίας η λογική υλοποιείται σε μία συσκευή, όπως μία γέφυρα ή ένας δρομολογητής, που είναι μέρος του ενσύρματου LAN και είναι φυσικά συνδεδεμένη στο DS.

### 4.3 Τρόποι λειτουργίας του 802.11

Το 802.11 πρότυπο ορίζει δύο τρόπους λειτουργίας : λειτουργία infrastructure και ad hoc λειτουργία. Και στους δύο τρόπους λειτουργίας, ένα Service Set Identifier (SSID), επίσης γνωστό και ως wireless network name, προσδιορίζει το ασύρματο δίκτυο. Το SSID είναι ένα όνομα που διαμορφώνεται στο ασύρματο AP (για το infrastructure mode) ή ένας αρχικός ασύρματος client (για το ad hoc mode) που προσδιορίζει το ασύρματο δίκτυο. Το SSID προβάλλεται περιοδικά από τον ασύρματο AP ή τον αρχικό ασύρματο client χρησιμοποιώντας ένα ειδικό πλαίσιο διαχείρισης MAC 802.11 γνωστό ως beacon frame.

Στην κατάσταση λειτουργίας υποδομής (*infrastructure mode*) το ασύρματο δίκτυο αποτελείται από τουλάχιστον ένα σημείο πρόσβασης, το οποίο συνδέεται με το ενσύρματο δίκτυο, και ένα σύνολο από ασύρματους σταθμούς (Basic Service Set, BSS). ). Δεδομένου ότι τα περισσότερα WLANs απαιτούν πρόσβαση στο ενσύρματο LAN λόγω του διαμοιρασμού υπηρεσιών (υπηρεσίες αρχείων, εκτυπωτές, σύνδεσμοι με το διαδίκτυο) λειτουργούν σύμφωνα με την infrastructure λειτουργία.



**Εικόνα 4.1:** Παράδειγμα infrastructure δικτύου

Η κατάσταση λειτουργίας ad hoc (η οποία ονομάζεται και peer-to-peer λειτουργία ή Independent Basic Service Set, ή IBSS) είναι απλά ένα σύνολο από 802.11 ασύρματους σταθμούς οι οποίοι επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, χωρίς να χρησιμοποιούν σημεία πρόσβασης ή οποιαδήποτε σύνδεση με ένα

ενσύρματο δίκτυο. Συσκευές οι οποίες βρίσκονται εντός εμβέλειας μεταξύ τους, μπορούν να βρεθούν και να επικοινωνήσουν απευθείας, χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου κεντρικού AP. Αυτή η λειτουργία είναι χρήσιμη για την εύκολη και γρήγορη δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου οπουδήποτε δεν υπάρχει μια ενσύρματη υποδομή ή δεν απαιτείται η χρήση των παραπάνω υπηρεσιών, ή όπου η πρόσβαση στο δίκτυο δεν επιτρέπεται.

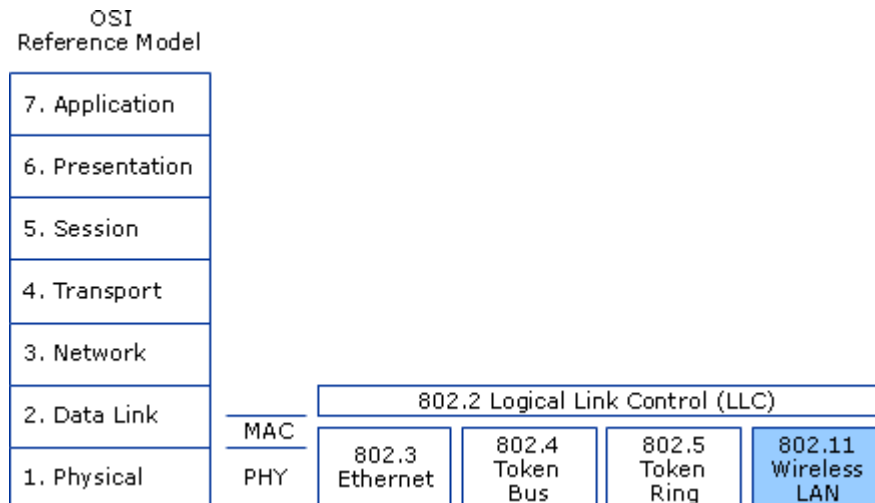


**Εικόνα 4.2:** Παράδειγμα ad hoc δικτύου

#### **4.4 Το πρωτόκολλο 802.11**

Το μοντέλο OSI ορίζει δύο χωριστά επίπεδα, τον έλεγχο λογικού συνδέσμου (Logical Link Control ή LLC) και τον έλεγχο προσπέλασης μέσω (Media Access Control ή MAC), για το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (Data Link Layer). Το IEEE 802.11 ασύρματο πρότυπο καθορίζει τις προδιαγραφές για το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσω (MAC) που επικοινωνεί μέχρι το επίπεδο LLC, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Η Εικόνα 4.3 συσχετίζει τα πρωτόκολλα LAN με την αρχιτεκτονική OSI. Αυτή η αρχιτεκτονική αναπτύχθηκε από την επιτροπή IEEE 802, έχει υιοθετηθεί από όλους τους οργανισμούς που εργάζονται πάνω στις προδιαγραφές των προτύπων LAN και γενικά αναφέρεται ως το μοντέλο αναφοράς IEEE 802. [8-9]





**Εικόνα 4.3:** 802.11 και μοντέλο αναφοράς OSI

Όλα τα συστατικά στην αρχιτεκτονική του 802.11 περιέρχονται είτε στο υποεπίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσω (MAC) του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων είτε στο φυσικό επίπεδο.

#### 4.4.1 Φυσικό Επίπεδο του 802.11

Στο φυσικό επίπεδο (PHY), το IEEE 802.11 καθορίζει μια σειρά τεχνικών κωδικοποίησης και μετάδοσης για τις ασύρματες επικοινωνίες, εκ των οποίων οι πιο κοινές είναι :

- Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας που λειτουργεί στη ζώνη των 2.4GHz, σε ρυθμούς δεδομένων 1 και 2Mbps.
- Διασπορά φάσματος αναπήδησης συχνότητας που λειτουργεί στη ζώνη ISM 2.4GHz σε ρυθμούς δεδομένων 1 και 2Mbps.
- Υπέρυθρες σε ρυθμούς δεδομένων 1 και 2Mbps που λειτουργούν με μήκος κύματος μεταξύ 850 και 950 nm.
- Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας.

Οι πίνακες συνοψίζουν τις βασικότερες λειτουργίες.

Πίνακες Προδιαγραφών του Φυσικού Επιπέδου του IEEE 802.11

**Πίνακας 6:** Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας

Ρυθμός δεδομένων	Μήκος κύματος τεμαχισμού	Διαμόρφωση	Ρυθμός συμβόλων	Bit/σύμβολο
1Mbps	11(ακολουθία Barker)	DBPSK	1Msps	1
2Mbps	11(ακολουθία Barker)	DBPSK	1Msps	2
5,5Mbps	8 (CCK)	DBPSK	1.375Msps	4
11Mbps	8 (CCK)	DBPSK	1.375Msps	8

**Πίνακας 7:** Διασπορά φάσματος αναπήδησης συχνότητας

Ρυθμός δεδομένων	Διαμόρφωση	Ρυθμός συμβόλων	Bit/σύμβολο
1Mbps	GFSK 2 επιπέδων	1Msps	1
2Mbps	GFSK 4 επιπέδων	1Msps	2

**Πίνακας 8:** Υπέρυθρες

Ρυθμός δεδομένων	Διαμόρφωση	Ρυθμός συμβόλων	Bit/σύμβολο
1Mbps	16-PPM	4Msps	0.25
2Mbps	4-PPM	4Msps	0.5

**Πίνακας 9: Ορθογώνιο FDM**

Ρυθμός δεδομένων	Διαμόρφωση	Ρυθμός κωδικοποίησης	Κωδικοποιημένα bit ανά φέρουσα	Κωδικοποιημένα bit ανά σύμβολο OFDM	Bit δεδομένων ανά σύμβολο OFDM
6Mbps	BPSK	1/2	1	48	24
9 Mbps	BPSK	3/4	1	48	36
12Mbps	QPSK	1/2	2	96	48
18Mbps	QPSK	$\frac{3}{4}$	2	96	72
24Mbps	16-QAM	$\frac{1}{2}$	4	192	96
36Mbps	16-QAM	$\frac{3}{4}$	4	192	144
48Mbps	64-QAM	2/3	6	288	192
54Mbps	64-QAM	3/4	6	288	216

#### 4.4.1.1 Υπέρυθρες

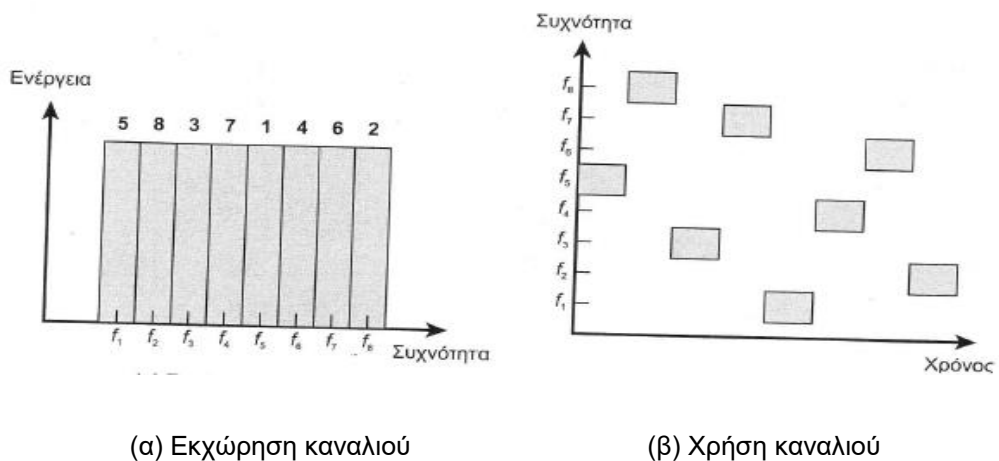
Ένα σύστημα υπερύθρων IEEE 802.11 είναι πανκατευθυντικό με εμβέλεια μέχρι και τα 20m. Η μέθοδος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται για ρυθμό δεδομένων 1Mbps είναι η 16-PPM(pulse modulation, διαμόρφωση θέσης παλμού), στην οποία κάθε ομάδα 4 bit δεδομένων αντιστοιχίζεται σε ένα από τα 16-PPM σύμβολα. Το κάθε σύμβολο είναι μία ακολουθία των 16 bit, η οποία αποτελείται από δεκαπέντε 0 και ένα 1. Για το ρυθμό δεδομένων των 2Mbps, κάθε ομάδα 2 bit δεδομένων αντιστοιχίζεται σε μία από τις ακολουθίες των 4 bit που η καθεμία αποτελείται από τρία 0 και ένα 1. Η πραγματική εκπομπή χρησιμοποιεί μία μέθοδο διαμόρφωσης έντασης, στην οποία η παρουσία του σήματος αντιστοιχεί σε δυαδικό 1 και η απουσία του σήματος αντιστοιχεί σε δυαδικό 0.

#### 4.4.1.2. Διασπορά Φάσματος Αναπήδησης Συχνότητας

Με τη διασπορά φάσματος αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS), το σήμα εκπέμπεται σε μία φαινομενικά τυχαία σειρά ραδιοσυχνοτήτων, αναπηδώντας από συχνότητα σε συχνότητα σε σταθερά

χρονικά διαστήματα. Ένας δέκτης, που μεταπηδάει μεταξύ συχνοτήτων σε συγχρονισμό με τον πομπό, λαμβάνει το μήνυμα. Οι υποκλοπείς ακούν μόνο ακατανόητους ήχους. Οι προσπάθειες παρεμβολής παρασίτων στο σήμα το μόνο που πετυχαίνουν είναι να εξαλείψουν μερικά bit.

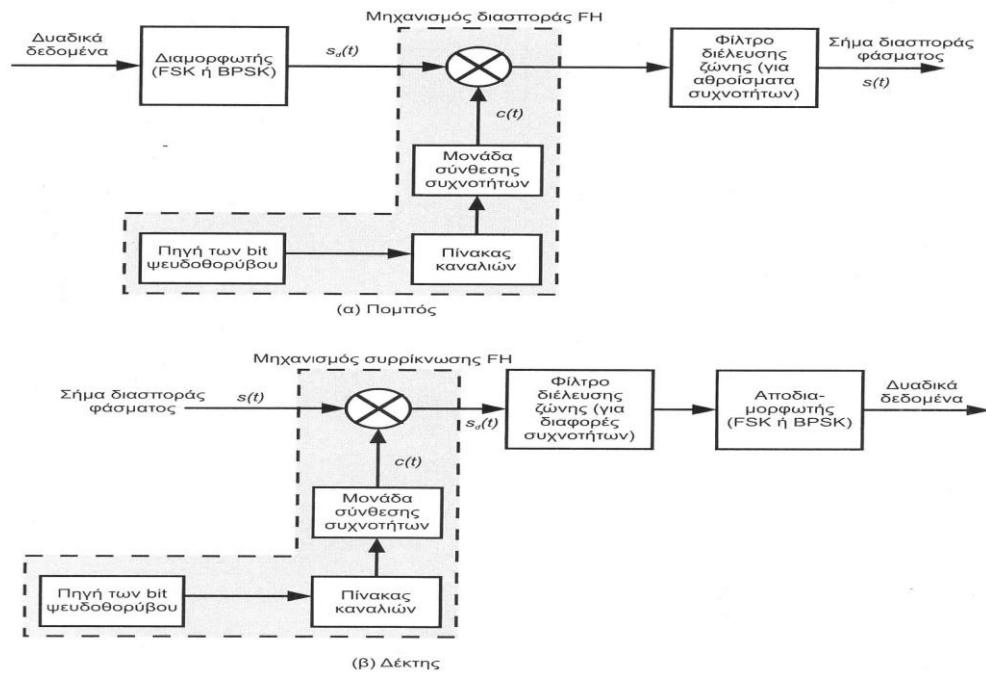
Στην Εικόνα 4.4 δείχνει ένα παράδειγμα ενός σήματος αναπήδησης συχνότητας, στο οποίο μπορούμε να δούμε ότι έχουν εκχωρηθεί κάποια κανάλια. Συνήθως, υπάρχουν  $2^k$  φέρουσες συχνότητες που σχηματίζουν  $2^k$  κανάλια. Η απόσταση μεταξύ των φερουσών συχνοτήτων και επομένως του εύρους του κάθε καναλιού αντιστοιχεί συνήθως στο εύρος ζώνης του σήματος εισόδου. Ο πομπός λειτουργεί σε ένα κανάλι τη φορά για ένα σταθερό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, το πρότυπο 802.11 χρησιμοποιεί διάστημα 300ms. Κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος, εκπέμπεται ένας αριθμός bit (ή ένα μέρος bit) χρησιμοποιώντας κάποια μέθοδο κωδικοποίησης. Η ακολουθία των καναλιών που χρησιμοποιείται υπαγορεύεται από έναν κώδικα διασποράς. Και ο πομπός και ο δέκτης χρησιμοποιούν τον ίδιο κώδικα για να συντονιστούν στην ακολουθία των καναλιών σε συγχρονισμό.



**Εικόνα 4.4 :** Σχήμα 5 Παράδειγμα Αναπήδησης Συχνότητας

Ένα τυπικό μπλοκ διάγραμμα για ένα σύστημα αναπήδησης συχνότητας φαίνεται στο Σχήμα 6. Για τη μετάδοση, τα δυαδικά δεδομένα εισέρχονται σε ένα διαμορφωτή χρησιμοποιώντας κάποια μέθοδο κωδικοποίησης από ψηφιακό σε αναλογικό, όπως διαμόρφωση μετατόπισης συχνότητας (FSK) ή δυαδική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (BPSK). Το σήμα που προκύπτει τοποθετείται με

κέντρο κάποια συχνότητα βάσης. Μία πηγή ψευδοθορύβου (Pseudonoise, PN), ή ψευδοτυχαίων αριθμών, χρησιμεύει ως δείκτης μέσα σε έναν πίνακα συχνοτήτων.



**Εικόνα 4.5** Σύστημα Διασποράς Φάσματος Αναπήδησης Συχνότητας

Αυτός είναι ο κώδικας διασποράς. Η κάθε ομάδα k-bit της πηγής PN καθορίζει μία από τις  $2^k$  φέρουσες συχνότητες. Σε κάθε διαδοχικό διάστημα (δηλ., σε κάθε ομάδα k-bit της πηγής PN) επιλέγεται μία φέρουσα συχνότητα. Αυτή η συχνότητα, στη συνέχεια, διαμορφώνεται από το σήμα που δημιουργήθηκε από τον αρχικό διαμορφωτή για να δώσει ένα νέο σήμα με την ίδια μορφή το οποίο όμως έχει πλέον ως κέντρο την επιλεγμένη συχνότητα. Στη λήψη, το σήμα διασποράς φάσματος αποδιαμορφώνεται χρησιμοποιώντας την ίδια πηγή PN και στη συνέχεια αποδιαμορφώνεται για να δώσει τα δεδομένα εξόδου.

Στην Εικόνα 4.5 υποδηλώνει ότι τα δύο σήματα πολλαπλασιάζονται. Ακολουθεί ένα παράδειγμα όπου παρουσιάζεται ο μηχανισμός λειτουργίας της FHSS, χρησιμοποιώντας ως μέθοδο κωδικοποίησης τη BFSK. Μπορούμε να ορίσουμε την είσοδο FSK στο σύστημα FHSS ως εξής :

$$s_d(t) = A \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f) t) \text{ για } iT < t < (i + 1)T \quad (1)$$

όπου

$A$  = πλάτος σήματος

$f_0$  = συχνότητα βάσης

$b_i$  = η τιμή του  $i$ -οστού bit δεδομένων (+1 για δυαδικό 1 και -1 για δυαδικό 0)

$\Delta_f$  = διαχωρισμός συχνοτήτων

$T$  = διάρκεια bit, ρυθμός bit =  $1/T$

Έτσι, κατά το διάστημα του  $i$ -οστού bit, η συχνότητα του σήματος δεδομένων είναι  $f_0$  αν το bit δεδομένων είναι -1 και  $f_0 + \Delta_f$  αν το bit δεδομένων είναι +1.

Η μονάδα σύνθεσης συχνοτήτων παράγει έναν τόνο σταθερής συχνότητας του οποίου η συχνότητα αναπηδά μεταξύ ενός συνόλου  $2^k$  συχνοτήτων, με το πλαίσιο των αναπηδήσεων να καθορίζεται από μία ομάδα  $k$ -bit από την ακολουθία PN. Για απλότητα, υποθέτουμε ότι η διάρκεια μίας αναπήδησης είναι ίδια με τη διάρκεια ενός bit και αγνοούμε τις διαφορές φάσης μεταξύ του σήματος δεδομένων  $s_d(t)$  και του σήματος διασποράς  $c(t)$ . Τότε το παραγόμενο σήμα κατά τη διάρκεια της  $i$ -οστής αναπήδησης (κατά τη διάρκεια δηλαδή του  $i$ -οστού bit) είναι :

$$p(t) = s_d(t)c(t) = A \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f) t) \cos(2\pi f_i t)$$

όπου  $f_i$  είναι η συχνότητα του σήματος που παράγεται από τη μονάδα σύνθεσης συχνοτήτων κατά τη διάρκεια της  $i$ -οστής αναπήδησης. Χρησιμοποιώντας την τριγωνομετρική ταυτότητα

$$\cos(x)\cos(y) = (1/2)(\cos(x + y) + \cos(x - y)), \text{ έχουμε}$$

$$p(t) = 0.5A[\cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f + f_i) t) + \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f - f_i) t)]$$

Ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης (Σχήμα 6) χρησιμοποιείται για να εμποδίσει τη διέλευση της συχνότητας διαφοράς και να επιτρέψει τη διέλευση της συχνότητας αθροίσματος, δίνοντας το σήμα FHSS που είναι της μορφής

$$s(t) = 0.5A \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f + f_i) t) \quad (2)$$

Επομένως, κατά τη διάρκεια του  $i$ -οστού bit η συχνότητα του σήματος δεδομένων είναι  $f_0 + f_1$  αν το bit δεδομένων είναι  $-1$  και  $f_0 + f_1 + \Delta f$  αν το bit δεδομένων είναι  $+1$ .

Στο δέκτη, το σήμα που θα ληφθεί θα είναι της μορφής  $s(t)$  που μόλις ορίστηκε. Αυτό πολλαπλασιάζεται με ένα αντίγραφο του σήματος διασποράς για να δώσει ένα σήμα της μορφής

$$p(t) = s(t)c(t) = 0.5A \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f + f_i) t) \cos(2\pi f_i t)$$

Χρησιμοποιώντας και πάλι την τριγωνομετρική ταυτότητα, έχουμε

$$p(t) = s(t)c(t) =$$

$$0.25A[\cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f + f_i + f_i) t) + \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f) t)]$$

Ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης (Σχήμα 6) χρησιμοποιείται για να εμποδίσει τη διέλευση της συχνότητας αθροίσματος και να επιτρέψει τη διέλευση της συχνότητας διαφοράς, δίνοντας ένα σήμα της μορφής  $s_d(t)$ , που ορίζεται στην Εξίσωση (1.1) :

$$0.25A \cos(2\pi (f_0 + 0.5(b_i + 1)\Delta_f)t)$$

#### 4.4.1.2.1. FHSS με χρήση MFSK

Μία συνηθισμένη τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την FHSS είναι η πολλαπλή FSK (Multiple FSK). Η MFSK χρησιμοποιεί  $M = 2^L$  διαφορετικές συχνότητες για την κωδικοποίηση της ψηφιακής εισόδου των  $L$  bit τη φορά.

Το μεταδιδόμενο σήμα είναι της μορφής

$$s_i(t) = A \cos 2\pi f_i T, \quad 1 \leq i \leq M$$

όπου

$$f_i = f_c + (2i - 1 - M)f_d$$

$f_c$  = η φέρουσα συχνότητα

$f_d$  = η συχνότητα διασποράς

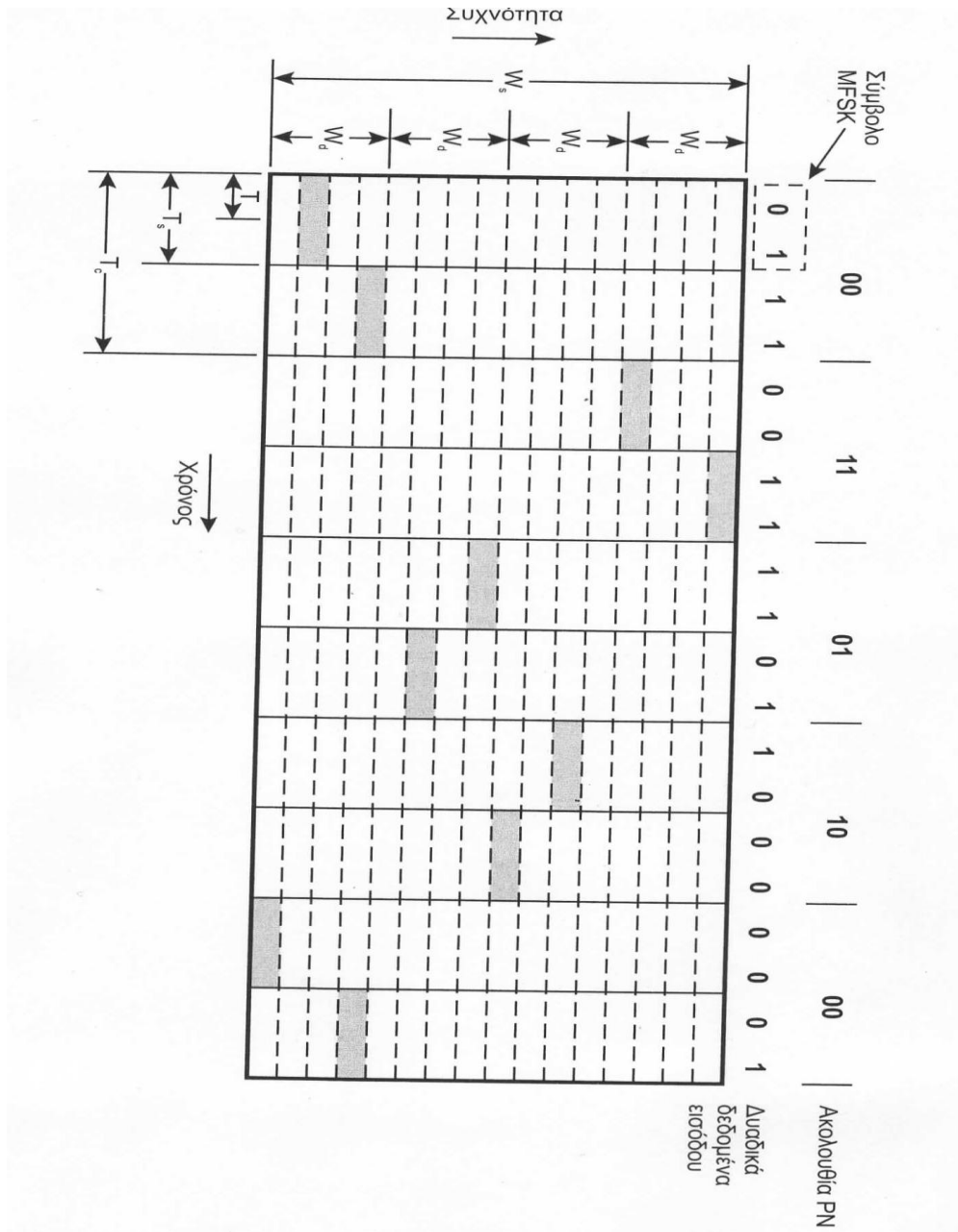
$M = \text{αριθμός διαφορετικών στοιχείων σήματος} = 2^L$

$L = \text{αριθμός bit ανά στοιχείο σήματος}$

Για FHSS, το σήμα MFSK μεταφράζεται σε μία συχνότητα κάθε  $T_c$  δευτερόλεπτα διαμορφώνοντας το σήμα MFSK με το φέρον σήμα FHSS. Το αποτέλεσμα είναι η μετάφραση του σήματος MFSK στο κατάλληλο κανάλι FHSS. Για ένα ρυθμό δεδομένων  $R$ , η διάρκεια ενός bit είναι  $T = 1/R$  δευτερόλεπτα και η διάρκεια ενός στοιχείου σήματος είναι  $T_s = LT$  δευτερόλεπτα. Αν η  $T_c$  είναι μεγαλύτερη από ή ίση με την  $T_s$ , η διαμόρφωση διασποράς λέγεται διασπορά φάσματος αργής αναπήδησης συχνότητας, ενώ αν η  $T_c$  είναι μικρότερη από την  $T_s$  λέγεται διασπορά φάσματος γρήγορης αναπήδησης συχνότητας.

Στην Εικόνα 4.6 είναι ένα παράδειγμα της αργής FHSS. Έχουμε  $M = 4$ , που σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικές συχνότητες για την κωδικοποίηση εισόδου δεδομένων ανά 2 bit τη φορά. Κάθε στοιχείο σήματος είναι μία διακριτή συχνότητα και το συνολικό εύρος ζώνης MFSK είναι  $W_d = Mf_d$ . Η διάταξη FHSS που χρησιμοποιείται έχει  $k = 2$ . Δηλαδή, υπάρχουν  $4 = 2^k$  διαφορετικά κανάλια, που το καθένα έχει εύρος  $W_d$ . Το συνολικό εύρος FHSS  $W_s = 2^k W_d$ . Κάθε ομάδα 2-bit της ακολουθίας PN χρησιμοποιείται για να επιλέξει ένα από τα τέσσερα κανάλια. Το κανάλι αυτό κρατείται για διάρκεια δύο στοιχείων σήματος ή τεσσάρων bit ( $T_c = 2T_s = 4T$ ).

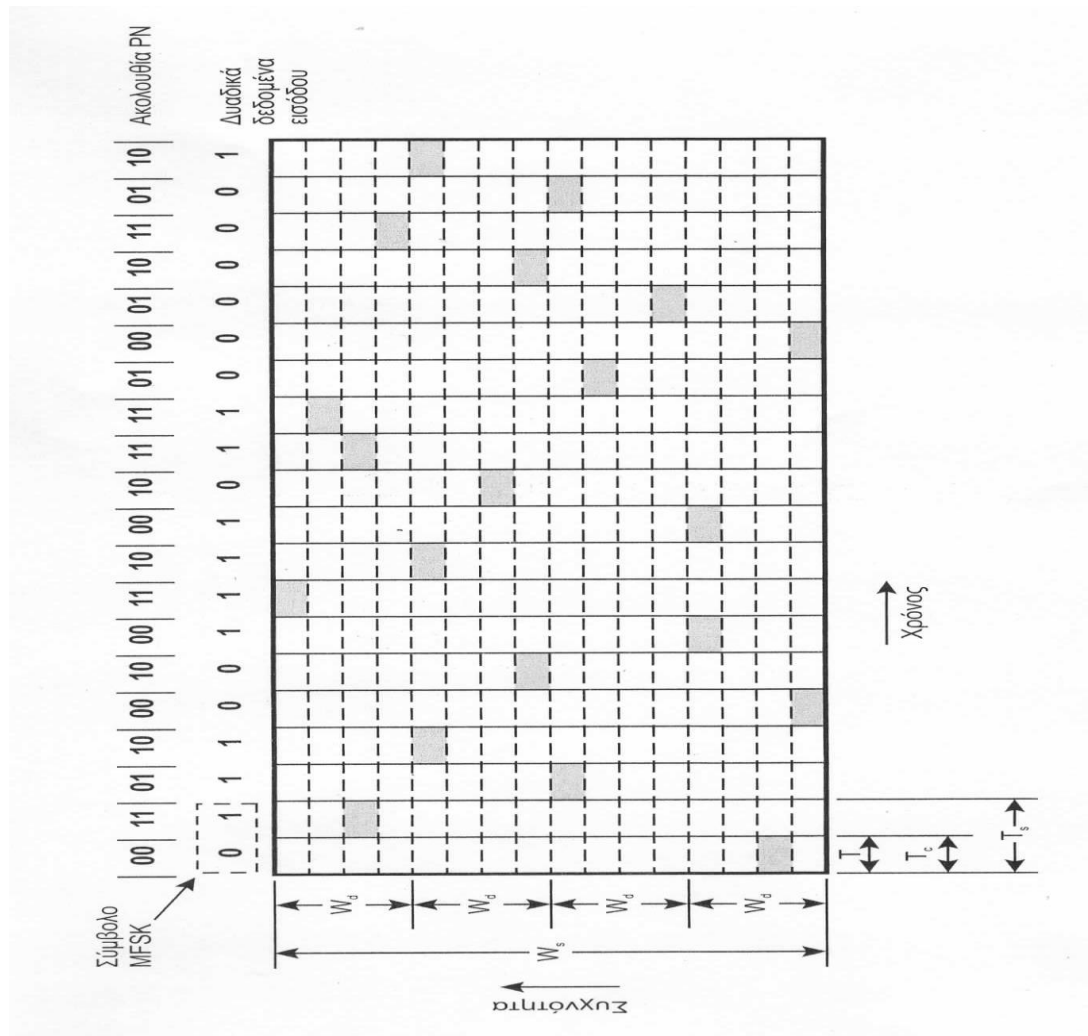




**Εικόνα 4.6:** Διασπορά Φάσματος Αργής Αναπήδησης Συχνότητας με χρήση MFSK ( $M = 4, k = 2$ )

Στην Εικόνα 4.8 είναι ένα παράδειγμα της γρήγορης FHSS. Έχουμε  $M = 4$  και  $k = 2$ . Σε αυτή τη περίπτωση, όμως, κάθε στοιχείο σήματος αναπαριστάται από δύο τόνους συχνοτήτων. Και πάλι,  $W_d = Mf_d$  και  $W_s = 2^k W_d$ . Σε αυτό το παράδειγμα,  $T_s = 2T_c = 2T$ . Γενικά, η γρήγορη FHSS παρέχει βελτιωμένη απόδοση

συγκρινόμενη με την αργή FHSS σε σχέση με το θόρυβο ή την παρεμβολή παρασίτων. Για παράδειγμα, αν για κάθε στοιχείο σήματος χρησιμοποιούνται τρεις ή τέσσερις συχνότητες, τότε ο δέκτης μπορεί να αποδώσει ποιο στοιχείο σήματος έχει σταλεί με βάση την πλειοψηφία των συχνοτήτων που είναι σωστά.[9]



**Εικόνα 4.8** Διασπορά Φάσματος Γρήγορης Αναπήδησης Συχνότητας με χρήση MFSK ( $M = 4, k = 2$ )

#### 4.4.1.2.2. Εκτίμηση απόδοσης της FHSS

Τυπικά, στην FHSS χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός συχνοτήτων ώστε η  $W_s$  να είναι αρκετά μεγαλύτερη από την  $W_d$ . Το όφελος που προκύπτει είναι ότι

μία μεγάλη τιμή του  $k$  οδηγεί σε ένα σύστημα το οποίο είναι πολύ ανθεκτικό στην παρεμβολή παρασίτων. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε έναν πομπό MFSK με εύρος ζώνης  $W_d$  και μία συσκευή παρεμβολής παρασίτων (noise jammer) του ίδιου εύρους ζώνης και σταθερή ισχύ  $S_j$  στο σήμα της φέρουσας συχνότητας. Τότε, ο λόγος της ενέργειας σήματος ανά bit προς την πυκνότητα ισχύος θορύβου ανά hertz είναι

$$E_b / N_j = E_b W_d / S_j$$

Αν χρησιμοποιείται αναπήδηση συχνότητας, η συσκευή παρεμβολής παρασίτων πρέπει να παρεμβάλλει και τις  $2^k$  συχνότητες μειώνοντας την ισχύ παρεμβολής στην κάθε μία από αυτές τις συχνότητες σε  $S_j / 2^k$ , υποθέτοντας ότι η ισχύς είναι σταθερή. Η απολαβή στο λόγο σήματος προς θόρυβο, ή απολαβή επεξεργασίας, είναι

$$G_p = 2^k = W_s / W_d \quad (3)$$

#### 4.4.1.2.3. Διασπορά Φάσματος Αναπήδησης Συχνότητας στο 802.11

Ένα σύστημα FHSS χρησιμοποιεί πολλαπλά κανάλια με το σήμα να αναπηδά από το ένα κανάλι στο άλλο βάσει μίας ακολουθίας ψευδοθορύβου. Στην περίπτωση του IEEE 802.11 χρησιμοποιούνται κανάλια του 1MHz. Ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών κυμαίνεται από 23 στην Ιαπωνία μέχρι 70 στις ΗΠΑ.

Τα στοιχεία του σχήματος αναπήδησης είναι ρυθμιζόμενα. Για παράδειγμα, ο ελάχιστος ρυθμός αναπήδησης για τις ΗΠΑ είναι 2.5 αναπηδήσεις ανά δευτερόλεπτο. Η ελάχιστη απόσταση αναπήδησης σε συχνότητα είναι 6MHz στη Βόρεια Αμερική και στο μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης και 5MHz στην Ιαπωνία.

Για τη διαμόρφωση, η μέθοδος FHSS χρησιμοποιεί Gaussian Frequency Shifting Key (GFSK) δύο επιπέδων για το σύστημα των 1Mbps. Τα bit 0 και 1 κωδικοποιούνται ως αποκλίσεις από την τρέχουσα φέρουσα συχνότητα. Για τα 2Mbps, χρησιμοποιείται GFSK τεσσάρων επιπέδων, στην οποία τέσσερις διαφορετικές αποκλίσεις από την κεντρική συχνότητα ορίζουν τέσσερις συνδυασμούς των 2 bit.

Το ψηφιακό σήμα τροφοδοτεί έναν GFSK διαμορφωτή, ο οποίος παράγει ένα αναλογικό σήμα που τοποθετείται κεντρικά σε μια ορισμένη συχνότητα. Το αναλογικό σήμα τροφοδοτεί έπειτα έναν διαστολέα FH, ο οποίος χρησιμοποιεί το αποτέλεσμα μιας ψευδοτυχαίας ακολουθίας αριθμών ως δείκτη σε έναν πίνακα συχνοτήτων. Σε κάθε διαδοχικό διάστημα, ο FH επιλέγει μια συχνότητα, η οποία διαμορφώνεται έπειτα από το αναλογικό σήμα που παράγεται από τον αρχικό GFSK. Το αποτέλεσμα είναι ένα σήμα της ίδιας οριακής συχνότητας με το κανάλι συχνότητας που επιλέχθηκε από τον πίνακα. Η επανάληψη αυτής της διαδικασίας παράγει το σήμα αναπήδησης συχνότητας. Η μετάδοση σε 1Mbps εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας GFSK δύο επιπέδων, με το δυαδικό 0 να μεταδίδεται στη συχνότητα,  $(f_t - f_c)$  και το δυαδικό 1 στη συχνότητα,  $(f_t + f_c)$ . Η μετάδοση των 2Mbps επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας GFSK τεσσάρων επιπέδων. Η είσοδος στον GFSK είναι ένας συνδυασμός δύο bit. Κάθε ένα από αυτά τα σύμβολα των 2 bit μεταδίδεται σε 1Mbps χρησιμοποιώντας το ακόλουθη σχήμα μετατόπισης συχνότητας (Frequency Shifting Scheme) :

- το δυαδικό 00 μεταδίδεται με συχνότητα  $(f_t - 2f_c)$ ,
- το δυαδικό 01 μεταδίδεται με συχνότητα  $(f_t - 2f_c)$ ,
- το δυαδικό 11 μεταδίδεται με συχνότητα  $(f_t + f_c)$ , και
- το δυαδικό 10 μεταδίδεται με συχνότητα  $(f_t + 2f_c)$ .

Το 802.11 πρότυπο περιγράφει τον υπολογισμό βέλτιστων τιμών της  $f_c$ . Επιπλέον, το πρότυπο καθορίζει τρία σύνολα, όπου το καθένα περιέχει 26 hopping ακολουθίες με σκοπό να έχουν την ελάχιστη παρέμβαση μεταξύ τους, σε κάθε σύνολο. Κατά συνέπεια, τα BSs μπορούν να τεθούν ώστε να χρησιμοποιούν τις ακολουθίες που προέρχονται από το ίδιο σύνολο, είτε για να επιτρέψουν τη WLAN συνύπαρξη στην ίδια περιοχή, είτε για να μειώσουν τη διακαναλική παρέμβαση.

Και η αρχή και το τέλος ενός πλαισίου 802.11, όταν μεταδίδεται με τη μέθοδο FHSS, μεταδίδεται πάντα με 1Mbps. Ο υψηλότερος ρυθμός των 2Mbps, εάν υιοθετείται, διαμορφώνει μόνο στο σταλμένο MPDU. Τα εξής περιγράφουν τα πεδία του πλαισίου:

- SYNC. Αποτελείται από 80 εναλλαγές των 0 και 1, και χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει το δέκτη.

- Start frame delimiter. Είναι ένα πεδίο των 16 bit, της μορφής 0000110010111101 κομματιών. Καθορίζει την έναρξη ενός πλαισίου.
- PLW. Είναι ένα πεδίο των 12 bit, που χρησιμοποιείται για να καθορίσει το τέλος του πλαισίου.
- PSF. Είναι ένα πεδίο των 4 bit, που παίρνει τις τιμές 0000 και 0010 για 1 και 2Mbps, αντίστοιχα.
- HEC. Είναι ένα πεδίο των 16 bit, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο λανθασμένου header.
- Whitened MPDU. Το MPDU αποτελείται από ειδικά σύμβολα και τοποθετείται σε κάθε 4 bytes, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το dc bias του λαμβανόμενου σήματος. Το μέγεθος αυτού του πεδίου κυμαίνεται από 0 έως 4096 οκτάδες.[9-10]

#### 4.4.1.3. Διασπορά Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας

Με τη διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS), κάθε bit στο αρχικό σήμα αναπαρίσταται από πολλά bit στο μεταδιδόμενο σήμα, χρησιμοποιώντας έναν κώδικα διασποράς. Ο κώδικας διασποράς διασκορπίζει το σήμα σε μία μεγαλύτερη ζώνη συχνότητας σε ευθεία αναλογία προς τον αριθμό bit που χρησιμοποιούνται. Επομένως, ένας κώδικας διασποράς 10-bit διαχέει το σήμα σε μία ζώνη συχνότητας που είναι 10 φορές μεγαλύτερη από έναν κώδικα διασποράς του 1-bit.

Μία τεχνική με τη διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας είναι ο συνδυασμός της ροής ψηφιακής πληροφορίας με τη ροή των bit του κώδικα διασποράς χρησιμοποιώντας τη λογική πράξη exclusive-OR (αποκλειστικό OR, XOR). Η XOR υπακούει στους παρακάτω κανόνες :

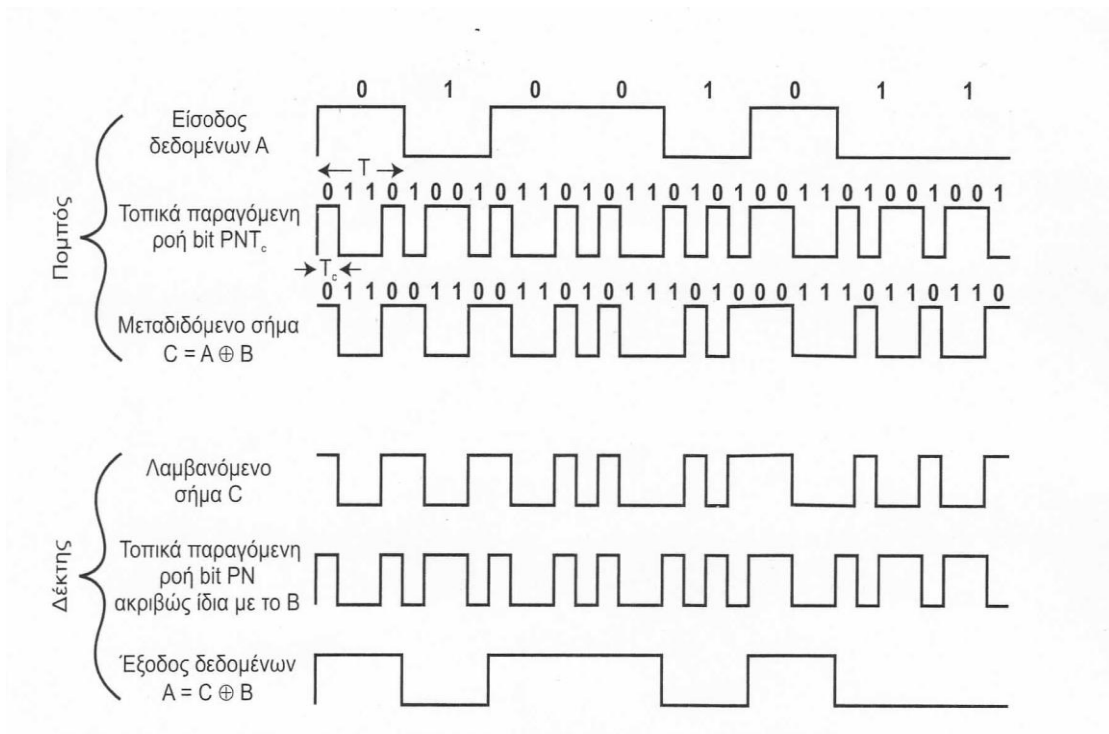
$$0 \text{ XOR } 0 = 0$$

$$0 \text{ XOR } 1 = 1$$

$$1 \text{ XOR } 0 = 1$$

$$1 \text{ XOR } 1 = 0$$

Στην Εικόνα 4.9 δείχνει ένα παράδειγμα. Προσέξτε ότι ένα bit ακολουθίας δυαδικού 1 αντιστρέφει τα bit του κώδικα διασποράς στο συνδυασμό, ενώ ένα bit πληροφορίας δυαδικού 0 αφήνει τα bit του κώδικα διασποράς να μεταδοθούν χωρίς αντιστροφή. Η συνδυασμένη ροή bit έχει το ρυθμό δεδομένων της αρχικής ακολουθίας του κώδικα διασποράς και επομένως έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τη ροή πληροφοριών. Σε αυτό το παράδειγμα, η ροή bit του κώδικα διασποράς έχει τετραπλάσιο ρυθμό δεδομένων από το ρυθμό πληροφοριών.



**Εικόνα 4.9:** Σύστημα Διασποράς Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας

#### 4.4.1.3.1. DSSS με χρήση BPSK

Για να δούμε πως λειτουργεί αυτή η τεχνική στην πράξη, υποθέτουμε ότι η μέθοδος διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι η BPSK. Αντί να αναπαραστήσουμε τα δυαδικά δεδομένα με 1 και 0, θα τα αναπαραστήσουμε χρησιμοποιώντας τις τιμές +1 και -1 για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων. Σε αυτή την περίπτωση, ένα σήμα BPSK μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$s_d(t) = A_d(t)\cos(2\pi f_c t) \quad (4)$$

όπου

$A$  = πλάτος του σήματος

$f_c$  = φέρουσα συχνότητα

$d(t)$  = η διακριτή συνάρτηση που παίρνει την τιμή +1 για ένα χρόνο bit αν το αντίστοιχο bit στη ροή των bit είναι 1 και την τιμή -1 για ένα χρόνο bit αν το αντίστοιχο bit στη ροή των bit είναι 0

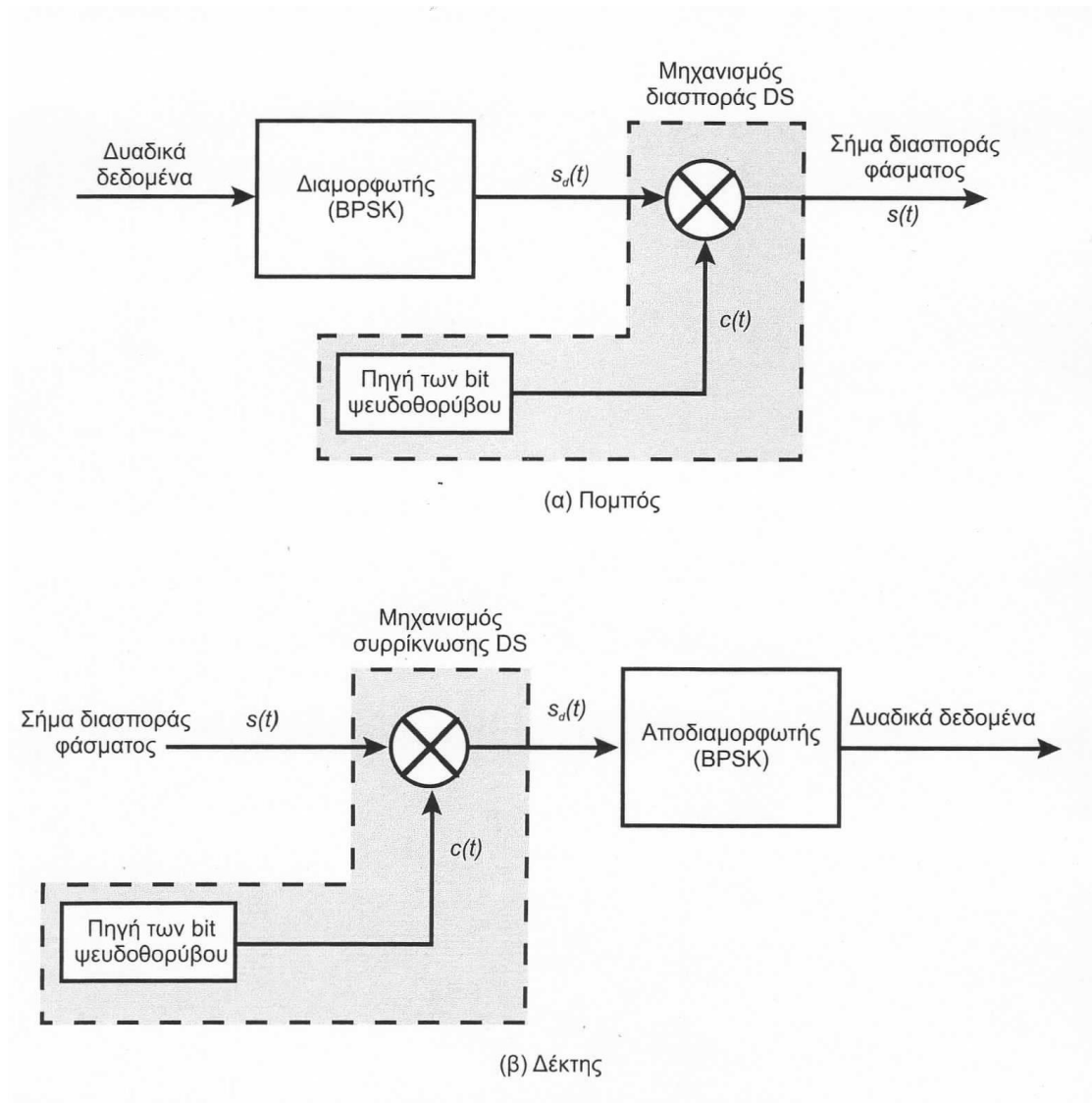
Για να πάρουμε το σήμα DSSS, πολλαπλασιάζεται το παραπάνω σήμα με το  $c(t)$ , το οποίο είναι η ακολουθία PN που παίρνει τις τιμές +1 και -1 :

$$s(t) = Ad(t)c(t)\cos(2\pi f_c t) \quad (5)$$

Στο δέκτη, το εισερχόμενο σήμα πολλαπλασιάζεται και πάλι με το  $c(t)$ . Αλλά  $c(t) \times c(t) = 1$  και συνεπώς το αρχικό σήμα ανακατασκευάζεται :

$$s(t)c(t) = Ad(t)c(t)c(t)\cos(2\pi f_c t) = s_d(t)$$

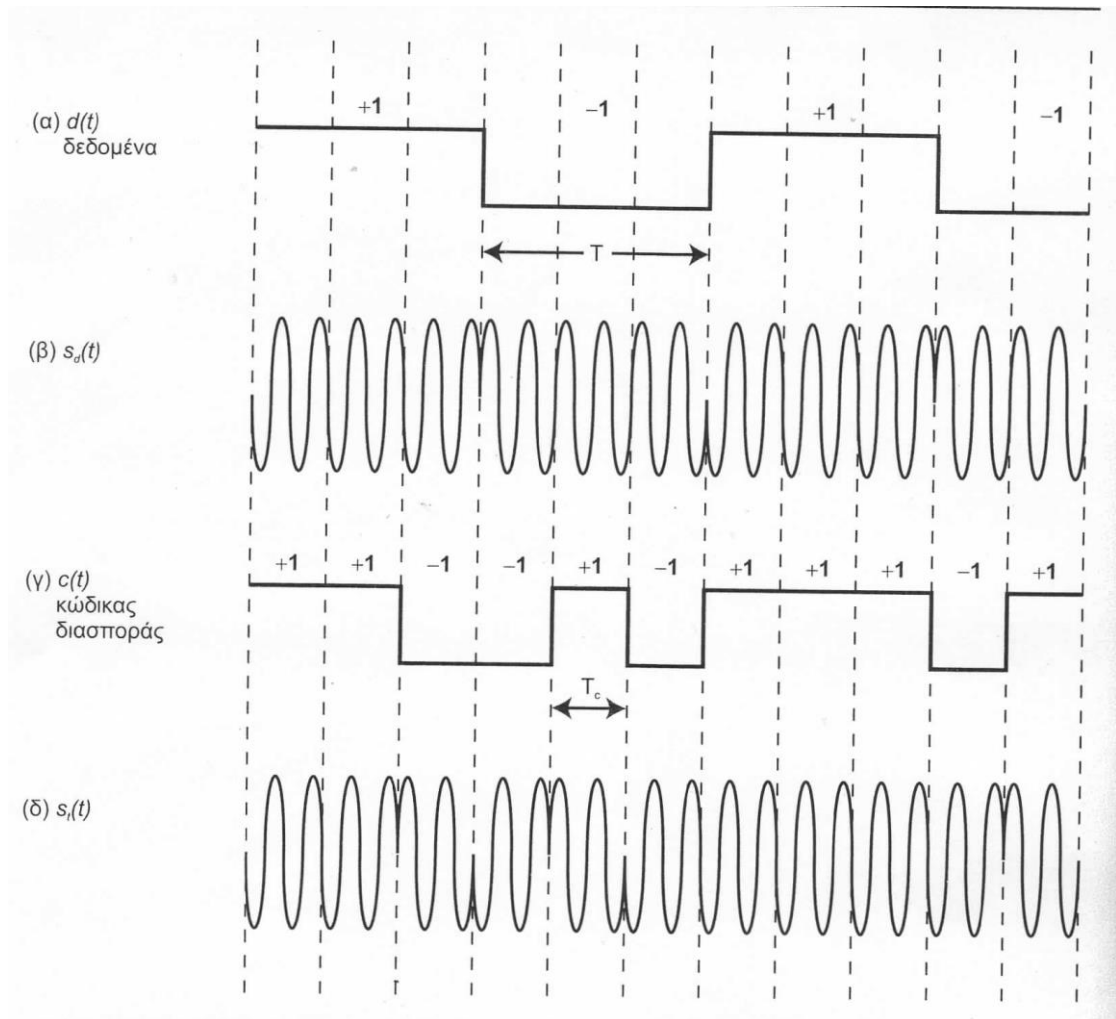
Η Εξίσωση (5) μπορεί να ερμηνευτεί με δύο τρόπους καταλήγοντας σε δύο διαφορετικές υλοποιήσεις. Η πρώτη ερμηνεία είναι να πολλαπλασιαστούν πρώτα τα  $d(t)$  και  $c(t)$  μεταξύ τους και μετά να εφαρμοστεί η διαμόρφωση BPSK, η οποία είναι η ερμηνεία για την οποία μιλήσαμε. Η δεύτερη ερμηνεία είναι να εφαρμοστεί πρώτα η διαμόρφωση BPSK, στη ροή δεδομένων  $d(t)$  για να δημιουργήσουμε το σήμα δεδομένων  $s_d(t)$ , το οποίο στη συνέχεια μπορεί να πολλαπλασιαστεί με το  $c(t)$ . [9]



**Εικόνα 4.10:** Σύστημα Διασποράς Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας

Η Εικόνα 4.10 μπορεί να δείχνει την υλοποίηση που χρησιμοποιεί τη δεύτερη ερμηνεία και η Εικόνα 4.11 είναι ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης.

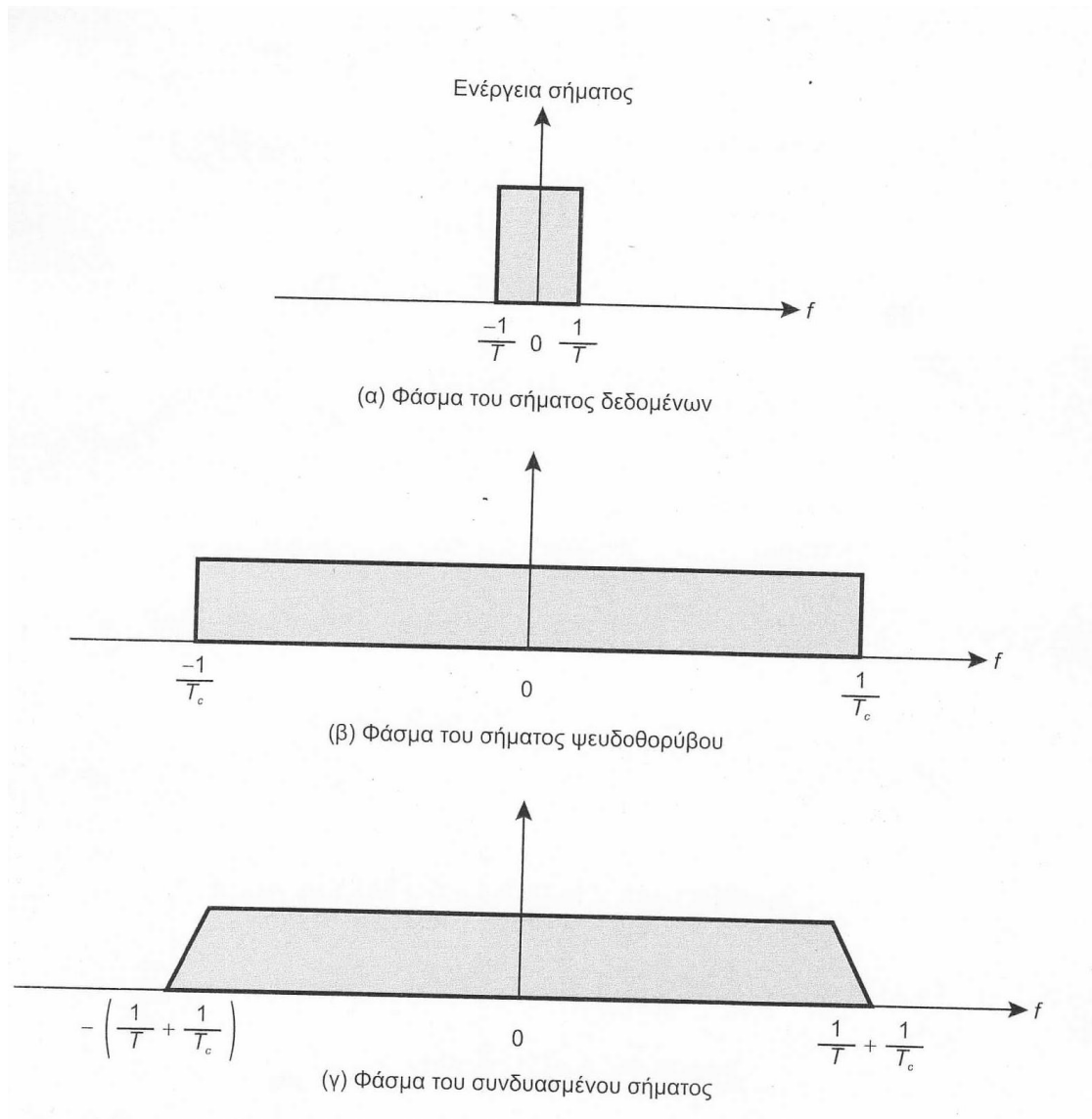




**Εικονα 4.11:** Παράδειγμα Διασποράς Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας με Χρήση BPSK

#### 4.4.1.3.2. Εκτίμηση απόδοσης της DSSS

Η διασπορά φάσματος που επιτυγχάνεται με την τεχνική άμεσης ακολουθίας μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα (Εικονα 4.12). Στο παράδειγμα μας, το σήμα πληροφορίας έχει εύρος bit  $T$ , το οποίο ισοδυναμεί με ρυθμό δεδομένων  $1/T$ . Σε αυτή την περίπτωση, το φάσμα του σήματος, ανάλογα με την τεχνική κωδικοποίησης, είναι χονδρικά  $2/T$ . Ομοίως, το φάσμα του σήματος PN είναι  $2/T_c$ . Η Εικονα 4.12γ δείχνει τη διασπορά φάσματος που προκύπτει. Το ποσοστό της διασποράς που επιτυγχάνεται είναι άμεση απόρροια του ρυθμού δεδομένων της ροής PN.



**Εικόνα 4.12** Το κατά προσέγγιση φάσμα ενός Σήματος Διασποράς  
Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας

Παρακάτω εξετάζουμε την αποτελεσματικότητα της DSSS έναντι της παρεμβολής παρασίτων. Υποθέτουμε ότι υπάρχει ένα απλό σήμα παρεμβολής παρασίτων στην κεντρική συχνότητα του συστήματος DSSS. Το σήμα παρεμβολής παρασίτων έχει τη μορφή

$$s_j(t) = \sqrt{2S_j} \times \cos(2\pi f_c t)$$

και το λαμβανόμενο σήμα είναι της μορφής

$$s_r(t) = s(t) + s_j(t) + n(t)$$

όπου

$$s(t) = \text{μεταδιδόμενο σήμα}$$

$$s_j(t) = \text{σήμα παρεμβολής παρασίτων}$$

$$n(t) = \text{προσθετικός λευκός θόρυβος}$$

$$S_j = \text{ισχύς σήματος παρεμβολής παρασίτων}$$

Ο μηχανισμός συρρίκνωσης στο δέκτη πολλαπλασιάζει το  $s_r(t)$  με το  $c(t)$  και η συνιστώσα του σήματος λόγω του σήματος παρεμβολής παρασίτων είναι

$$y_i(t) = \sqrt{2S_j} \times c(t) \cos(2\pi f_c t)$$

Αυτή είναι απλά η διαμόρφωση κατά BPSK του τόνου φέροντος. Επομένως, η ισχύς του φέροντος  $S_j$  διαχέεται σε ένα εύρος ζώνης ίσο κατά προσέγγιση με  $2/T_c$ . Όμως, ο αποδιαμορφωτής BPSK (Σχήμα 10) που ακολουθεί μετά το μηχανισμό DSSS περιλαμβάνει ένα φίλτρο διέλευσης ζώνης προσαρμοσμένο στα δεδομένα BPSK, με εύρος ζώνης  $2/T$ . Κατά συνέπεια, το μεγαλύτερο μέρος της ισχύς του σήματος παρεμβολής παρασίτων φιλτράρεται. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που παίζουν κάποιο ρόλο, μπορούμε να πούμε, κατά προσέγγιση, ότι η ισχύς παρεμβολής που περνάει μέσα από το φίλτρο είναι

$$S_j F = S_j (2/T) / (2/T_c) = S_j (T_c/T)$$

Η ισχύς παρεμβολής έχει μειωθεί κατά το συντελεστή  $(T_c/T)$  με τη χρήση της διασποράς φάσματος. Το αντίστροφο αυτού του συντελεστή είναι η απολαβή στο λόγο σήματος προς θόρυβο :

$$G_p = T/T_c = R_c/R \approx W_s / W_d \quad (6)$$

όπου

$$R_c = \text{ο ρυθμός διασποράς bit}$$

$R$  = ο ρυθμός δεδομένων

$W_d$  = εύρος ζώνης του σήματος

$W_s$  = εύρος ζώνης του σήματος διασποράς φάσματος

Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με την Εξίσωση 3 για την FHSS.

#### 4.4.1.3.3. Διασπορά Φάσματος Άμεσης Ακολουθίας στο 802.11

Σε ένα σύστημα DSSS μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι επτά κανάλια, που το καθένα θα έχει ρυθμό δεδομένων 1 ή 2Mbps. Ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών εξαρτάται από το εύρος ζώνης που εκχωρείται από τους διάφορους εθνικούς ρυθμιστικούς οργανισμούς. Αυτός ο αριθμός κυμαίνεται από 13 διαθέσιμα κανάλια στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης μέχρι μόνο ένα διαθέσιμο κανάλι στην Ιαπωνία. Κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης ίσο με 5MHz. Η μέθοδος κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται είναι η DBPSK για ρυθμό δεδομένων 1Mbps και η DQPSK για ρυθμό δεδομένων 2Mbps.

Σε ένα σύστημα DSSS, για το 802.11, χρησιμοποιείται μία ακολουθία Barker για τη διασπορά του ρυθμού δεδομένων και επομένως του εύρους ζώνης του σήματος. Μία ακολουθία Barker είναι μία δυαδική ακολουθία  $\{-1,+1\}$   $\{s(t)\}$  μήκους  $n$  με την ιδιότητα ότι οι τιμές αυτοσυσχέτισης της  $R(\tau)$  ικανοποιούν τη σχέση  $|R(\tau)| \leq 1$  για όλα τα  $|\tau| \leq (n - 1)$ . Η ιδιότητα Barker διατηρείται και έπειτα από του παρακάτω μετασχηματισμούς

$$s(t) \rightarrow -s(t) \quad s(t) \rightarrow (-1)^t s(t) \quad \text{και} \quad s(t) \rightarrow s(n - 1 - t)$$

καθώς επίσης και έπειτα από συνδυασμούς αυτών των μετασχηματισμών. Οι μόνες ακολουθίες Barker που είναι γνωστές είναι οι εξής:

$$n = 2 \quad ++$$

$$n = 3 \quad ++-$$

$$n = 4 \quad +++-$$

$$n = 5 \quad +++-+$$

n = 7    + + + - - + -

n = 11   + - + + - + + + - - -

n = 13   + + + + + - - + + - + - +

Στη περίπτωση της DSSS χρησιμοποιείται η ακολουθία Barker 11 τεμαχίων. Άρα, κάθε δυαδικό 1 δεδομένων αντιστοιχίζεται στην ακολουθία {+ - + + - + + - - -} και κάθε δυαδικό 0 αντιστοιχίζεται στην ακολουθία {- + - - + - - - + + +}. Σημαντικό χαρακτηριστικό της ακολουθίας Barker είναι η ανθεκτικότητα τους στις παρεμβολές και στη διάδοση πολλαπλών διαδρομών.

Οι προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου για το πρότυπο IEEE 802.11 DSSS προσδιορίζει τη ζώνη 2.4 GHz και διαιρεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε υποκανάλια των 11 MHz χρησιμοποιώντας μια ακολουθία των 11 chip για να διαδώσει κάθε σύμβολο. Η προδιαγραφή χρησιμοποιεί τη δυαδική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (Binary Phase Shift Keying - BPSK) για να διαχέσει ψηφιακές ροές δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης των 1Mbps. Η BPSK μετατοπίζει τη φάση της συχνότητας μεταφορέων προκειμένου να αναπαραστήσει διαφορετικά σύμβολα. Στην περίπτωση της μετάδοσης στα 2Mbps, χρησιμοποιείται η τετραγωνική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (Quadrature Phase Shift Keying - QPSK) η οποία μεταδίδει ζευγάρια των 2 bit με ρυθμό δεδομένων 1Mbps, επιτυγχάνοντας έτσι ρυθμό δεδομένων των 2Mbps. Φυσικά, δεδομένου ότι η προδιαγραφή απαιτεί ρυθμό των 11 chip, το πραγματικό μεταδιδόμενο σήμα DSSS έχει ρυθμό δεδομένων των 11Mbps. Πολλαπλάσια δίκτυα μπορούν να συνυπάρξουν στην ίδια περιοχή υπό τον όρο ότι χρησιμοποιούν υποκανάλια με κεντρικές συχνότητες, οι οποίες χωρίζονται από τουλάχιστον 30 MHz, προκειμένου να αποφευχθεί η παρέμβαση.

Και η αρχή και το τέλος ενός πλαισίου 802.11, όταν μεταδίδεται με τη μέθοδο FHSS, μεταδίδεται πάντα με 1Mbps. Ο υψηλότερος ρυθμός των 2Mbps, εάν υιοθετείται, διαμορφώνει μόνο στο σταλμένο MPDU. Παρακάτω περιγράφονται τα πεδία του πλαισίου:

- SYNC. Περιέχει τους εναλλασσόμενους παλμούς στα διαδοχικά time slots. Χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό του δέκτη. Το μέγεθος αυτού του πεδίου είναι 128 bit.

- Start frame delimiter. Είναι ένα πεδίο των 16 bit που καθορίζει την αρχή ενός πλαισίου.
- Signal. Είναι ένα πεδίο των 8 bit που δείχνει τη λειτουργία των 1, 2, 5.5, ή 11Mbps.
- Service. Είναι ένα πεδίο των 8 bit που διατηρείται για μελλοντική χρήση.
- Length. Είναι ένα πεδίο των 16bit που περιέχει το μήκος του MPDU σε milliseconds.
- FCS. Είναι ένα πλαίσιο ελέγχου ακολουθίας των 8 bit που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση λαθών.
- MPDU. Η μονάδα δεδομένων του 802.11 MAC πρωτοκόλλου που στέλνεται. Έχει ευέλικτο μέγιστο μήκος.[2] [3]

#### IEEE 802.11a

Η προδιαγραφή 802.11a χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz. Σε αντίθεση με τις προδιαγραφές των 2.4 GHz, η IEEE 802.11a δε χρησιμοποιεί τη μέθοδο διασποράς φάσματος αλλά ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM).

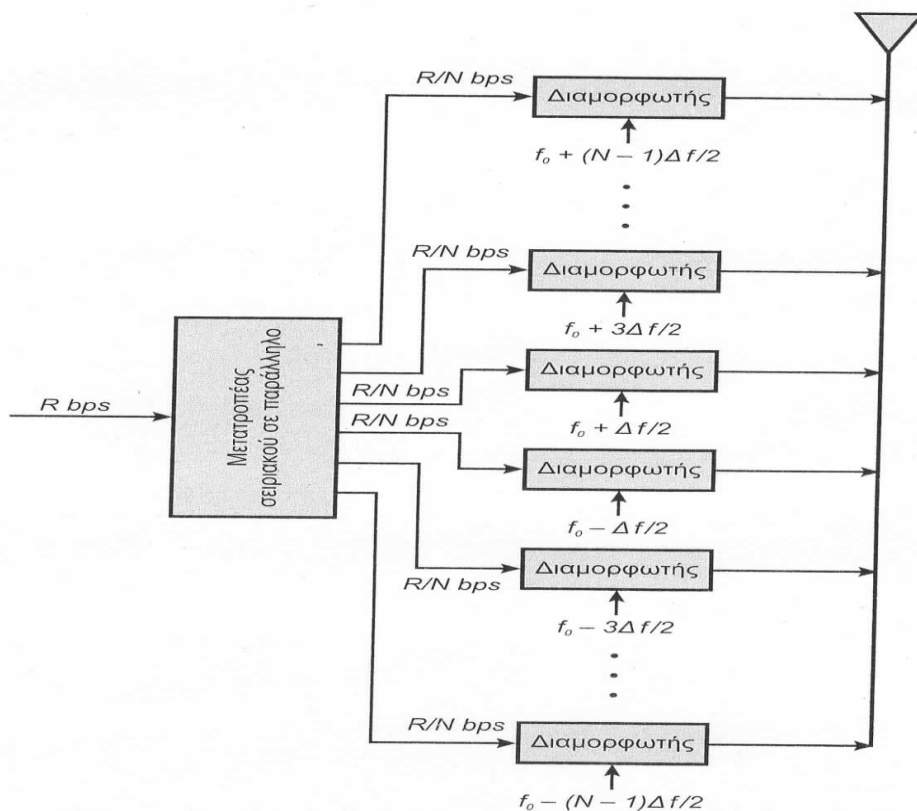
#### IEEE 802.11b

Επεκτείνοντας τη DSSS προδιαγραφή για το φυσικό επίπεδο, το IEEE 802.11b πρότυπο υποστηρίζει τη λειτουργία των 11Mbps με ρυθμό δεδομένων των 5.5Mbps, 2Mbps, και 1Mbps, στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz. Χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης της συμπληρωματικής διαμόρφωσης κώδικα (Complementary Code Keying - CCK). Η CCK είναι ο υποχρεωτικός τρόπος λειτουργίας για το πρότυπο, και προέρχεται από την DSSS τεχνολογία. Η επέκταση είναι η προς τα πίσω συμβατότητα με τα 802.11 συστήματα.

#### **4.4.1.4. Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας**

Η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM), που λέγεται και διαμόρφωση πολλαπλών φερουσών (multicarrier modulation), χρησιμοποιεί πολλαπλά σήματα φερουσών σε διαφορετικές συχνότητες, στέλνοντας μερικά bit σε κάθε κανάλι.

Η Εικόνα 4.13 δείχνει τη λειτουργία της OFDM. Υποθέστε ότι έχουμε μία ροή δεδομένων που λειτουργεί στα  $R$  bps και ένα διαθέσιμο εύρος ζώνης  $N\Delta f$ , με κέντρο στην  $f_0$ . Κανονικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος ζώνης για την αποστολή της ροής δεδομένων, που σημαίνει ότι η διάρκεια του κάθε bit θα ήταν  $1/R$ . Η εναλλακτική λύση είναι να διαιρέσουμε τη ροή δεδομένων σε  $N$  επιμέρους ρεύματα χρησιμοποιώντας ένα μετατροπέα σειριακού σε παράλληλο. Κάθε επιμέρους ροή, ή υποροή (substream), έχει ρυθμό δεδομένων  $R/N$  bps και εκπέμπεται πάνω σε μία ξεχωριστή υποφέρουσα, με διαχωρισμό μεταξύ των γειτονικών υποφερουσών κατά  $\Delta f$ . Έτσι, τώρα η διάρκεια του κάθε bit είναι  $N/R$ . [10]



**Εικόνα 4.13:** Ορθογώνια Πολυπλεξία Διάρθρωσης Συχνότητας

## 4.5 Απαιτήσεις Ασφάλειας

Το IEEE 802.11 παρέχει μηχανισμούς τόσο ιδιωτικότητας όσο και πιστοποίησης.

### 4.5.1. Αλγόριθμος WEP

Με ένα ασύρματο LAN, η υποκλοπή είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα λόγω της ευκολίας με την οποία αυτή μπορεί να γίνει. Το IEEE 802.11 εμπεριέχει το WEP (wired equivalent privacy, προστασία ισοδύναμη με αυτή των ενσύρματων LAN) για την παροχή ενός ικανοποιητικού επιπέδου ασφάλειας. Για την παροχή προστασίας, καθώς και ακεραιότητας των δεδομένων, το WEP χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο κρυπτογράφησης που βασίζεται στον RC4.

Το Σχήμα 4.14, δείχνει την διαδικασία κρυπτογράφησης. Ο αλγόριθμος ακεραιότητας είναι απλά ένας CRC 32-bit. Ο οποίος προστίθεται στο τέλος του πλαισίου MAC. Για τη διαδικασία της κρυπτογράφησης, ένα κρυφό κλειδί 40-bit διαμοιράζεται από τα δύο συμμετέχοντα μέρη της ανταλλαγής. Ένα διάνυσμα εκκίνησης (initialization vector – IV) συνενώνεται με το κρυφό κλειδί. Το μπλοκ που προκύπτει αποτελεί τον πυρήνα που είναι είσοδος στη γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών ( pseudorandom number generator – PRNG) που ορίζεται στον αλγόριθμο RC4.

Η PRNG δημιουργεί μία ακολουθία από bit του ίδιου μήκους με το μήκος του πλαισίου MAC συν τον CRC του. Το αποκλειστικό OR (XOR) κατά bit μεταξύ του πλαισίου MAC και της ακολουθίας PRNG δημιουργεί το κρυπτογράφημα. Το IV προστίθεται στο κρυπτογράφημα και το μπλοκ που προκύπτει εκπέμπεται. Το IV, αλλάζει περιοδικά (τόσο συχνά όσο κάθε εκπομπή) και κάθε φορά που αλλάζει το IV, αλλάζει και η ακολουθία PRNG , γεγονός που κάνει πολύπλοκο το έργο της υποκλοπής.

Στην πλευρά της λήψης (Σχήμα 14), ο δέκτης ξεχωρίζει το IV από το μπλοκ δεδομένων και το συνενώνει με το κοινό κρυφό κλειδί για να δημιουργήσει την ίδια ακολουθία κλειδιού που χρησιμοποίησε και ο χρήστης. Αυτή η ακολουθία κλειδιού στη συνέχεια συνδυάζεται κατά XOR με το εισερχόμενο μπλοκ για την ανάκτηση



των μη κωδικοποιημένων δεδομένων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί την παρακάτω ιδιότητα της πράξης XOR :

$$A \text{ XOR } B \text{ XOR } B = A$$

Έτσι, αν πάρουμε τα μη κωδικοποιημένα δεδομένα και τα συνδυάσουμε κατά XOR με την ακολουθία κλειδιού και στη συνέχεια συνδυάσουμε κατά XOR το αποτέλεσμα με την ακολουθία κλειδιού, θα πάρουμε πάλι τα μη κωδικοποιημένα δεδομένα. Τέλος ο δέκτης συγκρίνει τον εισερχόμενο CRC με τον CRC που υπολογίζεται στο δέκτη για τον έλεγχο της ακεραιότητας των δεδομένων.

#### 4.5.2. Πιστοποίηση

Το IEEE 802.11, παρέχει δύο τρόπους πιστοποίησης : ανοιχτού συστήματος (open system) και κοινόχρηστου κλειδιού (shared key). Η πιστοποίηση ανοιχτού συστήματος απλά εξασφαλίζει έναν τρόπο συμφωνίας ανάμεσα σε δύο πλευρές για να συμφωνήσουν να ανταλλάξουν δεδομένα και δεν παρέχει κανενός είδους ασφάλεια. Στην πιστοποίηση ανοιχτού συστήματος, η μία πλευρά στέλνει στη άλλη ένα πλαίσιο ελέγχου MAC, το οποίο λέγεται πλαίσιο πιστοποίησης. Το πλαίσιο αυτό υποδηλώνει ότι είναι τύπου πιστοποίησης ανοιχτού συστήματος. Η άλλη πλευρά απαντά με το δικό της πλαίσιο πιστοποίησης και η διαδικασία ολοκληρώνεται. Άρα, η πιστοποίηση ανοιχτού συστήματος συνίσταται απλά στην ανταλλαγή των ταυτοτήτων μεταξύ των δύο πλευρών.

Η πιστοποίηση κοινόχρηστου κλειδιού απαιτεί οι δύο πλευρές να μοιράζονται ένα κρυφό κλειδί που δεν μοιράζεται από κανέναν άλλο. Αυτό το κλειδί χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι και οι δύο πλευρές είναι πιστοποιημένες η μία από την άλλη. Η διαδικασία για την πιστοποίηση μεταξύ δύο πλευρών A και B έχει ως εξής :

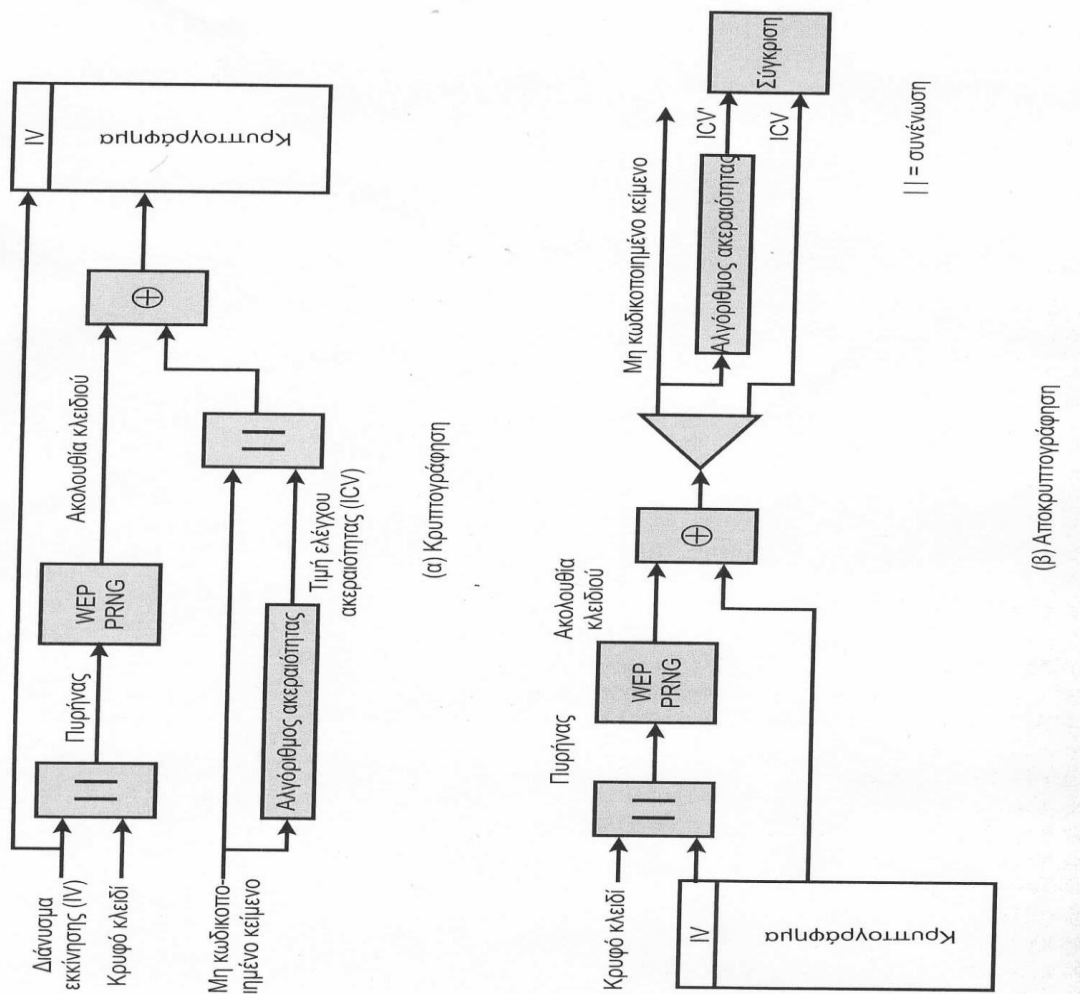
1. Η A στέλνει ένα πλαίσιο πιστοποίησης MAC με την ένδειξη 'Shared Key' για τον αλγόριθμο πιστοποίησης και με ένα αναγνωριστικό σταθμού που προσδιορίζει το σταθμό αποστολής.

2. Η B απαντά με ένα πλαίσιο πιστοποίησης το οποίο περιλαμβάνει ένα challenge text (συνθηματικό κείμενο) μήκους 128 οκτάδων. Το challenge text δημιουργείται χρησιμοποιώντας τη γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών του WEP. Το κλειδί και το IV που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία αυτού του challenge text

δεν έχουν σημασία γιατί δεν παίζουν κανένα ρόλο για το υπόλοιπο της διαδικασίας.

3. Η Α εκπέμπει ένα πλαίσιο πιστοποίησης που περιλαμβάνει το challenge text που μόλις έχει λάβει από την Β. Ολόκληρο το πλαίσιο κρυπτογραφείται χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο WEP.

4. Η Β λαμβάνει το κρυπτογραφημένο πλαίσιο και το αποκρυπτογραφεί χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο WEP και το κρυφό κλειδί που μοιράζεται με την Α. Αν η κρυπτογράφηση είναι επιτυχημένη (αν ταιριάζουν δηλαδή οι CRC), τότε η Β συγκρίνει το εισερχόμενο challenge text με το challenge text που έστειλε στο δεύτερο μήνυμα. Τότε η Β στέλνει ένα πλαίσιο πιστοποίησης στην Α με ένα κωδικό κατάστασης που υποδηλώνει επιτυχία ή αποτυχία.



**Εικόνα 4.14:** Μπλοκ διάγραμμα του WEP

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.ΤΟ ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΣΟΥ ΤΟΥ 802.11

#### 5.1 Εισαγωγή

Σε κάθε δίκτυο εκπομπής, το βασικό ζήτημα είναι το πώς θα καθορίζεται αυτός που θα χρησιμοποιήσει το κανάλι εκπομπής όταν υπάρχει ανταγωνισμός για τη χρήση του. Όταν διατίθεται ένα μόνο κανάλι, ο καθορισμός αυτού που έχει σειρά να το χρησιμοποιήσει είναι πολύ δύσκολος. Υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Στη βιβλιογραφία τα κανάλια εκπομπής αναφέρονται μερικές φορές ως κανάλια πολλαπλής πρόσβασης (multiaccess channels) ή κανάλια τυχαίας προσπέλασης (random access channels).

Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό αυτού που έχει σειρά για μετάδοση σε ένα κανάλι πολλαπλής πρόσβασης ανήκουν σε ένα υποεπίπεδο του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων, το οποίο ονομάζεται υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου (Medium Access Control, MAC). Το επίπεδο αυτό αναφέρεται στον τρόπο πρόσβασης στο κοινό ασύρματο μέσο. Η λειτουργία του είναι κοινή και για τα τρία συστήματα μετάδοσης του φυσικού μέσου (FHSS, DSSS και IR) και ανεξάρτητη από τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Επειδή το πρότυπο δημιουργήθηκε έτσι ώστε να είναι σε θέση να λειτουργήσει σε συνεργασία με τα άλλα πρότυπα της οικογένειας των 802, το υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου χειρίζεται και κάποιες λειτουργίες οι οποίες είναι συνήθως συνδεδεμένες με υψηλότερα επίπεδα. Τέτοιες είναι οι λειτουργίες του τεμαχισμού των πλαισίων (fragmentation), του εντοπισμού και διόρθωσης λαθών (error recovery), της διαχείρισης κινητικότητας ενός σταθμού (mobility management) και της διατήρησης αποθεμάτων ενέργειας (power conservation).

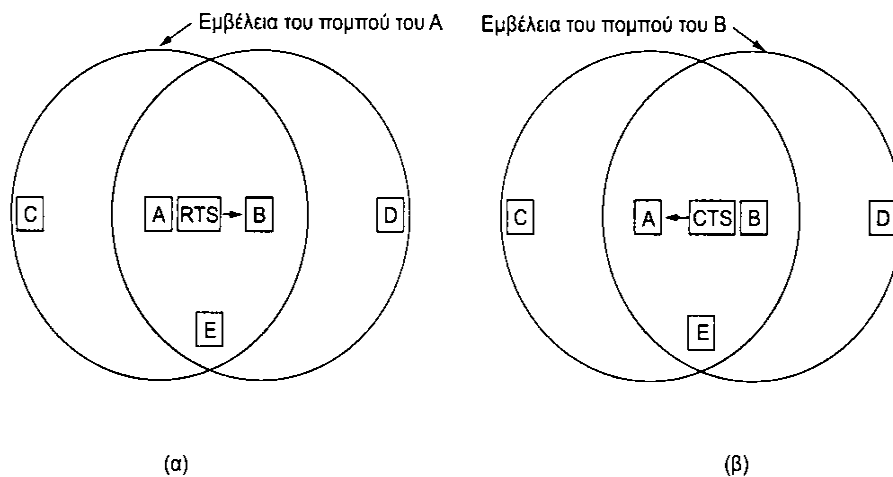
#### 5.2 Πρωτόκολλα ασύρματων LAN : MACA και MACAW

Ένα πρώιμο πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε για ασύρματα LAN είναι το πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης με Αποφυγή Συγκρούσεων (Multiple Access with Collision Avoidance, MACA, Karn 1990). Η βασική ιδέα πίσω από το πρωτόκολλο αυτό είναι να “διεγείρει” ο αποστολέας τον παραλήπτη έτσι ώστε ο παραλήπτης να στείλει ένα μικρό πλαίσιο, με αποτέλεσμα οι κοντινοί σε αυτόν

σταθμοί να εντοπίσουν τη μετάδοση και να αποφύγουν τις μεταδόσεις κατά τη διάρκεια του επερχόμενου (μεγάλου) πλαισίου δεδομένων.

Ας δούμε τώρα πώς ο A στέλνει ένα πλαίσιο στον B. Ο A ξεκινά στέλνοντας ένα πλαίσιο Αίτησης Αποστολής (Request To Send, RTS) στον B, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1(α). Αυτό το μικρό πλαίσιο (30 byte) περιέχει το μέγεθος του πλαισίου δεδομένων που θα ακολουθήσει αργότερα. Ο B αποκρίνεται στη συνέχεια με ένα πλαίσιο Έγκρισης Αποστολής (Clear To Send, CTS), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1(β). Το πλαίσιο CTS περιέχει το μήκος των δεδομένων (αντιγράφεται από το πλαίσιο RTS). Με την λήψη του πλαισίου CTS, ο A αρχίζει την μετάδοση.

Ας δούμε τώρα πως αντιδρούν οι σταθμοί που ακούν κάποιο από αυτά τα πλαίσια. Ένας σταθμός που ακούει το RTS βρίσκεται προφανώς κοντά στον A, και θα πρέπει να παραμείνει σιωπηλός για αρκετό χρόνο έτσι ώστε να επιστραφεί το πλαίσιο CTS στον A χωρίς σύγκρουση. Κάθε σταθμός που ακούει το CTS βρίσκεται προφανώς κοντά στον B και θα πρέπει να παραμείνει σιωπηλός κατά την επερχόμενη μετάδοση δεδομένων, το μήκος της οποίας μπορεί να προσδιοριστεί μέσω του πλαισίου CTS.



**Εικόνα 5.1:** Το πρωτόκολλο MACA. (α) Ο A στέλνει ένα πλαίσιο RTS στον B. (β) Ο B αποκρίνεται στον A με ένα πλαίσιο CTS.

Στην Εικόνα 2.1, ο C βρίσκεται εντός της εμβέλειας του A, αλλά εκτός της εμβέλειας του B. Κατά συνέπεια, ακούει το πλαίσιο RTS από τον A αλλά όχι το πλαίσιο CTS από τον B. Με την προϋπόθεση ότι δεν θα παρεμβληθεί με το CTS, είναι ελεύθερος να μεταδώσει ενώ στέλνεται το πλαίσιο δεδομένων. Αντιθέτως, ο D βρίσκεται εντός της εμβέλειας του B αλλά όχι του A. Δεν ακούει το RTS αλλά

ακούει το CTS. Η ακρόαση του CTS τον ενημερώνει ότι βρίσκεται κοντά σε έναν σταθμό που πρόκειται να λάβει ένα πλαίσιο, έτσι αποφεύγει να στείλει οτιδήποτε μέχρι τον αναμενόμενο χρόνο ολοκλήρωσης του πλαισίου αυτού. Ο σταθμός E ακούει και τα δύο μηνύματα ελέγχου και, όπως ο D, θα πρέπει να παραμείνει σιωπηλός μέχρι να ολοκληρωθεί το πλαίσιο δεδομένων.

Παρά τις προφυλάξεις αυτές, μπορούν και πάλι να συμβούν συγκρούσεις. Για παράδειγμα, ο B και ο C μπορούν να στείλουν ταυτόχρονα και οι δύο πλαίσια RTS στον A. Τα πλαίσια αυτά θα συγκρουστούν και θα χαθούν. Σε περίπτωση σύγκρουσης, ο πομπός όπου συνέβη η αποτυχία (δηλαδή, ένας πομπός που δεν ακούει το πλαίσιο CTS μέσα στο αναμενόμενο χρονικό διάστημα) θα περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και θα ξαναδοκιμάσει αργότερα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι η δυαδική εκθετική οπισθοχώρηση.

Με βάση μελέτες προσομοίωσης του MACA, οι Bharghavan και συνεργάτες (1994) βελτιστοποίησαν το MACA για να αυξήσουν την απόδοση του και ονόμασαν το νέο τους πρωτόκολλο Ασύρματο MACA (MACA for Wireless). Καταρχήν παρατήρησαν ότι, όταν δεν παρέχονται επιβεβαιώσεις στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων, τα χαμένα πλαίσια δεν αναμεταδίδονται μέχρι να παρατηρηθεί πολύ αργότερα η απουσία τους στο επίπεδο μεταφοράς. Έλυσαν αυτό το πρόβλημα εισάγοντας ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης μετά από κάθε επιτυχημένο πλαίσιο δεδομένων. Παρατήρησαν επίσης ότι το CSMA έχει κάποια χρησιμότητα, και συγκεκριμένα να αποτρέπει ένα σταθμό από τη μετάδοση ενός πλαισίου RTS την ίδια στιγμή που ένας άλλος κοντινός σταθμός κάνει το ίδιο πράγμα προς τον ίδιο προορισμό, οπότε προστέθηκε η ανίχνευση του μέσου. Επιπλέον, αποφάσισαν ότι ο αλγόριθμος οπισθοχώρησης θα εκτελείται χωριστά για κάθε ροή δεδομένων (ζεύγος προέλευσης – προορισμού), αντί για κάθε σταθμό. Αυτή η αλλαγή κάνει το πρωτόκολλο πιο δίκαιο. Τέλος, πρόσθεσαν ένα μηχανισμό με τον οποίο οι σταθμοί ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με την συμφόρηση και μία τεχνική ώστε ο αλγόριθμος οπισθοχώρησης να αντιδρά λιγότερο απότομα σε προσωρινά προβλήματα, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.[11]

### **5.3 Έλεγχος Πρόσβασης Μέσου του 802.11**

Το στρώμα MAC του IEEE 802.11 καλύπτει κυρίως τρεις περιοχές λειτουργίας : αξιόπιστη παράδοση δεδομένων, έλεγχο πρόσβασης και ασφάλεια.

### 5.3.1 Αξιόπιστη παράδοση δεδομένων

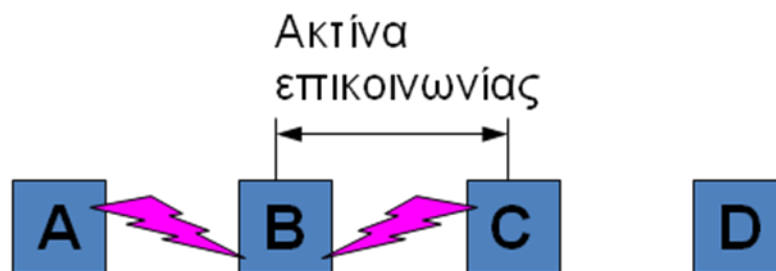
Ένα ασύρματο LAN που χρησιμοποιεί το φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC του IEEE 802.11 μπορεί να εμφανίσει μεγάλο αριθμό αναξιοπιστίας. Ο θόρυβος, οι παρεμβολές και άλλα φαινόμενα διάδοσης οδηγούν στην απώλεια ενός σημαντικού αριθμού πλαισίων. Ακόμα και με κώδικες διορθώσεις σφαλμάτων, υπάρχει η πιθανότητα ένας αριθμός πλαισίων MAC να μη ληφθεί επιτυχώς. Αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιμετωπιστεί με μηχανισμούς αξιοπιστίας σε ένα υψηλότερο στρώμα, όπως το TCP. Ωστόσο, οι χρονομετρητές που χρησιμοποιούνται για επανεκπομπή στα υψηλότερα στρώματα είναι συνήθως της τάξης των δευτερολέπτων και επομένως είναι πιο αποτελεσματικό η αντιμετώπιση των σφαλμάτων να γίνει στο στρώμα MAC. Για αυτό το σκοπό, το IEEE 802.11 περιλαμβάνει ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων. Όταν ένας σταθμός λαμβάνει ένα πλαίσιο δεδομένων από έναν άλλο σταθμό επιστρέφει ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης λήψης (Acknowledgment, ACK) στο σταθμό πηγής. Αυτή η ανταλλαγή αντιμετωπίζεται ως μία ατομική μονάδα που δεν πρέπει να διακοπεί από μία εκπομπή ενός άλλου σταθμού. Αν η πηγή δεν λάβει ένα πλαίσιο ACK μέσα σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα, επειδή έχει υποστεί ζημιά είτε το πλαίσιο δεδομένων είτε το επιστρεφόμενο ACK, τότε η πηγή επανεκπέμπει το πλαίσιο.

Συνεπώς, ο βασικός μηχανισμός μεταφοράς δεδομένων στο IEEE 802.11 εμπεριέχει την ανταλλαγή δύο πλαισίων. Για να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο η αξιοπιστία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία ανταλλαγή τεσσάρων πλαισίων. Σε αυτή τη μέθοδο, η πηγή στέλνει πρώτα ένα πλαίσιο αίτησης αποστολής (Request To Send, RTS) στον προορισμό. Ο προορισμός απαντάει με ένα πλαίσιο αποδοχής αποστολής (Clear To Send, CTS). Μετά τη λήψη του πλαισίου CTS, η πηγή εκπέμπει το πλαίσιο δεδομένων και ο προορισμός απαντάει με ένα πλαίσιο ACK. Το πλαίσιο RTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που βρίσκονται στην εμβέλεια λήψης της πηγής ότι μία ανταλλαγή βρίσκεται σε εξέλιξη και αυτοί οι σταθμοί δεν επιχειρούν καμία εκπομπή για την αποφυγή σύγκρουσης μεταξύ δύο πλαισίων που εκπέμπονται την ίδια στιγμή. Αντίστοιχα το πλαίσιο CTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης του προορισμού ότι μία ανταλλαγή βρίσκεται σε εξέλιξη.

## 5.4 Έλεγχος πρόσβασης

### 5.4.1 Πρόβλημα κρυφού και εκτεθειμένου σταθμού

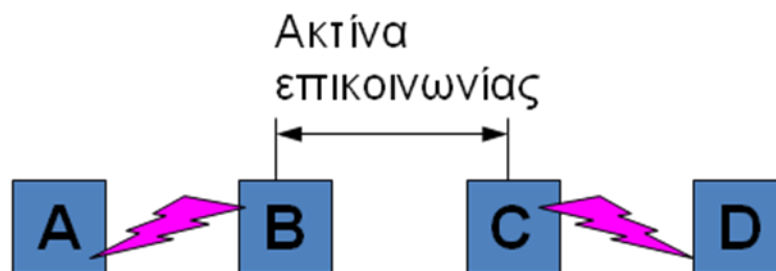
Το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού (hidden station problem) υφίσταται όταν όλοι οι σταθμοί μιας κυψέλης δεν είναι εντός εμβέλειας όλων των άλλων σταθμών της ίδιας κυψέλης, με αποτέλεσμα οι μεταδόσεις που πραγματοποιούνται σε ένα τμήμα της κυψέλης να μη λαμβάνονται σε άλλα σημεία στην ίδια κυψέλη. Για να κατανοήσουμε το πρόβλημα, ας εξετάσουμε την Εικόνα 5.2 όπου απεικονίζονται τέσσερις ασύρματοι σταθμοί A, B, C και D.



Εικόνα 5.2: Πρόβλημα κρυμμένου σταθμού

Η εμβέλεια των σταθμών είναι τέτοια ώστε οι σταθμοί A και B βρίσκονται αμοιβαία εντός εμβέλειας, οπότε μπορούν δυνητικά να παρεμβληθούν ο ένας στον άλλον. Ο C μπορεί επίσης να παρεμβληθεί στους B και D, αλλά όχι στον A. Ας εξετάσουμε τι συμβαίνει όταν ο A μεταδίδει στον B, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2. Αν ο C ανιχνεύσει το μέσον, δεν θα ακούσει τον A επειδή βρίσκεται εκτός εμβέλειας, οπότε θα συμπεράνει λανθασμένα ότι μπορεί να μεταδώσει στον B. Αν ο C αρχίσει να μεταδίδει, θα δημιουργήσει παρεμβολές στον B, εξαφανίζοντας το πλαίσιο από τον A.

Ας δούμε τώρα την αντίστροφη κατάσταση : να μεταδίδει ο B στον A, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού

Αν ο C ανιχνεύσει το μέσον, θα ακούσει μία μετάδοση σε εξέλιξη και θα συμπεράνει λανθασμένα ότι δεν μπορεί να στείλει στον D, ενώ στην πραγματικότητα μια τέτοια μετάδοση θα οδηγούσε σε κακή λήψη μόνο στην ζώνη μεταξύ των B και C, όπου όμως δεν βρίσκεται κανείς από τους επιθυμητούς παραλήπτες. Αυτό το πρόβλημα ονομάζεται πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού (exposed station problem).

Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα αυτά, το 802.11 υποστηρίζει δύο καταστάσεις λειτουργίας. Η πρώτη ονομάζεται Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (Distribution Coordination Function, DCF), η οποία δεν χρησιμοποιεί κάποιο είδος κεντρικού ελέγχου. Η άλλη, που ονομάζεται Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF), χρησιμοποιεί το σταθμό βάσης για τον έλεγχο όλων των δραστηριοτήτων στην αντίστοιχη κυψέλη του.

#### **5.4.2 Χρονικά διαστήματα αναμονής μεταξύ διαδοχικών πλαισίων**

Χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα αναμονής (InterFrame Spaces - IFS) μεταξύ διαδοχικών πλαισίων, των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από το εκάστοτε σύστημα μετάδοσης, αλλά είναι ανεξάρτητες από τον ρυθμό δεδομένων του δικτύου.

Το μικρότερο από αυτά ονομάζεται SIFS (Short InterFrame Space) και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις αποστολής κάποιας άμεσης απάντησης, όπως ενός πλαισίου ACK ή CTS, ή για την αποστολή του πακέτου δεδομένων αμέσως μετά την λήψη ενός έγκυρου CTS.

Επόμενο σε μέγεθος είναι το PIFS (Point coordination function InterFrame Space), το οποίο χρησιμοποιείται στην λειτουργία PCF για να καταληφθεί το κανάλι από το τερματικό που θα δίνει την άδεια χρήσης του καναλιού στα υπόλοιπα τερματικά.

Αμέσως μεγαλύτερο είναι το DIFS (Distributed coordination function InterFrame Space), το οποίο εκφράζει και την μικρότερη δυνατή καθυστέρηση ανάμεσα στην εκπομπή δύο διαδοχικών πακέτων δεδομένων στην λειτουργία DCF.

Τέλος, το μεγαλύτερο σε μέγεθος είναι το EIFS (Extended InterFrame Space), το οποίο χρησιμοποιείται στην λειτουργία DCF όταν το φυσικό επίπεδο εντοπίζει ότι έγινε μία λάθος λήψη πλαισίου, και ενημερώνει για αυτό το υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου. Μετά, όμως, από την λήψη ενός σωστού



πλασίου κατά την διάρκεια του EIFS, χρησιμοποιείται και πάλι το DIFS. Το EIFS χρησιμοποιείται γιατί δίνει την δυνατότητα στο τερματικό-πομπό του λάθους πλασίου να καταλάβει ότι δεν έγινε σωστή λήψη.[11]

### **5.4.3 Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού**

Είναι ο βασικός τρόπος πρόσβασης στο κοινό μέσο και, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ουσιαστικά πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA).

#### **5.4.3.1 Πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA)**

Η πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων είναι παρόμοια σε λειτουργία με την πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με ανίχνευση συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD) που χρησιμοποιείται σε ενσύρματα δίκτυα (IEEE 802.3, Ethernet). Η τεχνική της ανίχνευσης συγκρούσεων δεν θα μπορούσε, όμως, να χρησιμοποιηθεί σε ένα ασύρματο δίκτυο, λόγω της ίδιας της φύσης του δικτύου.

Καταρχάς, η μέθοδος της ανίχνευσης συγκρούσεων απαιτεί από ένα τερματικό να «ακούει» το μέσο ενώ ταυτόχρονα εκπέμπει. Κάτι τέτοιο είναι εύκολα υλοποιήσιμο σε ένα ενσύρματο δίκτυο όπου η διαφορά στα επίπεδα ενός εκπεμπόμενου και ενός λαμβανόμενου σήματος είναι αρκετά μικρή και επιτρέπει την ανίχνευση τυχόν σύγκρουσης. Αντίθετα, σε ένα ασύρματο δίκτυο η ενέργεια του εκπεμπόμενου σήματος σκορπίζεται προς όλες τις διευθύνσεις και οι δέκτες πρέπει να είναι πολύ ευαίσθητοι για να εντοπίσουν το σήμα. Έτσι, ακόμα και αν μόνο δύο τερματικά εκπέμπουν ταυτόχρονα είναι δύσκολο να ανιχνευθεί η σύγκρουση επειδή η ισχύς του ενός πομπού καλύπτει την ισχύ από την άλλη εκπομπή. Επιπλέον, σε ένα ασύρματο δίκτυο υπάρχει υψηλή αλλά και μεταβαλλόμενη εξασθένιση του σήματος (ιδιαίτερα στην περίπτωση κινητών τερματικών), που καθιστά ακόμη δυσκολότερη την ανίχνευση συγκρούσεων. Τέλος, σε ένα ασύρματο δίκτυο η ακτίνα εκπομπής και λήψης κάθε τερματικού είναι συγκεκριμένη και πεπερασμένη, με αποτέλεσμα κάθε τερματικό να έχει μία διαφορετική εικόνα ως προς την έκταση του μέσου και το σύνολο των

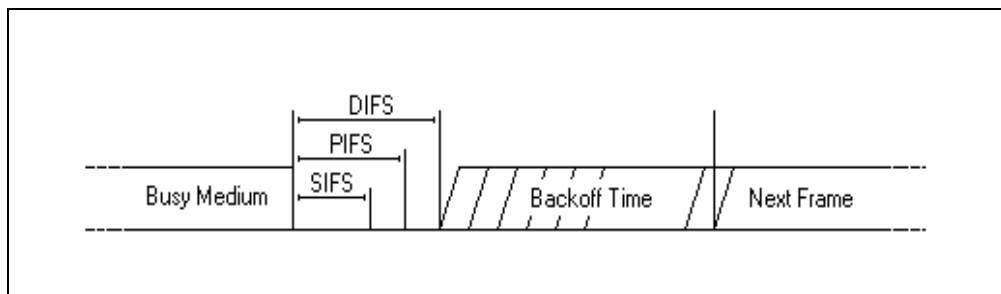
συνδεδεμένων σε αυτό τερματικών. Αυτό το πρόβλημα, είναι το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού (hidden station problem). Έτσι, ένα τερματικό-πομπός δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσει μία σύγκρουση που πιθανόν να συνέβη στην περιοχή του τερματικού-δέκτη λόγω της ταυτόχρονης εκπομπής από ένα άλλο κρυμμένο για τον πομπό τερματικό. Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιείται σε ένα ασύρματο περιβάλλον η τεχνική της αποφυγής των συγκρούσεων αντί για αυτή της ανίχνευσής τους, ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιείται και επιβεβαίωση (Acknowledgement, ACK) κάθε σωστής λήψης, όπως θα δούμε στην συνέχεια.

Το CSMA/CA είναι ένα καταμεμημένο (distributed) σύστημα πρόσβασης, δηλαδή δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο τερματικό που να ελέγχει την πρόσβαση στο κοινό ασύρματο μέσο. Έτσι, τα τερματικά καταλαμβάνουν το κοινό μέσο αφού ακολουθήσουν την παρακάτω, κοινή για όλα διαδικασία: Κάθε τερματικό που θέλει να εκπέμψει «ακούει» το κανάλι. Όταν το κανάλι ελευθερωθεί το τερματικό περιμένει για χρόνο DIFS και για έναν επιπλέον τυχαίο χρόνο που καθορίζεται από την διαδικασία προσωρινής αναβολής προσπάθειας για αποστολή πακέτου (backoff procedure). Έπειτα, και αν το κανάλι παραμένει ελεύθερο, το τερματικό μπορεί να προχωρήσει στην εκπομπή του πακέτου του.

Η πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων είναι έτσι σχεδιασμένη, ώστε να μειώνεται η πιθανότητα σύγκρουσης ανάμεσα σε δύο τερματικά κατά την προσπάθειά τους να καταλάβουν το κοινό μέσο. Αυτό ακριβώς είναι και το σημείο στο οποίο συμβαίνουν οι περισσότερες συγκρούσεις, αφού αμέσως μετά την ολοκλήρωση της τελευταίας εκπομπής και την ελευθέρωση του μέσου, όλοι οι σταθμοί επιχειρούν ταυτόχρονα την κατάληψή του. Η εισαγωγή, λοιπόν, του επιπλέον τυχαίου χρόνου αναβολής (backoff time) αναγκάζει τα τερματικά να επιχειρήσουν σε τυχαίους, διαφορετικούς χρόνους την κατάληψη του μέσου. Επίσης, όταν το μέσο καταληφθεί από το πρώτο τερματικό, προλαβαίνει να γίνει αντιληπτό το γεγονός αυτό και από τα υπόλοιπα τερματικά, τα οποία και σταματούν την δική τους προσπάθεια κατάληψης του μέσου. Τέλος, η διαδικασία backoff εισάγει και έναν πιο δίκαιο τρόπο κατάληψης του μέσου, όπως θα φανεί αργότερα σε μία πιο λεπτομερή ανάλυση.

### 5.4.3.2 Διαδικασία πρόσβασης

Ας δούμε αναλυτικά την διαδικασία κατάληψης του μέσου από ένα τερματικό. Ένα τερματικό που θέλει να μεταδώσει ένα πλαίσιο «ακούει» το κανάλι, και προσδιορίζει αν αυτό είναι απασχολημένο ή ελεύθερο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται από το πρότυπο φυσική ανίχνευση φέροντος (Physical Carrier-Sense). Αν το κανάλι είναι απασχολημένο, το τερματικό περιμένει μέχρι αυτό να ελευθερωθεί. Όταν το κανάλι ελευθερωθεί, το τερματικό περιμένει αρχικά για χρόνο DIFS ενώ συνεχίζει να «ακούει» το κανάλι. Αφού παρέλθει αυτός ο χρόνος και το κανάλι συνεχίζει να είναι ελεύθερο, το τερματικό περιμένει για έναν επιπλέον τυχαίο αριθμό χρονοθυρίδων, ο οποίος καθορίζεται από την διαδικασία backoff. Το τερματικό συνεχίζει να «ακούει» το κανάλι κατά την διάρκεια κάθε χρονοθυρίδας. Αν το κανάλι στην διάρκεια μιας χρονοθυρίδας είναι ελεύθερο, ο επιπλέον χρόνος αναβολής μειώνεται κατά μία χρονοθυρίδα. Έτσι, όταν περάσει όλος ο χρόνος αναβολής και το κανάλι συνεχίζει να είναι ελεύθερο, το τερματικό αρχίζει την εκπομπή του πλαισίου του. Αν, όμως, το κανάλι «ακουστεί» απασχολημένο κατά την διάρκεια μιας χρονοθυρίδας, δηλαδή κάποιο άλλο τερματικό έχει προλάβει και έχει καταλάβει το μέσο, σταματά η διαδικασία κατάληψης του μέσου από τα υπόλοιπα τερματικά και δεν μειώνεται ο αριθμός χρονοθυρίδων του χρόνου αναβολής για αυτή την χρονοθυρίδα. Έτσι, όταν το κανάλι ελευθερωθεί ξανά για χρόνο μεγαλύτερο από DIFS, ο χρόνος αναβολής κάθε τερματικού θα συνεχίσει να μειώνεται από την τιμή στην οποία είχε προηγουμένως διακοπεί.



**Εικόνα 5.4:** Διαδικασία πρόσβασης

### 5.4.3.3 Διαδικασία προσωρινής αναβολής προσπάθειας για αποστολή πλαισίου (backoff procedure)

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, όταν ένα τερματικό που θέλει να εκπέμψει, βρει το κανάλι ελεύθερο για χρόνο ίσο με DIFS ή για EIFS (όταν έχει μόλις προηγηθεί λανθασμένη λήψη) και κατά την προηγούμενη προσπάθεια εκπομπής του τερματικού είχε παρέλθει όλος ο χρόνος αναβολής, δηλαδή το τερματικό είχε εκπέμψει, τότε το τερματικό πρέπει να περιμένει ένα επιπλέον τυχαίο χρονικό διάστημα που καθορίζεται από την διαδικασία backoff. Η διαδικασία εύρεσης αυτού του χρονικού διαστήματος είναι η εξής:

Χρησιμοποιείται ένας ψευδοτυχαίος ακέραιος αριθμός που επιλέγεται από μία ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα  $(0, CW)$ . Η μεταβλητή  $CW$ , που είναι συντομογραφία των λέξεων Contention Window (παράθυρο -χρονική διάρκεια- ανταγωνισμού για την κατάληψη του μέσου), παίρνει τιμές του τύπου  $2^v - 1$ , με ελάχιστη την τιμή  $CW_{min}$  και μέγιστη την  $CW_{max}$ . Την πρώτη φορά που χρησιμοποιείται η διαδικασία backoff για συγκεκριμένο τερματικό και για συγκεκριμένο πλαίσιο δεδομένων, η  $CW$  παίρνει την ελάχιστη τιμή της  $CW_{min}$ . Κάθε φορά που γίνεται μία αποτυχημένη προσπάθεια εκπομπής η  $CW$  θα παίρνει την επόμενη τιμή, μέχρι να φτάσει στην μέγιστη τιμή της  $CW_{max}$  στην οποία και θα παραμείνει μέχρι να ξαναρχίσει η διαδικασία backoff για την εκπομπή κάποιου άλλου πλαισίου. Η  $CW$  θα ξαναπαίρνει την ελάχιστη τιμή της  $CW_{min}$  μετά από μία επιτυχημένη εκπομπή πλαισίου ή όταν ολοκληρωθεί ένας μέγιστος αριθμός επανεκπομπών και το τερματικό αρχίσει την προσπάθεια εκπομπής ενός νέου πλαισίου. Η τιμή της  $CW$  δίνει, λοιπόν, τον αριθμό των χρονοθυρίδων που πρέπει να περιμένει το τερματικό, και πολλαπλασιαζόμενη με την χρονική διάρκεια της χρονοθυρίδας, μας δίνει τον συνολικό χρόνο αναβολής.

Οι τιμή της  $CW_{min}$  είναι διαφορετική για κάθε σύστημα μετάδοσης. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται αυτή η διαφορά καθώς και η βαθμιαία αύξηση της  $CW$  για κάθε σύστημα μετάδοσης μέχρι την μέγιστη τιμή της.

Η διαδικασία backoff βοηθά για μία πιο δίκαιη αντιμετώπιση των τερματικών. Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, όταν ένα τερματικό δεν προλάβει να καταλάβει το μέσο, κρατά την τιμή του χρόνου αναβολής στην οποία σταμάτησε για την επόμενη φορά που θα προσπαθήσει να καταλάβει το μέσο. Έτσι, το τερματικό αυτό θα πρέπει να περιμένει στατιστικά μικρότερο χρονικό διάστημα αναβολής σε σχέση με ένα τερματικό που προσπαθεί για πρώτη φορά να

καταλάβει το μέσο, και για αυτό έχει περισσότερες πιθανότητες να εκπέμψει. Επίσης, δικαιοσύνη ως προς την κατάληψη του μέσου εισάγει και το γεγονός ότι κάθε τερματικό καταλαμβάνει το μέσο για την εκπομπή ενός μόνο πλαισίου κάθε φορά, και για να εκπέμψει το επόμενο πλαίσιο πρέπει να μπει και πάλι στην διαδικασία ανταγωνισμού για την κατάληψη του μέσου. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα και σε άλλα τερματικά να εκπέμψουν ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εκπομπές του ίδιου τερματικού.

#### **5.4.3.4 Επιβεβαίωση σωστής λήψης**

Το τερματικό-δέκτης που λαμβάνει σωστά ένα πλαίσιο δεδομένων, υποχρεούται να στείλει στο τερματικό-πομπό ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης της σωστής λήψης. Το πλαίσιο επιβεβαίωσης εκπέμπεται μετά από χρόνο SIFS από το τέλος της λήψης του πλαισίου δεδομένων, ασχέτως αν το κανάλι είναι τότε ελεύθερο ή όχι. Έτσι, επειδή το SIFS είναι μικρότερο από το DIFS, το πλαίσιο επιβεβαίωσης εκπέμπεται πριν από οποιαδήποτε άλλη εκπομπή νέου πλαισίου δεδομένων. Αν το τερματικό-πομπός του πλαισίου δεδομένων στο οποίο απαντά το πλαίσιο επιβεβαίωσης δεν λάβει ένα έγκυρο πλαίσιο επιβεβαίωσης εντός ενός καθορισμένου χρόνου από το τέλος της εκπομπής του πλαισίου δεδομένων, θεωρεί ότι δεν έγινε σωστή λήψη από το τερματικό-δέκτη και εκπέμπει ξανά το πλαίσιο δεδομένων, αφού επανακαταλάβει το μέσο μέσω της παραπάνω διαδικασίας.

Επειδή υπάρχει η περίπτωση να έγινε σωστή λήψη του πλαισίου δεδομένων αλλά να συνέβη κάποιο λάθος κατά την εκπομπή του πλαισίου επιβεβαίωσης, και έτσι παρόλο που το πλαίσιο δεδομένων έχει ληφθεί σωστά, εκπέμπεται ξανά αυτό από το τερματικό-πομπό, κάθε τερματικό ελέγχει αν έχει λάβει ξανά το ίδιο πλαίσιο δεδομένων, μέσω του τμήματος Ελέγχου ακολουθίας (Sequence Control) του πλαισίου. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση το δεύτερο πλαίσιο αγνοείται από το τερματικό-δέκτη, το οποίο, όμως, πρέπει να στείλει και πάλι ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης στο τερματικό-πομπό.

Στην περίπτωση, όμως, που δεν έγινε σωστή λήψη του πλαισίου δεδομένων, δεν γίνεται καμία εκπομπή από το τερματικό-δέκτη προς το τερματικό-πομπό, ενώ το τερματικό-δέκτης πρέπει μάλιστα να περιμένει για χρόνο EIFS αντί για DIFS πριν την εκπομπή του επόμενου πλαισίου του, έτσι ώστε να δοθεί χρόνος στο τερματικό-πομπό να καταλάβει ότι έγινε λάθος στην τελευταία του εκπομπή.

Στην περίπτωση που γίνεται εκπομπή προς μία ομάδα τερματικών (multicasting) ή προς όλα τα υπόλοιπα τερματικά του βασικού συνόλου εξυπηρέτησης (broadcasting) τα τερματικά-δέκτες απαγορεύεται να στείλουν πίσω πλαίσιο επιβεβαίωσης, λόγω του ότι είναι ασύμφορο διότι θα δημιουργηθούν συγκρούσεις μεταξύ των πλαισίων επιβεβαίωσης. Σαν αποτέλεσμα μειώνεται η αξιοπιστία του δικτύου στις περιπτώσεις ομαδικών εκπομπών.

#### **5.4.3.5 Εικονική ανίχνευση φέροντος**

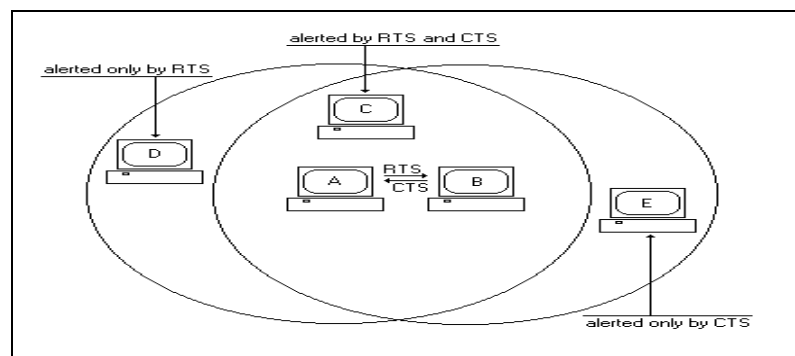
Η εικονική ανίχνευση φέροντος (Virtual Carrier-Sense) είναι ένας δεύτερος τρόπος προσδιορισμού αν το κοινό μέσο είναι απασχολημένο ή ελεύθερο σε μία δεδομένη χρονική στιγμή. Πρόκειται για έναν μηχανισμό διανομής πληροφοριών προς όλα τα τερματικά για την διάρκεια πιθανής κατάληψης του μέσου για την αμέσως επόμενη εκπομπή, που πραγματοποιείται με την ανταλλαγή ανάμεσα σε τερματικό-πομπό και σε τερματικό-δέκτη δύο μικρών πλαισίων ελέγχου, των RTS (Request To Send : Παράκληση για εκπομπή) και CTS (Clear To Send : Ελεύθερος για αποστολή).

Όταν ένα τερματικό θέλει να εκπέμψει, και αφού καταλάβει το μέσο σύμφωνα με την διαδικασία πρόσβασης που περιγράψαμε παραπάνω, αντί να αρχίσει την εκπομπή του πλαισίου δεδομένων του, στέλνει προς το τερματικό-δέκτη ένα πλαίσιο RTS με το οποίο ζητά την άδεια να προχωρήσει στην εκπομπή του πλαισίου δεδομένων. Το τερματικό-δέκτης, αφού λάβει χωρίς λάθος το πλαίσιο RTS και αφού περιμένει για χρόνο SIFS, οφείλει να απαντήσει με ένα πλαίσιο CTS, με το οποίο δίνει την άδεια στο τερματικό-πομπό να προχωρήσει στην εκπομπή του πλαισίου δεδομένων. Όταν το τερματικό-πομπός λάβει το CTS θα αρχίσει την εκπομπή του πλαισίου δεδομένων του αφού περάσει επίσης χρόνος SIFS. Σε περίπτωση που το τερματικό-πομπός δεν λάβει το CTS μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα επαναλάβει την διαδικασία και θα ξαναστείλει RTS αφού, όμως, επανακαταλάβει το μέσο. Τέλος, άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός ότι, επειδή η χρονική διάρκεια SIFS είναι μικρότερη από την DIFS, δεν υπάρχει περίπτωση να αρχίσει στο ενδιάμεσο κάποια άλλη εκπομπή.

Στο τμήμα Διάρκειας (Duration) των πλαισίων RTS και CTS περιέχεται η χρονική διάρκεια κατάληψης του μέσου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εκπομπής, δηλαδή η χρονική διάρκεια εκπομπής του πλαισίου δεδομένων αλλά και του αντίστοιχου πλαισίου επιβεβαίωσης. Αυτή η πληροφορία

διανέμεται σε όλα τα τερματικά τόσο στην περιοχή του πομπού (από το RTS) όσο και στην περιοχή του δέκτη (από το CTS), και αποθηκεύεται στον Πίνακα διανομής δικτύου (Net Allocation Vector - NAV) που υπάρχει για αυτόν τον λόγο σε κάθε τερματικό. Έτσι, για να αποφασίσει ένα τερματικό αν το μέσο είναι ελεύθερο ή απασχολημένο, θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τόσο την φυσική όσο και την εικονική ανίχνευση φέροντος. Δηλαδή το μέσο θα είναι ελεύθερο μόνο όταν και «ακούγεται» ελεύθερο αλλά και η τιμή του Πίνακα διανομής δικτύου είναι 0.

Η χρήση της εικονικής ανίχνευσης φέροντος παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Καταρχάς, αποφεύγονται συγκρούσεις αφού διανέμεται σε όλα τα τερματικά η απαιτούμενη χρονική διάρκεια κατάληψης του μέσου για την κάθε εκπομπή. Επίσης, αν γίνει σύγκρουση κατά την διάρκεια εκπομπής των RTS ή CTS, το τερματικό-πομπός θα επαναλάβει την διαδικασία κατάληψης του μέσου και εκπομπής νέου RTS, πιο γρήγορα από ότι αν γινόταν η εκπομπή ολόκληρου του πλαισίου δεδομένων και τελικά δεν γινόταν λήψη του πλαισίου επιβεβαίωσης. Έτσι, γίνεται πιο γρήγορα ανίχνευση συγκρούσεων. Επιπλέον, μειώνεται το πρόβλημα του κρυμμένου τερματικού (hidden station problem), αφού το CTS ενημερώνει για την εκπομπή όλα τα τερματικά που βρίσκονται στην περιοχή του τερματικού-δέκτη, ακόμη και αυτά που δεν βρίσκονται στην περιοχή του τερματικού-πομπού και δεν θα ήταν διαφορετικά σε θέση να αντιληφθούν την εκπομπή. Με τον ίδιο τρόπο το RTS του τερματικού-πομπού προστατεύει την περιοχή του από συγκρούσεις όταν το πλαίσιο επιβεβαίωσης εκπέμπεται από το τερματικό-δέκτη, Εικόνα 2.5.



**Εικόνα 5.5:** Αντιμετώπιση του προβλήματος του κρυμμένου τερματικού

Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις στις οποίες αποδεικνύεται ότι δεν συμφέρει η χρησιμοποίηση της εικονικής ανίχνευσης φέροντος, για αυτό και το πρότυπο ορίζει την προαιρετική χρήση του ανάλογα με την περίπτωση. Μία από αυτές είναι η περίπτωση εκπομπής προς ομάδα τερματικών (multicasting ή broadcasting), στην οποία δεν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός αυτός λόγω της αυξημένης κίνησης που θα δημιουργηθεί από την εκπομπή των πολλών CTS και των συγκρούσεων που αναπόφευκτα θα προκύψουν μεταξύ αυτών. Μία άλλη περίπτωση είναι αυτή κατά την οποία έχουμε εκπομπή μικρών πλαισίων δεδομένων, όπου δεν υπάρχει λόγος χρήσης των RTS και CTS. Έτσι, το πρότυπο επιτρέπει την αποστολή μικρών πλαισίων δεδομένων χωρίς τον μηχανισμό της εικονικής ανίχνευσης φέροντος, ο οποίος, όμως, μπορεί να χρησιμοποιείται για μεγαλύτερα πλαίσια. Πάντως, ένα τερματικό το οποίο δεν χρησιμοποιεί τον μηχανισμό της εικονικής ανίχνευσης φέροντος, είναι υποχρεωμένο να ενημερώνει τον Πίνακα διανομής δικτύου του (NAV) κάθε φορά που λαμβάνει ένα RTS ή CTS, και πρέπει πάντα να απαντά με ένα CTS σε κάθε RTS που του στέλνεται. Για αυτό, παρόλο που ο μηχανισμός αυτός είναι προαιρετικός, πρέπει πάντα να υπάρχει διαθέσιμος σε κάθε τερματικό.

## **5.5 Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού**

Η Σημειακή λειτουργία συγχρονισμού (Point Coordination Function - PCF) είναι ένας προαιρετικός τρόπος λειτουργίας του δικτύου, που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την Κατανεμημένη λειτουργία συγχρονισμού (DCF), είναι υλοποιήσιμη μόνο σε δίκτυα υποδομής (infrastructure networks) και διαχωρίζει τα τερματικά σε υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας.

### **5.5.1 Σημασία**

Αντίθετα με τα απλά δεδομένα, τα δεδομένα πραγματικού χρόνου, όπως η φωνή ή η κινούμενη εικόνα (video), απαιτούν μετάδοση εντός συγκεκριμένων χρονικών ορίων, πέρα από τα οποία χάνουν την σημασία τους. Η πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA) δεν είναι, λοιπόν, κατάλληλη για δεδομένα πραγματικού χρόνου, αφού αντιμετωπίζει ως ίσα όλα τα είδη πλαισίων δεδομένων, και δεν μπορεί να διαχωρίσει τα ευαίσθητα ως προς τον χρόνο δεδομένα και να τους δώσει προτεραιότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα δεδομένα. Επιπλέον, είναι πιθανόν να υπάρξουν μεγάλες καθυστερήσεις στο δίκτυο, όχι μόνο λόγω των πιθανών συγκρούσεων, αλλά και



λόγω της χρήσης των πλαισίων επιβεβαίωσης, των πλαισίων RTS και CTS καθώς και λόγω εκπομπής μεγάλων πλαισίων δεδομένων. Για αυτούς τους λόγους είναι άμεση η ανάγκη ενός μηχανισμού που να δίνει προτεραιότητα πρόσβασης στο μέσο στα τερματικά που μεταδίδουν ευαίσθητα ως προς τον χρόνο δεδομένα. Αυτός ο μηχανισμός είναι η Σημειακή λειτουργία συγχρονισμού.

### **5.5.2 Μηχανισμός**

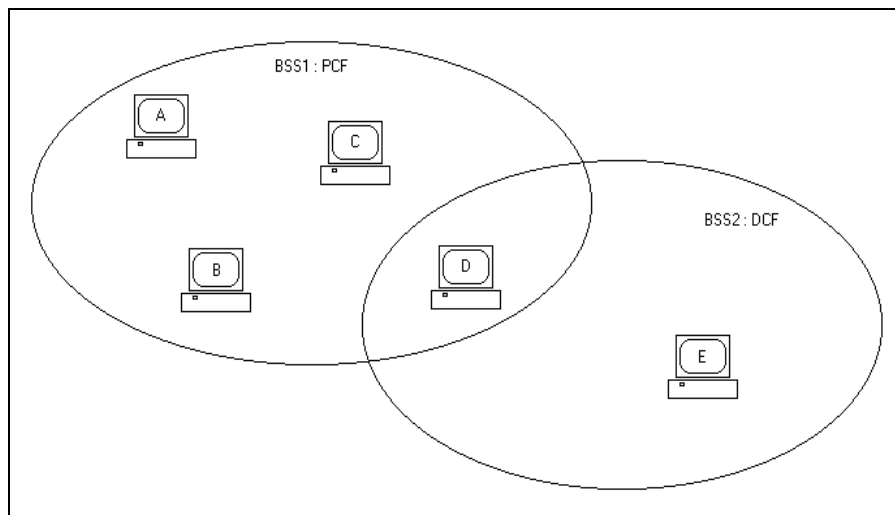
Η σημειακή λειτουργία συγχρονισμού δεν είναι κατανεμημένη αλλά ένα τερματικό αναλαμβάνει περιοδικά τον έλεγχο του δικτύου για ένα χρονικό διάστημα. Το τερματικό αυτό είναι αυτό που λειτουργεί ως σημείο πρόσβασης (AP) και ονομάζεται σημειακός συγχρονιστής (Point Coordinator - PC). Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το δίκτυο βρίσκεται υπό τον έλεγχο του PC ονομάζεται περίοδος μη ανταγωνισμού (Contention-Free Period - CFP), αφού τα τερματικά δεν χρειάζεται να ανταγωνιστούν για την κατάληψη του μέσου. Ανάλογα, το χρονικό διάστημα στο οποίο λειτουργεί κατανεμημένα το δίκτυο ονομάζεται περίοδος ανταγωνισμού (Contention Period - CP).

Όταν το PC θέλει να καταλάβει τον έλεγχο του δικτύου, περιμένει για χρόνο PIFS από την στιγμή που ελευθερώνεται το μέσο, και επειδή ο χρόνος PIFS είναι μικρότερος από τον DIFS προλαβαίνει να εκπέμψει πριν από κάθε άλλο τερματικό. Αρχικά εκπέμπει το PC ένα πλαίσιο beacon με το οποίο ειδοποιούνται όλα τα υπόλοιπα τερματικά την αρχή της περιόδου μη ανταγωνισμού. Επίσης, από το τμήμα Διάρκεια (Duration) του πλαισίου αυτού ενημερώνονται τα τερματικά για τον χρόνο που θα διαρκέσει η περίοδος μη ανταγωνισμού. Ο χρόνος αυτός αποθηκεύεται στον Πίνακα διανομής δικτύου (NAV) κάθε τερματικού, και έτσι κατά την διάρκεια της περιόδου μη ανταγωνισμού κανένα άλλο τερματικό δεν πρόκειται να προσπαθήσει να καταλάβει το μέσο.

Μετά από χρόνο SIFS από την λήψη του beacon το PC εκπέμπει το πλαίσιο δεδομένων του και ένα πλαίσιο πόλωσης τερματικού (CF-Poll), που δίνει την άδεια σε ένα από τα τερματικά υψηλής προτεραιότητας να εκπέμψει αμέσως μετά την λήψη του πλαισίου επιβεβαίωσης για το πλαίσιο δεδομένων που μετέδωσε το PC, και αφού περιμένει για χρόνο SIFS. Αν, βέβαια, το PC δεν έχει κάποιο πλαίσιο δεδομένων για εκπομπή, εκπέμπει μόνο το CF-Poll, και το τερματικό που πολώνεται εκπέμπει αμέσως μετά την λήψη του, αφού και πάλι περάσει χρόνος SIFS. Τα τερματικά που εκπέμπουν κατά την διάρκεια της περιόδου μη

ανταγωνισμού μπορούν να στείλουν τα πλαίσια δεδομένων τους σε οποιοδήποτε τερματικό, ακόμα και σε ένα χαμηλής προτεραιότητας, και κάθε τερματικό-δέκτης θα πρέπει να στείλει ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης μετά από κάθε σωστή λήψη. Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία, το PC δίνει με την σειρά την άδεια εκπομπής σε κάθε ένα από τα τερματικά υψηλής προτεραιότητας.

Όπως φαίνεται και από την προηγούμενη παράγραφο, κατά την διάρκεια της περιόδου μη ανταγωνισμού χρησιμοποιείται πάντα το χρονικό διάστημα SIFS ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εκπομπές. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση του χρόνου SIFS κατά την διάρκεια της περιόδου μη ανταγωνισμού εξασφαλίζει την προτεραιότητα των τερματικών που πολώνονται ακόμα και στην περίπτωση επικαλυπτόμενων βασικών συνόλων εξυπηρέτησης που λειτουργούν το ένα κατανεμημένα και το άλλο σημειακά (Εικόνα 5.6). Έτσι, αναφερόμενοι στο σχήμα και θεωρώντας ότι το τερματικό A είναι το PC και πρόκειται να δώσει προτεραιότητα στο τερματικό B, δεν υπάρχει περίπτωση για το τερματικό D που βρίσκεται στην κοινή περιοχή των δύο βασικών συνόλων εξυπηρέτησης να ακούσει το κανάλι ελεύθερο για χρόνο μεγαλύτερο του DIFS και να αρχίσει να εκπέμπει νωρίτερα από το τερματικό B.



**Εικόνα 5.6 :** Επικαλυπτόμενα βασικά σύνολα εξυπηρέτησης με διαφορετικές λειτουργίες συγχρονισμού

Αν ένα τερματικό πολωθεί από το PC και δεν έχει κάποιο πλαίσιο δεδομένων για εκπομπή, τότε θα στείλει μόνο το πλαίσιο επιβεβαίωσης, ενώ αν δεν έχει ούτε

πλαίσιο επιβεβαίωσης προς αποστολή θα πρέπει να στείλει ένα μηδενικό πλαίσιο δεδομένων (Null frame). Σε περίπτωση που για κάποιον λόγο (για παράδειγμα βλάβη) ένα τερματικό που πολωθεί δεν εκπέμπει κανένα πλαίσιο, το PC θα καταλάβει και πάλι το μέσο μετά από χρόνο PIFS από το τέλος της τελευταίας λήψης. Επίσης, κάθε τερματικό πριν από κάθε εκπομπή θα πρέπει να ελέγχει μέσω του Πίνακα διανομής δικτύου (NAV) αν προλαβαίνει να εκπέμπει και να λάβει πλαίσιο επιβεβαίωσης πριν τελειώσει ο χρόνος της περιόδου μη ανταγωνισμού. Αν δεν προλαβαίνει θα πρέπει επίσης να εκπέμπει ένα μηδενικό πλαίσιο δεδομένων.

Η περίοδος μη ανταγωνισμού τελειώνει όταν έχει περάσει ο χρόνος που ορίστηκε αρχικά με το πλαίσιο beacon ή όταν έχουν πολωθεί όλα τα τερματικά υψηλής προτεραιότητας. Και στις δύο περιπτώσεις το PC εκπέμπει ένα πλαίσιο CF-End ή ένα πλαίσιο CF-End+CF-ACK αν χρειάζεται να επιβεβαιωθεί η λήψη κάποιου πλαισίου δεδομένων από το PC. Κάθε τερματικό που λαμβάνει ένα από τα παραπάνω πλαίσια τέλους οφείλει να ενημερώσει τον Πίνακα διανομής δικτύου του (NAV), ώστε να είναι έτοιμο για την περίοδο ανταγωνισμού που θα ακολουθήσει. Στην περίοδο ανταγωνισμού επιτρέπεται σε όλα τα τερματικά να προσπαθήσουν να καταλάβουν το μέσο, ακόμα και στα τερματικά υψηλής προτεραιότητας που εξέπεμψαν κατά την περίοδο μη ανταγωνισμού.

Το πρότυπο δεν ορίζει συγκεκριμένη διάρκεια της περιόδου μη ανταγωνισμού, και έτσι αφήνεται στον σχεδιαστή του δικτύου η επιλογή του χρονικής αυτής διάρκειας που μπορεί και να μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες. Ο μόνος περιορισμός από το πρότυπο είναι η ελάχιστη διάρκεια αυτής της περιόδου, που πρέπει να είναι τόση ώστε να προλαβαίνουν να μεταδοθούν δύο πλαίσια δεδομένων του μεγίστου δυνατού μεγέθους καθώς και τα απαιτούμενα πλαίσια διαχείρισης και ελέγχου (πλαίσιο beacon, πλαίσια επιβεβαίωσης, πλαίσια τέλους).

### **5.5.3 Ασφάλεια**

Η ασφάλεια (Security) είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα στα ασύρματα δίκτυα. Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα, όπου η μετάδοση περιορίζεται σε ένα καλώδιο, στα ασύρματα δίκτυα η μετάδοση μπορεί να εκτείνεται σε μία μεγάλη γεωγραφική περιοχή και έτσι είναι εύκολο με μία συσκευή να «κρυφακούσει» κανείς την μετάδοση. Το πρότυπο παρέχει δύο τρόπους για την ασφάλεια της

μετάδοσης: τον έλεγχο και την επιβεβαίωση ταυτότητας τερματικού (Authentication) και την κωδικοποίηση (Encryption).

## **5.6 Έλεγχος και επιβεβαίωση ταυτότητας τερματικού**

Κάθε τερματικό δηλώνει την ταυτότητά του στα τερματικά με τα οποία θέλει να επικοινωνήσει. Έτσι, μέσω ενός αμοιβαίου ελέγχου και επιβεβαίωσης της ταυτότητας τερματικού, διασφαλίζεται η εμπιστοσύνη της επικοινωνίας.

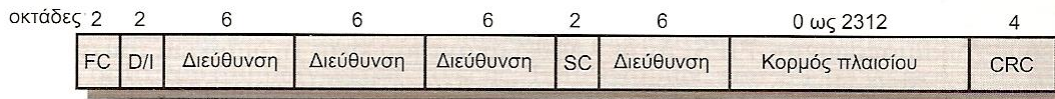
Υπάρχουν δύο είδη ελέγχου και επιβεβαίωσης της ταυτότητας τερματικού: του ανοικτού συστήματος (open system) και του κοινού κλειδιού (shared key). Στον έλεγχο και επιβεβαίωση ανοικτού συστήματος οποιοδήποτε τερματικό μπορεί να ζητήσει επιβεβαίωση, και το τερματικό που λαμβάνει μία παράκληση επιβεβαίωσης μπορεί να δεχθεί την επικοινωνία είτε με οποιοδήποτε άλλο τερματικό είτε μόνο με τερματικά που έχουν οριστεί από τον χρήστη. Στον έλεγχο και επιβεβαίωση κοινού κλειδιού γίνεται επιβεβαίωση μόνο των τερματικών που χρησιμοποιούν ένα μυστικό κλειδί κωδικοποίησης [12]. Το κλειδί αυτό πρέπει να έχει συμφωνηθεί από τα τερματικά εκτός του ασύρματου δικτύου και δεν επιτρέπεται η μετάδοσή του από το ασύρματο δίκτυο.

### **5.6.1 Κωδικοποίηση**

Η κωδικοποίηση χρησιμοποιείται για να προστατέψει την επικοινωνία ανάμεσα σε τερματικά των οποίων η ταυτότητα έχει ήδη ελεγχθεί και επιβεβαιωθεί. Τα πλαίσια που ανταλλάσσονται ανάμεσα στα τερματικά κωδικοποιούνται στον πομπό και αποκωδικοποιούνται στον δέκτη χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο WEP (Wired Equivalent Privacy). Σύμφωνα με αυτόν τον αλγόριθμο εφαρμόζεται αρχικά στο πλαίσιο ο Κυκλικός κώδικας ελέγχου σφάλματος με τη μέθοδο προσθήκης πλεονασμού (32-bit Cyclic Redundancy Code - CRC), η τιμή του οποίου αποθηκεύεται στο πλαίσιο. Στη συνέχεια κωδικοποιείται το πλαίσιο με την εφαρμογή της δυαδικής πράξης XOR (αποκλειστικό ή) ανάμεσα στο πλαίσιο και στο κλειδί, και μετά μεταδίδεται. Στον δέκτη, ο οποίος έχει από πριν συμφωνήσει για το κλειδί με τον πομπό, ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία.[13]

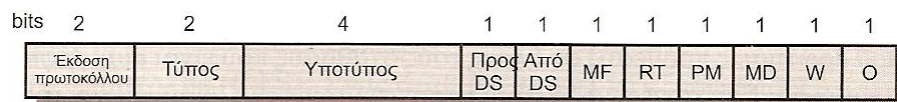
## 5.7 Δομή πλαισίων MAC του 802.11

Το Εικόνα 2.7α δείχνει τη μορφοποίηση πλαισίου του 802.11. Αυτή η γενική μορφοποίηση χρησιμοποιείται για όλα τα πλαίσια δεδομένων και ελέγχου αλλά δε χρησιμοποιούνται όλα τα πεδία σε κάθε περίπτωση. Τα πεδία έχουν ως εξής:



DS = Έλεγχος πλαισίου  
D/I = Ταυτότητα διάρκειας/σύνδεσης  
SC = Έλεγχος σειράς

(α) Πλαίσιο MAC



DS = Σύστημα διανομής  
MF = Επιπλέον τμήματα  
RT = Επανάληψη  
PM = Διαχείριση ενέργειας  
MD = Επιπλέον δεδομένα  
W = bit WEP  
O = Σειρά

(β) Πεδίο ελέγχου πλαισίου

**Εικόνα 5.7:** Μορφοποίηση Πλαισίου MAC του 802.11

- Έλεγχος πλαισίου (Frame control): Δηλώνει τον τύπο πλαισίου και παρέχει πληροφορίες ελέγχου, όπως εξηγείται στη συνέχεια.
- Ταυτότητα διάρκειας/σύνδεσης (Duration/connection ID): Αν χρησιμοποιείται ως πεδίο διάρκειας, δηλώνει το χρόνο (σε us) για τον οποίο θα εκχωρηθεί το κανάλι για μία επιτυχημένη εκπομπή ενός πλαισίου MAC. Σε κάποια πλαίσια, ελέγχου, αυτό το πεδίο περιέχει μία ταυτότητα συσχέτισης, ή σύνδεσης.
- Διευθύνσεις (Addresses): Ο αριθμός και η σημασία των πεδίων διεύθυνσης προορισμού, εκπέμποντος σταθμού και λαμβάνοντος σταθμού.
- Έλεγχος σειράς (Sequence control): Αποτελείται από ένα υποπεδίο 4-bit για τον αριθμό τμήματος, που χρησιμοποιείται για κατάτμηση και ανασύνθεση, και από έναν αριθμό σειράς 12-bit που χρησιμοποιείται για την αρίθμηση των πλαισίων που στέλνονται μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη.
- Κορμός Πλαισίου (Frame body): Περιέχει μία MSDU ή τμήμα μίας MSDU. Η MSDU είναι μία PDU LLC ή πληροφορίες ελέγχου MAC.

- Ακολουθίας ελέγχου πλαισίου (Frame check sequence): Περιέχει έναν CRC των 32 bit.

### 5.7.1 Πλαίσια Ελέγχου

Τα πλαίσια ελέγχου βοηθούν στην αξιόπιστη παράδοση των πλαισίων δεδομένων. Υπάρχουν έξι υποτύποι πλαισίων ελέγχου:

- Power save-poll (PS-Poll): Αυτό το πλαίσιο στέλνεται από οποιονδήποτε σταθμό προς το σταθμό που περιλαμβάνει το AP (σημείο πρόσβασης). Σκοπός του είναι να γνωστοποιήσει ότι το AP εξέπεμψε ένα πλαίσιο που έχει αποθηκευτεί προσωρινά για αυτό το σταθμό, όσο αυτός ο σταθμός βρισκόταν σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (power save mode).
- Αίτηση αποστολής (RTS): Ο σταθμός που στέλνει αυτό το μήνυμα ειδοποιεί με αυτό τον τρόπο τον ενδεχόμενο προορισμό, καθώς επίσης και όλους τους άλλους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης, ότι πρόκειται να στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων σε αυτόν τον προορισμό.
- Αποδοχή αποστολής (CTS): Στέλνεται από το σταθμό προορισμού προς το σταθμό πηγής για παραχώρηση έγκρισης αποστολής ενός πλαισίου δεδομένων.
- Βεβαίωση λήψης (Acknowledgment): Είναι μία βεβαίωση λήψης από τον προορισμό προς την πηγή ότι το αμέσως προηγούμενο πλαίσιο δεδομένων, διαχείρισης ή PS-Poll έχει ληφθεί σωστά.
- Τέλος περιόδου χωρίς ανταγωνισμό [Contention-free (CF)-end]: Δηλώνει το τέλος μίας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό η οποία είναι μέρος της λειτουργίας σημειακού συντονισμού.
- CF-end + CF-ack: Βεβαιώνει τη λήψη του CF-end. Αυτό το πλαίσιο τερματίζει την περίοδο χωρίς ανταγωνισμό και αποδεσμεύει τους σταθμούς από τους περιορισμούς που αφορούν αυτήν την περίοδο.[12]

### 5.7.2 Πλαίσια Δεδομένων

Υπάρχουν οκτώ υποτύποι πλαισίων δεδομένων που χωρίζονται σε δύο ομάδες. Οι πρώτοι τέσσερις υποτύποι ορίζουν πλαίσια που μεταφέρουν δεδομένων υψηλότερων στρωμάτων από το σταθμό πηγής προς το σταθμό προορισμού, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Δεδομένα (Data): Αυτό είναι το πιο απλό πλαίσιο δεδομένων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μία περίοδο με ανταγωνισμό και σε μία περίοδο χωρίς ανταγωνισμό.
- Data + CF-Ack: Μπορεί να σταλεί μόνο κατά τη διάρκεια μίας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό. Εκτός από τη μεταφορά δεδομένων, αυτό το πλαίσιο βεβαιώνει τη λήψη δεδομένων που έχουν ληφθεί προηγουμένως.
- Data + CF-Poll: Χρησιμοποιείται από το σημειακό συντονιστή για την παράδοση δεδομένων σε έναν κινητό σταθμό και επίσης γνωστοποιεί ότι ο κινητός σταθμός έστειλε ένα πλαίσιο δεδομένων το οποίο μπορεί να έχει αποθηκευτεί προσωρινά.
- Data + CF- Ack + CF-Poll: Συνδυάζει τις λειτουργίες των Data + CF-Ack και Data + CF-Poll σε ένα μόνο πλαίσιο.

Οι υπόλοιποι τέσσερις υποτύποι των πλαισίων δεδομένων δε μεταφέρουν δεδομένα χρήστη. Το πλαίσιο δεδομένων Μηδενικής Λειτουργίας (Null Function) δε μεταφέρει καθόλου δεδομένα, ερωτήσεις ή βεβαιώσεις λήψης. Χρησιμοποιείται μόνο για να μεταφέρει το bit διαχείρισης ενέργειας του πεδίου ελέγχου πλαισίου στο AP, για να υποδηλώσει ότι ο σταθμός αλλάζει σε κατάσταση λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Τα υπόλοιπα τρία πλαίσια (CF-Ack, CF-Poll, CF-Ack + CF-Poll) έχουν την ίδια λειτουργικότητα με τους αντίστοιχους υποτύπους πλαισίων δεδομένων της προηγούμενης λίστας (Data + CF-Ack, Data + CF-Poll, Data + CF-Ack + CF-Poll) αλλά χωρίς τα δεδομένα.[12]

### 5.7.3 Πλαίσια Διαχείρισης

Τα πλαίσια διαχείρισης χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των επικοινωνιών μεταξύ σταθμών και σημείων πρόσβασης. Τα πλαίσια αυτά περιλαμβάνουν τους παρακάτω υποτύπους:

- Αίτηση συσχέτισης (Association request): Αποστέλλεται από ένα σταθμό σε ένα AP για να ζητήσει συσχέτιση με αυτή την BSS. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει δυνατότητα μεταφοράς πληροφοριών, όπως για παράδειγμα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κρυπτογράφηση ή αν ο σταθμός είναι διαμορφωμένος για λειτουργία ερωταπόκρισης (rolling).
- Απάντηση συσχέτισης (Association response): Επιστρέφεται από το AP σε ένα σταθμό για να δηλώσει αν δέχεται την αίτηση συσχέτισης.

- Αίτηση επανασυσχέτισης (Reassociation request): Αποστέλλεται από ένα σταθμό όταν μετακινείται από μία BSS σε μία άλλη και πρέπει να δημιουργήσει μία συσχέτιση με το AP της νέας BSS. Ο σταθμός χρησιμοποιεί επανασυσχέτιση και όχι απλή συσχέτιση για να μπορεί το νέο AP να συνεννοηθεί με το παλιό AP για την προώθηση των πλαισίων δεδομένων.
- Απάντηση επανασυσχέτισης (Reassociation response): Επιστρέφεται από το AP σε ένα σταθμό για να δηλώσει αν δέχεται την αίτηση επανασυσχέτισης.
- Αίτηση διερεύνησης (Probe request): Χρησιμοποιείται από ένα σταθμό για να πάρει πληροφορίες από έναν άλλο σταθμό ή AP. Αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό μίας BSS IEEE 802.11.
- Απάντηση διερεύνησης (Probe response): Απάντηση σε μία αίτηση διερεύνησης
- Φάρος (Beacon): Εκπέμπεται περιοδικά για να δίνει τη δυνατότητα στους κινητούς σταθμούς να εντοπίζουν και να αναγνωρίζουν μία BSS.
- Μήνυμα ένδειξης αναγγελίας κίνησης (Announcement traffic indication message): Αποστέλλεται από έναν κινητό σταθμό για να προειδοποιήσει άλλους κινητούς σταθμούς, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, ότι έχει προσωρινά αποθηκευμένα πλαίσια που περιμένουν να παραδοθούν στο σταθμό προορισμού αυτού του πλαισίου.
- Αποσυσχέτιση (Disassociation): Χρησιμοποιείται από ένα σταθμό για τον τερματισμό μίας συσχέτισης.
- Πιστοποίηση (Authentication): Σε μία ανταλλαγή χρησιμοποιούνται πολλαπλά πλαίσια πιστοποίησης για την πιστοποίηση του ενός σταθμού στον άλλο.
- Αποπιστοποίηση (Deauthentication): Αποστέλλεται από έναν σταθμό σε έναν άλλο σταθμό ή σε ένα AP για να δηλώσει ότι τερματίζει τις ασφαλείς επικοινωνίες.[12]

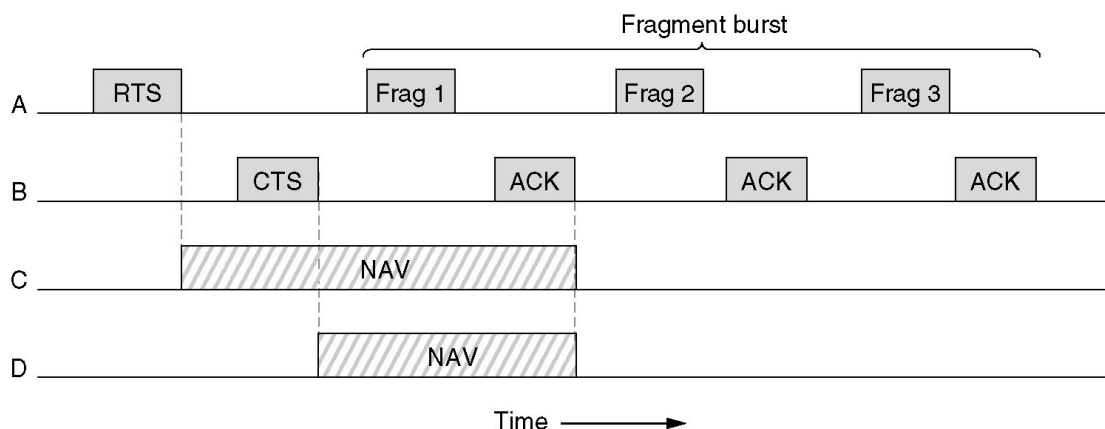
## 5.8 Τεμαχισμός πλαισίων

Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα, τα ασύρματα δίκτυα είναι θορυβώδη και αναξιόπιστα, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στους φούρνους μικροκυμάτων οι



οποίοι χρησιμοποιούν και αυτοί τις μη αδειοδοτημένες ζώνες ISM. Κατά συνέπεια, η πιθανότητα να καταφέρει ένα πλαίσιο να μεταδοθεί με επιτυχία μειώνεται ανάλογα με το μήκος του πλαισίου. Αν η πιθανότητα ένα bit να είναι εσφαλμένο είναι  $p$ , τότε η πιθανότητα να ληφθεί ορθά ένα πλαίσιο των  $n$  bit είναι  $(1-p)^n$ . Για παράδειγμα, για  $p=10^{-4}$ , η πιθανότητα ορθής λήψης ενός πλαισίου Ethernet πλήρους μεγέθους (12144 bit) είναι μικρότερη από 30%. Ακόμη και όταν  $p=10^{-6}$  θα καταστρέφονται περισσότερα από το 1% των πλαισίων, γεγονός που σημαίνει περίπου δώδεκα πλαίσια ανά δευτερόλεπτο, και ακόμη περισσότερα αν χρησιμοποιούνται πλαίσια με μέγεθος μικρότερο από το μέγιστο. Συμπερασματικά, αν ένα πλαίσιο είναι πολύ μεγάλο έχει πολύ μικρή πιθανότητα να φτάσει ορθά, και μάλλον θα χρειαστεί να αναμεταδοθεί.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των θορυβωδών καναλιών, το 802.11 επιτρέπει στα πλαίσια να τεμαχίζονται σε μικρότερα πλαίσια/θραύσματα (fragments), το καθένα από τα οποία έχει το δικό του άθροισμα ελέγχου. Τα πλαίσια/θραύσματα αριθμούνται και επιβεβαιώνονται χωριστά μέσω ενός πρωτοκόλλου παύσης και αναμονής (με άλλα λόγια, ο αποστολέας δεν μπορεί να μεταδώσει το πλαίσιο  $k+1$  μέχρι να λάβει την επιβεβαίωση για το πλαίσιο  $k$ ). Αφού γίνει κατάληψη του καναλιού με τα σήματα RTS και CTS, μπορούν να σταλούν πολλά πλαίσια/θραύσματα στη σειρά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.8. Η ακολουθία των πλαισίων/θραυσμάτων ονομάζεται ριπή πλαισίων/θραυσμάτων (fragment burst).



**Εικόνα 5.8:** Μία ριπή πλαισίων/θραυσμάτων

Ο κατακερματισμός σε πλαίσια/θραύσματα αυξάνει τη διεκπεραιωτική ικανότητα, αφού περιορίζει τις αναμεταδόσεις στα λανθασμένα πλαίσια, αντί σε ολόκληρα τα πλαίσια. Το μέγεθος των πλαισίων/θραυσμάτων δεν καθορίζεται από

το πρότυπο αλλά είναι παράμετρος κάθε κυψέλης, οπότε μπορεί να προσαρμόζεται από το σταθμό βάσης. Ο μηχανισμός του NAV διατηρεί τους άλλους σταθμούς σιωπηλούς μόνο μέχρι την επόμενη επιβεβαίωση.

Βέβαια, η υπερβολική χρήση του τεμαχισμού μπορεί τελικά να προκαλέσει μεγαλύτερη κίνηση στο δίκτυο, αφού σε κάθε τεμάχιο τοποθετείται ξεχωριστή Επικεφαλίδα και Ακολουθία ελέγχου πλαισίου, και επίσης απαιτείται για κάθε τεμάχιο αποστολή ξεχωριστού πλαισίου επιβεβαίωσης ή και ξεχωριστών πλαισίων RTS και CTS, ενώ ακόμα εισάγεται καθυστέρηση λόγω των περισσότερων χρόνων SIFS που απαιτούνται ανάμεσα στις εκπομπές. Για αυτό και το πρότυπο δεν ορίζει το μέγιστο μέγεθος τεμαχίου, αλλά μπορεί αυτό να επιλέγεται ανάλογα με την φύση και τις ανάγκες κάθε δικτύου.[11]

### **5.9 Συσχέτιση τερματικού με σημείο πρόσβασης**

Για να μπορέσει ένα τερματικό να συνδεθεί με το δίκτυο και να μεταδίδει ή να λαμβάνει δεδομένα, θα πρέπει προηγουμένως να έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία συσχέτισής του με το σημείο πρόσβασης (Association).

Για να επιτευχθεί αυτό, το τερματικό εκπέμπει ένα σήμα probe, με το οποίο ψάχνει τα σημεία πρόσβασης που υπάρχουν στην περιοχή. Τα σημεία πρόσβασης που το λαμβάνουν απαντούν σε αυτό με ένα σήμα probe response, και το τερματικό διαλέγει το σημείο πρόσβασης με το πιο δυνατό σήμα. Προς αυτό το σημείο πρόσβασης στέλνει στην συνέχεια ένα πλαίσιο Παράκλησης συσχετισμού (Association Request) και το σημείο πρόσβασης απαντά με ένα πλαίσιο Απάντησης συσχετισμού (Association Response).

Για να υποστηριχθεί η κινητικότητα του τερματικού (mobility and roaming) χρησιμοποιείται η διαδικασία επανασυσχέτισης (Reassociation), η οποία επιτρέπει την μεταφορά της συσχέτισης ενός τερματικού από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο. Έτσι, όταν ένα τερματικό αποφασίσει ότι η ζεύξη του με το σημείο πρόσβασης δεν είναι αρκετά δυνατή, ψάχνει με ένα σήμα probe για άλλα σημεία πρόσβασης. Αν βρεθεί ένα άλλο σημείο πρόσβασης με δυνατότερο σήμα, στέλνει σε αυτό ένα πλαίσιο Παράκλησης συσχετισμού (Association Request), και αν λάβει ένα σωστό πλαίσιο Απάντησης συσχετισμού (Association Response) συνδέεται με το νέο σημείο πρόσβασης. Το νέο σημείο πρόσβασης δηλώνει αυτήν

την επανασυσχέτιση στο σύστημα διανομής (DS), το οποίο και ενημερώνει το παλιό σημείο πρόσβασης για την επανασυσχέτιση.

Τέλος, για την αποσύνδεση του τερματικού από το δίκτυο ενεργοποιείται η διαδικασία αποσυσχέτισης (Disassociation).

### **5.10 Συγχρονισμός και διαχείριση των αποθεμάτων ενέργειας**

Το ρολόι κάθε τερματικού μέσα σε ένα βασικό σύνολο εξυπηρέτησης συγχρονίζεται από περιοδικές εκπομπές πλαισίων beacon. Στην περίπτωση δικτύου υποδομής, το σημείο πρόσβασης αναλαμβάνει την δημιουργία και αποστολή αυτών των πλαισίων, ενώ στην περίπτωση ανεξάρτητου βασικού συνόλου εξυπηρέτησης η διαδικασία αυτή είναι κατανεμημένη.

Η διαχείριση των αποθεμάτων ενέργειας (power management) παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στα ασύρματα δίκτυα και ιδιαίτερα για τα κινητά τερματικά που χρησιμοποιούν μπαταρία. Για αυτό και το πρότυπο καθορίζει δύο διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας: την «ξύπνια» κατάσταση (awake state) και την κατάσταση «ύπνου» (doze state).

Στην «ξύπνια» κατάσταση το τερματικό βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία και μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να μεταδώσει ή να λάβει πλαίσια.

Στην κατάσταση «ύπνου» το τερματικό δεν μπορεί να μεταδώσει ή να λάβει πλαίσια και η κατανάλωση ενέργειας είναι ελάχιστη. Ένα τερματικό οφείλει να ενημερώσει το σημείο πρόσβασης πριν μπει στην κατάσταση «ύπνου», και στη συνέχεια «ξυπνά» κατά διαστήματα και «ακούει» για πλαίσια beacon που το ενημερώνουν αν το σημείο πρόσβασης έχει αποθηκευμένα πλαίσια για να του στείλει. Το σημείο πρόσβασης έχει το δικαίωμα να σβήνει από την μνήμη του πλαίσια τα οποία δεν έχουν φτάσει στο τερματικό-δέκτη αφού παρέλθει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα και το τερματικό-δέκτης δεν έχει μπει στην «ξύπνια» κατάσταση. Επίσης, το σημείο πρόσβασης δεν τροφοδοτείται από μπαταρία, και έτσι δεν υπάρχει περίπτωση να μπει στην κατάσταση «ύπνου».

Και στην περίπτωση ανεξάρτητου βασικού συνόλου εξυπηρέτησης υπάρχει αντίστοιχος μηχανισμός που ειδοποιεί το τερματικό αν πρέπει να «ξυπνήσει». Συγκεκριμένα, όλα τα τερματικά πρέπει να «ξυπνούν» κάθε φορά που στέλνεται το πλαίσιο beacon, ενώ το τερματικό που στέλνει το beacon αλλάζει κάθε φορά με τυχαίο τρόπο, έτσι ώστε όλα τα τερματικά να μπορούν να μπου στην κατάσταση «ύπνου». Λόγω μάλιστα της παραπάνω διαδικασίας, είναι επιτρεπτό να

βρίσκονται όλα τα τερματικά ταυτόχρονα σε κατάσταση «ύπνου». Αμέσως μετά την εκπομπή κάθε πλαισίου beacon αρχίζει μία μικρή χρονική περίοδος, που ονομάζεται Announcement Traffic Information Message (ATIM), κατά την διάρκεια της οποίας γνωστοποιεί κάθε τερματικό την πρόθεσή του να στείλει κάποιο πλαίσιο σε ένα άλλο τερματικό. Έτσι, τα τερματικά που δεν πρόκειται να στείλουν ή να λάβουν κάποιο πλαίσιο μπορούν στην συνέχεια να ξαναμπούν στην κατάσταση «ύπνου» μέχρι την επόμενη εκπομπή πλαισίου beacon.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6. ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ IEEE 802.16

#### 6.1 Εισαγωγή

Η αύξηση των υπηρεσιών που απαιτούν μεγάλους ρυθμούς μεταγωγής, δρομολόγησης και μεταφοράς καθώς και η απαίτηση για διασύνδεση στο διαδίκτυο, με ευκολία και από οποιοδήποτε γεωγραφικό σημείο, οδήγησαν σε μία ταχεία ανάπτυξη ευρυζωνικών συνδρομητικών τεχνολογιών. Η ευρυζωνική πρόσβαση μπορεί να καλύψει τις κλασικές ανάγκες πρόσβασης στο Παγκόσμιο Ιστό (world wide web), της καταφότωσης (download) αρχείων, αλλά και να προσφέρει το επικοινωνιακό υπόβαθρο για εφαρμογές πολυμέσων (multimedia applications). Οι ευρυζωνικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται πλέον για τηλεφωνία, χρησιμοποιώντας τεχνολογία voice-over-Internet protocol (VoIP), για υπηρεσίες, βίντεο κατά απαίτηση (Video on Demand), υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση (high definition television), υπηρεσίες διασκέδασης κλπ. Όλες οι παραπάνω υπηρεσίες προσφέρονται ήδη μέσω ευρυζωνικών συστημάτων οπτικής ίνας (fiber to the home) ή ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών (xDSL) που έχουν ως φυσικό μέσο το χαλκό.

Τι συμβαίνει όμως με την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση και κατά πόσο είναι εφικτό να προσφέρουμε ευρυζωνικές υπηρεσίες πάνω από ένα ασύρματο κανάλι;

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Ο πρώτος τύπος ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης αποσκοπεί στο να παράσχει υπηρεσίες εφάμιλλες των υπηρεσιών σταθερής γραμμής (fixed line broadband) και έχει καθιερωθεί να καλείται σταθερή ασύρματη πρόσβαση (fixed wireless broadband). Ο συγκεκριμένος τύπος πρόσβασης θα μπορούσε να θεωρηθεί εναλλακτικός της xDSL τεχνολογίας και των καλωδιακών modem. Ο δεύτερος τύπος ασύρματης πρόσβασης καλείται mobile broadband και προσφέρει καινούργιες δυνατότητες και ευκολίες στους χρήστες και παράλληλα δημιουργεί και μία νέα ώθηση στην δημιουργία καινούργιων υπηρεσιών τελικού χρήστη. Το πρωτόκολλο 802.16 του Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) και η τεχνολογία WiMAX (παγκόσμια διαλειτουργικότητα για την μικροκυματική

πρόσβαση) είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εξυπηρετούν και τους δύο τύπους ασύρματης πρόσβασης που προαναφέρθηκαν.

## **6.2 Ασύρματα συστήματα τοπικού βρόχου στενής ζώνης**

Η πρώτη εφαρμογή για ασύρματα συστήματα πρόσβασης χρηστών αποσκοπούσε στην κάλυψη κλασικής τηλεφωνίας. Τα συστήματα αυτά αναφέρονταν ως ασύρματος τοπικός βρόχος (wireless local loop). Βασίζονταν στην τεχνολογία βελτιωμένων ψηφιακών ακόρδων τηλεπικοινωνιών (digital enhanced cordless telephony, DECT) και στην πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access, CDMA). Μετά την εμφάνιση της ανάγκης για πρόσβαση στο διαδίκτυο πολλές εταιρείες άρχισαν να προωθούν συστήματα που θα κάλυπταν τις αυξημένες ανάγκες.

## **6.3 Ευρυζωνικά συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς**

Καθώς άρχισαν να αναπτύσσονται τεχνολογίες όπως το xDSL και το DOSCIS (βασισμένο σε cable modems) οι ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης έπρεπε να γίνουν πιο ανταγωνιστικές απέναντι τους, προσφέροντας υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Ασύρματα συστήματα με υψηλότερες συχνότητες λειτουργίας άρχισαν να αναπτύσσονται, για τις ζώνες των 2,5 GHz και 3,5 GHz. Συστήματα πολύ υψηλών ταχυτήτων, που αναφέρονταν ως τοπικά πολυσημιακά συστήματα διανομής (Local Multipoint Distribution System, LMDS) και υποστήριζαν ταχύτητες εκατοντάδων Mbps, αναπτύχθηκαν για να καλύψουν ανάγκες μεγάλων πελατών και γνώρισαν μεγάλη επιτυχία για ένα μικρό διάστημα στο τέλος της δεκαετίας του 1990. Στα τέλη της ίδιας δεκαετίας αναπτύχθηκε ένα άλλο αξιόλογο ασύρματικό σύστημα, ονομαζόμενο μικροκυματικό πολυσημιακό σύστημα διανομής (Microwave Multipoint Distribution System, MMDS) στην ζώνη των 2,5 GHz. Το MMDS χρησιμοποιήθηκε για την παροχή υπηρεσιών βίντεο, κυρίως σε ημιαστικές περιοχές που η καλωδιακή τηλεόραση δεν ήταν υπαρκτή (περιοχή ΗΠΑ). Η έλευση της δορυφορικής τηλεόρασης έκανε περιττή την ύπαρξη της MMDS τεχνολογίας για την παροχή υπηρεσιών τηλεόρασης και έτσι έγινε μία προσπάθεια για να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη τεχνολογία για παροχή σύνδεσης με το Internet. Αντίστοιχα ασύρματα συστήματα που απαιτούσαν οπτική επαφή (Line Of Sight, LOS) αναπτύχθηκαν και εκτός ΗΠΑ, διεθνώς, στη ζώνη των 3.5 GHz. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων ήταν ότι απαιτούσαν

υποχρεωτικά εξωτερικές κεραιές από πλευράς χρηστών, είχαν μικρή χωρητικότητα λόγω εξυπηρέτησης μεγάλων γεωγραφικών περιοχών (άρα και χρηστών) από ένα σύστημα βάσης προϋπέθεταν οπτική επαφή.

#### **6.4 Ευρυζωνικά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς**

Τα ασύρματα ευρυζωνικά συστήματα δεύτερης γενιάς μπορούσαν να υπερπηδήσουν (εν μέρει) την απαίτηση για οπτική επαφή και να προσφέρουν και αξιόλογες χωρητικότητες. Αυτό έγινε εφικτό με την χρησιμοποίηση της αρχιτεκτονικής κυψέλης (cellular architecture) καθώς επίσης και με την εφαρμογή προχωρημένων τεχνικών επεξεργασίας σήματος, που είχαν ως σκοπό να βελτιώσουν την απόδοση της ζεύξης και του συστήματος σε περιβάλλον πολυόδευσης (multipath environment), ιδιοταγή (proprietary) συστήματα. Προσπάθησαν να αντιμετωπίσουν την πρόκληση της ζεύξης χωρίς οπτική επαφή (Non Line Of Sight, NLOS) με την χρησιμοποίηση τεχνικών όπως ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM), τη πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access, CDMA) και την επεξεργασία σήματος από συστήματα πολλαπλών κεραιών. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι με τα ευρυζωνικά συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς η επικοινωνία με ταχύτητες μερικών Mbps, σε ακτίνα μερικών χιλιομέτρων από το σταθμό βάσης και χωρίς οπτική επαφή, έγινε πραγματικότητα.

#### **6.5 Γέννηση του 802.16**

Το 1998 το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών των ΗΠΑ (IEEE) σύστησε μία ομάδα με την ονομασία 802.16 για να αναπτύξει ένα νέο πρότυπο που θα κάλυπτε τις ανάγκες των ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN).

Ο πρώτος στόχος της ομάδας αυτής ήταν να καλύψει τις ανάγκες υψηλών ταχυτήτων πάνω από ασύρματο κανάλι, σε περιπτώσεις που δεν υπήρχε αξιόπιστο καλωδιακό δίκτυο, ή οπτικό δίκτυο. Το πρώτο πρότυπο εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 με την ονομασία IEEE 802.16-2001: Διεπαφή Αέρος για την Περιοχή 10 ως 66 GHz και αφορούσε σταθερή ασύρματη πρόσβαση στη ζώνη 10 – 66 GHz. Αυτό το πρότυπο προδιέγραφε διαμόρφωση μοναδικού φορέα (single carrier) σε φυσικό επίπεδο και πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM) με επιλογή για συχνοδιαιρετική αμφίδρομη επικοινωνία

(Frequency Division Duplex, FDD) ή για χρονοδιακριτική αμφίδρομη επικοινωνία (Time Division Duplex, TDD). Μετά την ολοκλήρωση αυτού του προτύπου για ζώνες συχνοτήτων με ή χωρίς ανάγκη αδειοδότησης μεταξύ 2 GHz και 11 GHz, που θα καθιστούσαν δυνατή και την χρησιμοποίηση NLOS λειτουργίας.

Αυτή η βελτίωση του προτύπου ολοκληρώθηκε το 2003 και πήρε την ονομασία IEEE 802.16a-2003: Διεπαφή Αέρος για Συχνότητες Με Χρήση Άδειας, 2 ως 11 GHz. Το 802.16a-2003 έθετε το πλαίσιο για την χρησιμοποίηση OFDM τεχνολογίας, με στόχο την υπερπήδηση προβλημάτων πολυόδευσης που προέκυπταν από την λειτουργία σε περιβάλλον NLOS. Παράλληλα περιγράφονταν επιπρόσθετες στο επίπεδο της πρόσβασης μέσου που υποστήριζαν Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). Περαιτέρω αναθεωρήσεις έγιναν με τελικό αποτέλεσμα να φτάσουμε σε μία αναθεωρημένη έκδοση το 2004 που περιλαμβάνει και συγχρόνως αντικαθιστά το 802.16, 802.16a και το 802.16c.

Το 802.16-2004 πρότυπο υιοθετήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) ως την βάση για το HIPERMAN (High Performance Metropolitan Area Network). Το 2003 η ομάδα ανάπτυξης του 802.16 άρχισε να εμπλουτίζει το πρότυπο με προδιαγραφές που θα επέτρεπαν την κινητικότητα των χρηστών με ταχύτητες μέχρι και 120 Km/h (Vehicular Mobility). Η συγκεκριμένη διασκευή του προτύπου ονομάστηκε IEEE 802.16e-2005. Το 802.16e προσδιορίζει αλλαγές σε φυσικό και MAC επίπεδο που κάνουν δυνατή την κινητικότητα. Προβλέπει και την κλιμακωτή OFDM διαμόρφωση. Μετά από αυτές τις προσθήκες το αντικείμενο του προτύπου έγινε τόσο ευρύ, που θα ήταν δύσκολο κατασκευαστές να υλοποιήσουν το σύνολο αυτών που προβλέπονταν μέσα το πρότυπο. Έτσι ανέκυψε το θέμα της διαλειτουργικότητας (interoperability) μεταξύ των συστημάτων. Το IEEE ανέπτυξε τις προδιαγραφές αλλά άφησε την βιομηχανία να αποφασίσει για την διαδικασία υλοποίησης και τον τρόπο με τον οποίο θα εξασφαλιζόταν η διαλειτουργικότητα. Έτσι συστάθηκε τον Ιούνιο του 2001 το WiMAX Forum, που βασίστηκε, ως μοντέλο, στο WiFi Alliance, την αντίστοιχη οντότητα που ήταν υπεύθυνη για την προώθηση και τις δοκιμές διαλειτουργικότητας του προτύπου 802.11. Οι εταιρείες που απαρτίζουν το WiMAX Forum ανέρχονται σε πάνω από 500. Περιλαμβάνει εταιρείες από όλους τους κλάδους των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής. Το συγκεκριμένο forum εξέδωσε το πρώτο πιστοποιητικό για τεστ διαλειτουργικότητας, βασισμένο πάνω στο IEEE 802.16-2004 τον Ιανουάριο του



2006. Για πρακτικούς λόγους το WiMAX Forum προσδιόρισε ένα συγκεκριμένο αριθμό προφίλ συστήματος και πιστοποιητικών εξοπλισμού. Ένα προφίλ συστήματος προσδιορίζει ένα υποσύνολο υποχρεωτικών και ένα υποσύνολο προαιρετικών χαρακτηριστικών σε φυσικό επίπεδο, αλλά και σε επίπεδο MAC, που έχουν επιλεγεί από το WiMAX Forum και προδιαγράφονται στο IEEE 802.16-2004 ή στο IEEE 802.16e-2005. Πρέπει να τονιστεί ότι ο χαρακτηρισμός υποχρεωτικών ή προαιρετικών γνωρισμάτων σε ένα προφίλ συστήματος του WiMAX Forum μπορεί να είναι διαφορετικός από αυτόν του προτύπου του IEEE. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν δύο προφίλ συστήματος από το WiMAX Forum: ένα βασισμένο στο IEEE 802.16-2004, με OFDM PHY επίπεδο, που καλείται προφίλ σταθερού συστήματος (Fixed System Profile) και ένα ακόμα που είναι βασισμένο στο IEEE 802.16e-2005, με OFDMA PHY επίπεδο, που καλείται προφίλ συστήματος κινητότητας (Mobility System Profile). Ένα προφίλ πιστοποίησης καθορίζεται από ένα συγκεκριμένο προφίλ συστήματος που η συχνότητα λειτουργίας, το εύρος καναλιού και ο αμφίδρομος τρόπος επικοινωνίας είναι επίσης καθορισμένα.

### **6.5.1 WiMAX προφίλ**

Το WiMAX είναι ένα σύνολο προφίλ βασισμένων στο 802.16 που αναπτύσσεται από το WiMAX Forum και τα μέλη του. Ενώ το 802.16 υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων, με μεγέθη καναλιών από 1,25 έως 20 MHz και για εφαρμογές LOS και NLOS, PTP και PMP, τα προφίλ στενεύουν το πεδίο του για να εστιάσουν σε συγκεκριμένες διαμορφώσεις. Η επιλογή ενός περιορισμένου αριθμού προφίλ είναι σημαντική ώστε να εξασφαλισθεί διαλειτουργικότητα μεταξύ των κατασκευαστών για να παραχθούν οικονομίες κλίμακας που θα οδηγούν σε χαμηλότερες τιμές και σε μια πιο ελκυστική τεχνολογία.

Η επιλογή των προφίλ καθορίζεται από τη ζήτηση στην αγορά, τη διαθεσιμότητα φάσματος, τους ρυθμιστικούς περιορισμούς, τις υπηρεσίες που προσφέρονται, και το ενδιαφέρον των προμηθευτών. Έτσι, η διαθεσιμότητα του φάσματος για τις ευρυζωνικές ασύρματες υπηρεσίες πρόσβασης σε διάφορες χώρες ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία των αρχικών προφίλ στη ζώνη των 3,5 GHz. Η διαθεσιμότητα του μη αδειοδοτημένου φάσματος και η απαίτηση για σταθερές υπηρεσίες καθόρισαν τη δημιουργία ενός προφίλ στη ζώνη των 5,8 GHz.

Η απαίτηση για κινητές υπηρεσίες και διαθεσιμότητα φάσματος κάνει τα 2.5 GHz πιθανό στόχο για το προφίλ 802.16e.

Τα προφίλ του WiMAX καθορίζονται από τις ακόλουθες παραμέτρους :

- Ζώνη φάσματος.
- Duplexing: Δύο επιλογές είναι διαθέσιμες: Time Division Duplex (TDD) για τους operators με unpaired ή license-exempt φάσμα, και Frequency Division Duplex (FDD). Η FDD απαιτεί δύο κανάλια, ένα για Uplink (UP) και ένα για Downlink (DL) μετάδοση. Σε ένα δίκτυο TDD η κυκλοφορία καταλαμβάνει ένα ενιαίο κανάλι, με την UL και DL κυκλοφορία να ανατίθενται σε διαφορετικές χρονοσχισμές.
- Εύρος ζώνης καναλιών: Το εύρος ζώνης καναλιών εξαρτάται ιδιαίτερα από το φάσμα που διατίθεται από τους διαχειριστές. Τα αρχικά προφίλ περιορίζονται σε 3,5MHz και 7MHz στο αδειοδοτημένο φάσμα δεδομένου ότι αυτά είναι τα επικρατούντα κανάλια που διατίθενται στη ζώνη των 3,5GHz.

### 6.5.2 Τα κύρια χαρακτηριστικά του WiMAX

Αρχικά, βασικό χαρακτηριστικό του προτύπου είναι η διεκπαιρευτική ικανότητα (throughput). Το πρότυπο IEEE 802.16 επιτυγχάνει πολύ μεγάλη διεκπαιρευτική ικανότητα, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις αφού έχει ένα πολύ μεγάλο φάσμα εκπομπής που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αντανακλάσεις του σήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής του.

Επίσης πολύ σημαντικό για τη διάδοσή του είναι η κλιμακοσιμότητα (scalability) ή καλύτερα επεκτασιμότητα. Για να μπορεί να γίνει εύκολος και επεκτάσιμος σχεδιασμός κυψελών (cells) επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη ζώνες συχνοτήτων, το πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει ευέλικτα, από άποψη εύρους ζώνης, κανάλια επικοινωνίας. Για παράδειγμα, αν σε κάποιο χειριστή ανατεθεί το φάσμα συχνοτήτων των 20MHz, τότε αυτός μπορεί να χωρίσει το φάσμα σε δύο κομμάτια των 10MHz ή ακόμα σε τέσσερα κομμάτια των 5MHz. Συγκεντρώνοντας έτσι όλη την ενέργεια σε ένα πολύ μικρό φάσμα συχνοτήτων ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλο βεληνεκές και throughput. Για να κλιμακώσει ακόμα περισσότερο την εμβέλεια του σήματος, ο χειριστής μπορεί να χωρίσει ακόμα περισσότερο το

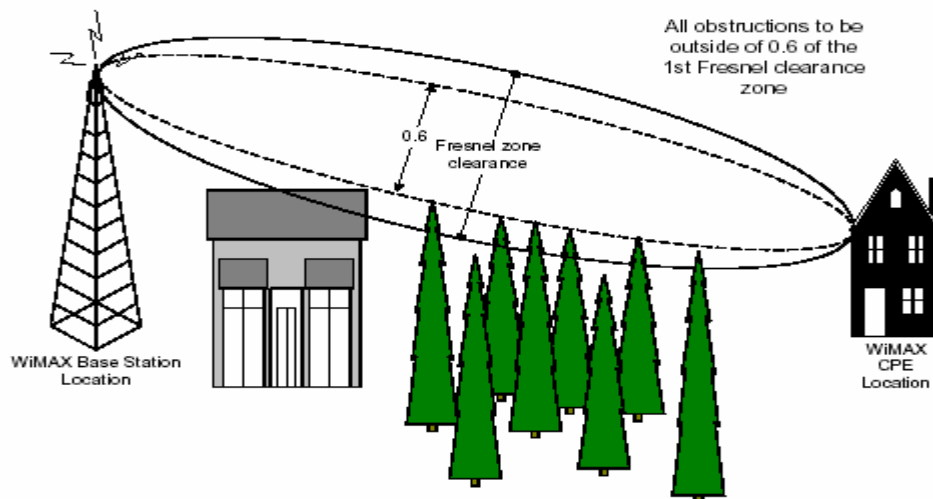
φάσμα συχνοτήτων δημιουργώντας απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσης.

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του WiMAX είναι η εμβέλεια (coverage). Το πρότυπο IEEE 802.16 κατασκευάζεται έτσι ώστε να υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την εμβέλεια του σήματος όπως mesh τοπολογίες και έξυπνες κεραιές. Αξίζει να σημειώσουμε ότι mesh τοπολογίες είναι αυτές οι τοπολογίες δικτύου όπου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Όσο λοιπόν η ραδιοτεχνολογίες βελτιώνονται και το κόστος μειώνεται, μεγαλώνει και η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας και του throughput με τη χρήση πολλαπλών κεραιών καθώς ενθαρρύνεται και η εξάπλωση της εμβέλειας σε περιοχές που παλαιότερα ήταν αδύνατο να εξαπλωθεί.

Η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service, QoS) όπως είναι η μεταφορά φωνής, είναι εξαιρετικά σημαντική για την υιοθέτηση και εξάπλωση του προτύπου. Για αυτό ακριβώς το λόγο το υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής και βίντεο αφού για να είναι εφικτή αυτή η μεταφορά χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο.

Επίσης κάτι άλλο που χαρακτηρίζει το πρότυπο IEEE 802.16 είναι τα κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας, στα οποία εκπέμπονται οι συχνότητες. Αυτά διαχωρίζονται σε LOS (Line of sight) και σε NLOS (Non line of sight).

Σε μια σύνδεση LOS ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από τον πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτός ο παράγοντας τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Fresnel zone clearance που αναφέρεται στην Εικόνα 6.1, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.



**Εικόνα 6.1:** Σύνδεση LOS και ζώνη Fresnel

Σε μια NLOS σύνδεση ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φτάνει στο δέκτη αποτελείται από το σήμα που έφτασε άμεσα από τον πομπό, το σήμα που έφτασε από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική καθυστέρηση διάδοσης, πολώσεις, και σταθερότητα σχετικά με το σήμα που φτάνει άμεσα. Το φαινόμενο αυτό του πολλαπλού μονοπατιού που περιγράφουμε μπορεί να ευθύνεται και για την αλλαγή της πολικότητας του σήματος.

Γενικά, αν και υπάρχουν προβλήματα, η NLOS μετάδοση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της LOS, αφού είναι πιο ευέλικτη και απαιτεί πολύ μικρότερες κεραιές. Η ύπαρξη μικρών κεραιών είναι πολύ μεγάλης σημασίας σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές και αυτό συμβαίνει γιατί με μικρές κεραιές μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Βέβαια η NLOS μετάδοση μειώνει το κόστος εγκατάστασης σε απομακρυσμένες και σε πληθυσμιακές περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη.

## 6.6 Φυσικό Επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο (Physical Layer, PHY) του WiMAX είναι βασισμένο στο IEEE 802.16-2004 και το IEEE802.16e-2005 πρότυπο και σχεδιάστηκε κληρονομώντας κάποια στοιχεία από το WiFi και πιο συγκεκριμένα από του 802.11a. Παρόλο που πολλές πτυχές των δύο τεχνολογιών είναι διαφορετικές

εξαιτίας των διαφορετικών αναγκών και εφαρμογών φιλοδοξούν να ικανοποιήσουν μερικές βασικές τεχνικές, είναι αρκετά όμοιες.

Η πιο βασική, κοινή τεχνική που έχει υιοθετήσει το WiMAX και το WiFi είναι η OFDM διαμόρφωση. Η OFDM θεωρείται κατάλληλη τεχνική διαμόρφωσης για NLOS περιβάλλοντα και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Ωστόσο οι διάφορες παράμετροι που σχετίζονται με το φυσικό επίπεδο όπως οι υποφέρουσες συχνότητες, οι πιλότοι, οι ζώνες φύλαξης και άλλα, είναι διαφορετικές στο WiMAX, λόγω διαφορετικού περιβάλλοντος χρήσεως των δύο άλλων συστημάτων.

Το 802.16 προδιαγράφει τέσσερα PHY επίπεδα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το MAC επίπεδο που προδιαγράφει το ίδιο πρότυπο. Τα PHY επίπεδα που ορίζονται είναι τα εξής :

- WirelessMAN SC, απλής φέρουσας, σχεδιασμένο για χρήση σε συχνότητες άνω των 11GHz, με οπτική επαφή.
- WirelessMAN SCa, απλής φέρουσας, για συχνότητες μεταξύ των 2GHz και των 11GHz για λειτουργία point-to-multipoint.
- WirelessMAN OFDM, βασισμένο σε ταχύ μετασχηματισμό Fourier (FFT) 256 σημείων. Σχεδιασμένο για λειτουργία point-to-multipoint για συχνότητες μεταξύ των 2GHz και των 11GHz σε NLOS περιβάλλον. Το συγκεκριμένο PHY επίπεδο περιλαμβάνεται ολόκληρο στο IEEE 802.16-2004 και έγινε αποδεκτό από το WiMAX για περιπτώσεις σταθερής ασυρματικής πρόσβασης.
- WirelessMAN OFDMA, βασισμένο σε ταχύ μετασχηματισμό Fourier (FFT) 2048 σημείων. Σχεδιασμένο για λειτουργία point-to-multipoint για συχνότητες μεταξύ των 2GHz και των 11GHz σε NLOS περιβάλλον. Το συγκεκριμένο PHY επίπεδο περιλαμβάνεται ολοκληρωμένο στο IEEE 802.16e-2005. Αυτό το φυσικό επίπεδο επιτρέπει την επιλογή FFT μεταξύ 128, 512, 1024 και 2048 σημείων. Το μεταβλητό μέγεθος FFT επιτρέπει την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος σε μία ευρεία περιοχή εύρους ζώνης καναλιού και συνθηκών ραδιοδιαύλου. Αυτό το φυσικό επίπεδο έγινε αποδεκτό από το WiMAX για κινητή και φορητή λειτουργία.

### 6.6.1 WirelessMAN SC

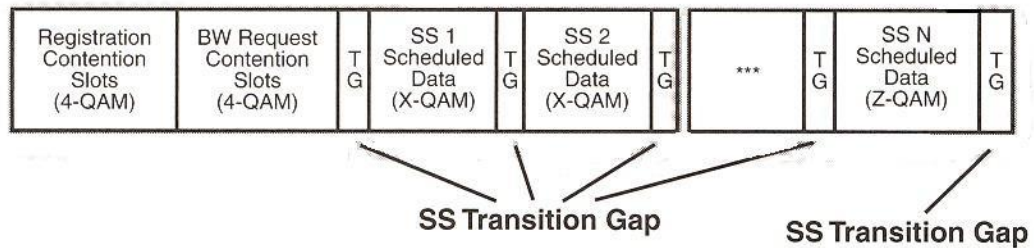
Σε αυτή την point-to-multipoint αρχιτεκτονική, ο σταθμός βάσης βασικά εκπέμπει ένα σήμα πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing, TDD), με χρονοθυρίδες ανεξάρτητων σταθμών συνδρομητών κατανεμημένες σειριακά. Το WirelessMAN-SC 10-66GHz αξιοποιεί έναν σχεδιασμό ριπών που επιτρέπει και TDD, στην οποία η UL (Uplink) και η DL (Downlink) μοιράζονται ένα κανάλι αλλά δεν εκπέμπουν συγχρόνως, και FDD, στην οποία η UL και η DL λειτουργούν μερικές φορές συγχρόνως σε ξεχωριστά κανάλια. Αυτός ο σχεδιασμός ριπών επιτρέπει τον παρόμοιο χειρισμό TDD και FDD. Επιπλέον, και TDD και FDD υποστηρίζουν προσαρμοζόμενα προφίλ ριπών στα οποία οι επιλογές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης μπορούν να αναθέτονται δυναμικά βάσει ριπή-προς-ριπή.

#### Uplink

Η UL στο Φυσικό Στρώμα βασίζεται στο συνδυασμό TDMA και DAMA (Demand Assigned Multiple Access). Το κανάλι της UL διαιρείται σε έναν αριθμό χρονοθυρίδων. Το στρώμα MAC στον σταθμό βάσης ελέγχει τον αριθμό των θυρίδων (ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται στο χρόνο για βέλτιστη αποδοτικότητα) που αναθέτονται για διάφορες χρήσεις (καταχώρηση, διένεξη, ασφάλεια, ή κίνηση χρήστη). Το κανάλι UL είναι TDM, με την πληροφορία για κάθε σταθμό συνδρομητή πολυπλεγμένη σε μονή ροή δεδομένων και λαμβανόμενη από όλους τους σταθμούς συνδρομητών εντός του ίδιου τομέα.

Για την υποστήριξη σταθμών συνδρομητών H-FDD, γίνεται μέριμνα για ένα κομμάτι TDMA της DL. Ένα τυπικό υπό-πλαίσιο UL για το Φυσικό Στρώμα 10-66GHz απεικονίζεται στην Εικόνα 1.2. Σε αντίθεση με την DL, το UL-MAP χορηγεί εύρος ζώνης σε συγκεκριμένους σταθμούς συνδρομητών. Οι σταθμοί συνδρομητών εκπέμπουν στην καθορισμένη κατανομή χρησιμοποιώντας το προφίλ ριπών που προσδιορίζει το μήνυμα UL Interval Usage Code στην είσοδο του UL-MAP χορηγώντας τους εύρος ζώνης. Το υποπλαίσιο UL μπορεί να περιέχει κατανομές βασιζόμενες στους συναγωνισμούς για αρχική πρόσβαση στο σύστημα και για εκπομπή ή πολυεκπομπή αιτήσεων εύρους ζώνης. Οι ευκαιρίες πρόσβασης για αρχική πρόσβαση στο σύστημα είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν επιπλέον χρόνο προστασίας για τους σταθμούς συνδρομητών που δεν έχουν επιλύσει τον περισσότερο χρόνο εκπομπής που είναι απαραίτητος για την

ισοφάριση με την καθυστέρηση μετάβασης και επιστροφής (roundtrip delay) στον σταθμό βάσης.



**Εικόνα 6.2:** UL υποπλάσιο

### Downlink

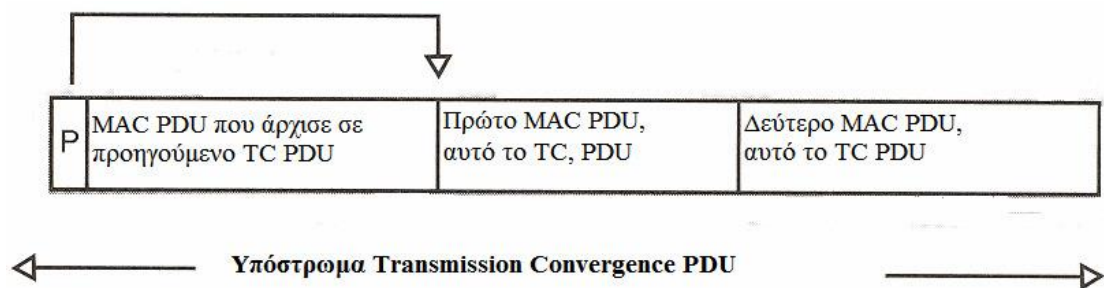
Το Φυσικό Στρώμα DL περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής (Transmission Convergence) που εισάγει ένα byte δείκτη στην αρχή του ωφέλιμου φορτίου για να βοηθήσει το δέκτη να αναγνωρίσει την αρχή ενός MAC PDU. Τα bits δεδομένων που προέρχονται από το υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής είναι τυχαία κατανεμημένα, κωδικοποιημένα με FEC (Forward Error Correction), και απεικονισμένα σε μια ομοιογενή ομάδα σημάτων QPSK, 16-QAM, ή 64-QAM (προαιρετικά). Σε αυτή τη δομή για ένα πλαίσιο DL ριπής FDD, κάθε πλαίσιο υποδιαιρείται σε έναν αριθμό φυσικών υποδοχών, και κάθε υποδοχή αντιπροσωπεύει τέσσερα σύμβολα διαμόρφωσης. Το πλαίσιο αρχίζει με ένα τμήμα TDM που οργανώνεται σε διαφορετικές ομάδες διαμόρφωσης και FEC. Οι ομάδες περιέχουν δεδομένα που εκπέμπονται σε σταθμούς αμφίδρομης επικοινωνίας (full-duplex). Το τελευταίο τμήμα του πλαισίου είναι το τμήμα TDMA, το οποίο περιέχει δεδομένα που εκπέμπονται σε σταθμούς ημιαμφίδρομης επικοινωνίας (half-duplex).

Κάθε πλαίσιο ριπής στην ανοδική ροή (upstream) περιέχει τριών ειδών υποδοχές: (1) υποδοχές συναγωνισμού (contention slots) για καταγραφή, (2) υποδοχές συναγωνισμού για αιτήσεις εύρους ζώνης/καναλιών, και (3) υποδοχές κρατημένες για ανεξάρτητους σταθμούς.

Κάθε τύπος υποδοχής έχει το σχέδιο διαμόρφωσης που υποτίθεται πως υποστηρίζει, και διαφορετικοί σταθμοί μπορούν να πάρουν διαφορετικά σχέδια διαμόρφωσης. Οι υποδοχές συναγωνισμού χρησιμοποιούν 4-QAM, αλλά οι κρατημένες υποδοχές μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε σχέδιο διαμόρφωσης.

Στη συνεχόμενη FDD, το κανάλι ανοδικής ροής υφίσταται κατάτμηση σε μια σειρά μικρό-υποδοχών, και κάθε μικρό-υποδοχή αποτελείται από μια ομάδα φυσικών υποδοχών.

Όπως προαναφέρθηκε, μια φυσική υποδοχή αποτελείται από τέσσερα σύμβολα διαμόρφωσης. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει περιοδικά το ανοδικής ροής μήνυμα MAP στο κανάλι κατερχόμενης ροής. Το ανοδικής ροής μήνυμα MAP ορίζει την επιτρεπτή χρήση κάθε μικρό-υποδοχή ανοδικής ροής εντός του χρονικού διαστήματος του μηνύματος MAP. Τα ανοδικής ροής μηνύματα MAP εκπέμπονται περίπου 250 φορές το δευτερόλεπτο. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 1.3.



**Εικόνα 6.3:** Υπόστρωμα TC και MAC PDU στο WirelessMAN-SC

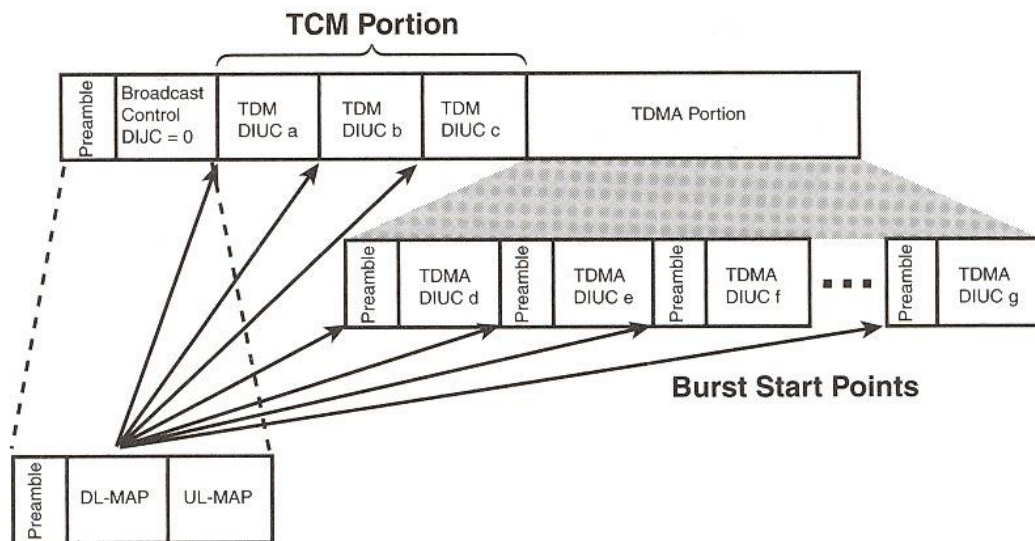
Το FEC που χρησιμοποιείται στο WiMAX είναι Reed-Solomon Galois Field(256), με μεταβλητό μέγεθος μπλοκ και δυνατότητες διόρθωσης σφαλμάτων. Αυτό συνδυάζεται με ένα εσωτερικό μπλοκ περίπλοκου κώδικα για την αξιόπιστη εκπομπή κρίσιμων δεδομένων όπως έλεγχος πλαισίου και αρχικές προσβάσεις. Οι επιλογές FEC συνδυάζονται με QPSK, 16-QAM, και 64-QAM για τον σχηματισμό προφίλ ριπών διαφόρων επιπέδων ευρωστίας και αποδοτικότητας. Αν το τελευταίο μπλοκ FEC είναι κενό αυτό το μπλοκ μπορεί να κοπεί. Το κόψιμο αυτό σε DL και UL ελέγχεται από τον σταθμό βάσης και η συνεννόηση γίνεται με τη βοήθεια των UL-MAP και DL-MAP.

Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο 0,5, 1, ή 2msec. Αυτό το πλαίσιο διαιρείται σε φυσικές υποδοχές με σκοπό την κατανομή εύρους ζώνης και την αναγνώριση μεταβάσεων του Φυσικού Στρώματος. Μια φυσική υποδοχή ορίζεται να είναι τέσσερα σύμβολα QAM.

Στην TDD παραλλαγή του Φυσικού Στρώματος, το υποπλαίσιο UL ακολουθεί το υποπλαίσιο DL στην ίδια συχνότητα φέροντος. Στην FDD παραλλαγή, τα



υποπλαίσια UL και DL συμπίπτουν χρονικά αλλά φέρονται σε διαφορετικές συχνότητες. Το υποπλαίσιο DL απεικονίζεται στην Εικόνα 6.4.



**Εικόνα 6.4:** Υποπλαίσιο FDD κατερχόμενης ζεύξης

#### Υποπλαίσιο DL

Το υποπλαίσιο DL αρχίζει με ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει το DL-MAP για το συγκεκριμένο πλαίσιο DL καθώς και το UL-MAP για μια καθορισμένη στιγμή στο μέλλον. Το DL-MAP καθορίζει πότε γίνονται οι μεταβάσεις του Φυσικού Στρώματος (διαμόρφωσης και αλλαγές FEC) εντός του υποπλαισίου DL. Το υποπλαίσιο DL τυπικά περιέχει το τμήμα ελέγχου πλαισίου ακολουθούμενο από ένα κομμάτι TDM. Τα δεδομένα του DL εκπέμπονται σε κάθε σταθμό συνδρομητή χρησιμοποιώντας ένα διαπραγματευόμενο προφίλ ριπών. Τα δεδομένα εκπέμπονται με σκοπό τη μείωση της σθεναρότητας για να επιτρέπεται στους σταθμούς συνδρομητών να λαμβάνουν τα δεδομένα τους πριν παρουσιάσουν τον εαυτό τους με ένα προφίλ ριπών που θα μπορούσε να προκαλέσει την απώλεια συγχρονισμού με το DL.

Σε συστήματα FDD, ένα τεμάχιο TDMA που περιέχει ένα επιπλέον προοίμιο στην αρχή κάθε νέου προφίλ ριπών μπορεί να ακολουθεί το κομμάτι TDM. Αυτό το χαρακτηριστικό προσφέρει καλύτερη υποστήριξη για half-duplex σταθμούς συνδρομητών. Σε ένα αποδοτικά σχεδιασμένο σύστημα FDD με πολλούς half-duplex σταθμούς συνδρομητών, μερικοί σταθμοί συνδρομητών μπορεί να πρέπει

να εκπέμπουν νωρίτερα στο πλαίσιο από όταν λαμβάνουν. Λόγω της ημιαμφίδρομης φύσης τους, αυτοί οι σταθμοί συνδρομητών χάνουν το συγχρονισμό τους με το DL. Το προοίμιο TDMA τους επιτρέπει να ανακτήσουν τον συγχρονισμό.

Εξαιτίας της δυναμικής της απαίτησης εύρους ζώνης για την ποικιλία των υπηρεσιών που μπορεί να είναι ενεργές, η σύμμειξη και διάρκεια των προφίλ ριπών και η παρουσία ή απουσία του κομματιού TDMA μεταβάλλονται δυναμικά από πλαίσιο σε πλαίσιο. Επειδή ο παραλήπτης σταθμός συνδρομητή υποδεικνύεται πιο αυτονόητα στις κεφαλίδες MAC παρά στο DL-MAP, οι σταθμοί συνδρομητών ακούν σε όλα τα κομμάτια του υπό-πλασίου DL που είναι ικανοί να λάβουν. Για full-duplex σταθμούς συνδρομητών, αυτό σημαίνει λήψη όλων των προφίλ ριπών ίσης ή μεγαλύτερης σθεναρότητας από αυτά που διαπραγματεύτηκαν με τον σταθμό βάσης.

### **6.6.2 WirelessMAN SCa**

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί έναν τύπο διαμόρφωσης μονού φέροντος στο φάσμα 2 ως 11GHz και είναι σχεδιασμένη για λειτουργία χωρίς οπτική επαφή (NLOS). Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN-SCa ορίζονται πέντε έννοιες. Στοιχεία αυτού του Φυσικού Στρώματος περιλαμβάνουν ορισμούς TDD και FDD (ένας εκ των οποίων πρέπει να υποστηρίζεται), TDMA UL, TDM ή TDMA DL, και διαμόρφωση προσαρμοζόμενη στα μπλοκ. Το Φυσικό Στρώμα περιλαμβάνει επίσης κωδικοποίηση FEC για UL και DL και δομές πλαισίων που επιτρέπουν βελτιωμένη εξισορρόπηση, υπολογισμό απόδοσης καναλιού σε NLOS, και εκτεταμένης καθυστέρησης εξαπλωμένα περιβάλλοντα, ρυθμίσεις παραμέτρων, και μηνύματα MAC/PHY που διευκολύνουν προαιρετικές υλοποιήσεις Συστήματος Προσαρμοζόμενων Κεραιών (Adaptive Antenna System, AAS).

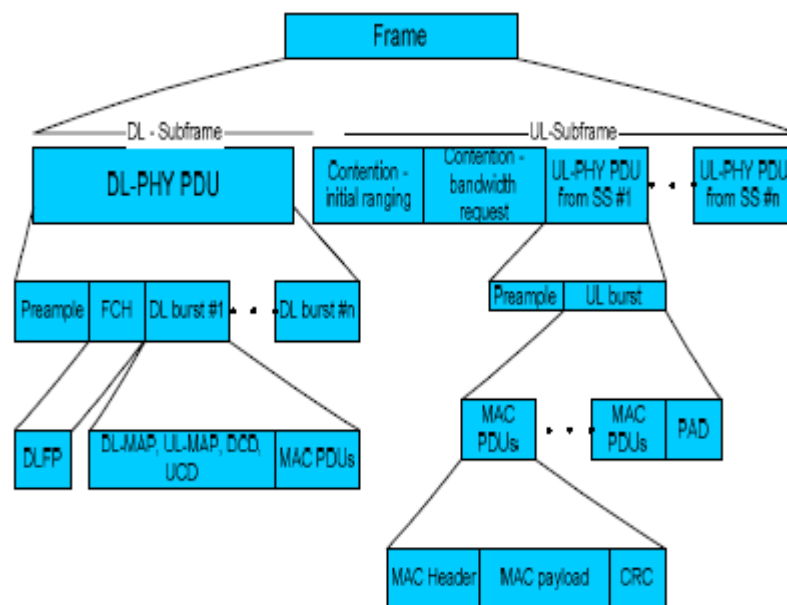
### **6.6.3 WirelessMAN OFDM**

Αυτή η ασύρματη διεπαφή χρησιμοποιεί OFDM με μετασχηματισμό 256 σημείων. Η πρόσβαση είναι μέσω TDMA. Αυτή η ασύρματη διεπαφή είναι υποχρεωτική για ζώνες απαλλαγμένες από άδειες.

Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN – OFDM βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM. Αποσκοπεί κυρίως για σταθερής πρόσβασης κατασκευαστικές αναπτύξεις όπου οι σταθμοί συνδρομητών είναι οικιστικές πύλες φτιαγμένες μέσα σε σπίτια

και επιχειρήσεις. Το Φυσικό Στρώμα OFDM υποστηρίζει υποκαναλοποίηση στην κατερχόμενη ζεύξη. Υπάρχουν 16 υπόκανάλια στην κατερχόμενη ζεύξη. Το Φυσικό Στρώμα OFDM υποστηρίζει λειτουργίες TDD και FDD, με υποστήριξη και FDD και H-FDD σταθμών συνδρομητών. Το πρότυπο υποστηρίζει επίπεδα πολλαπλής διαμόρφωσης συμπεριλαμβάνοντας Binary Phase Shift Keying (BPSK), QPSK, 16-QAM, και 64-QAM. Τέλος, το Φυσικό Στρώμα υποστηρίζει (προαιρετικά) ανομοιότητα εκπομπών στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιώντας Space Time Coding (STC) και AAS με Spatial Division Multiple Access (SDMA).

Το σχέδιο ανομοιότητας εκπομπών χρησιμοποιεί δύο κεραίες στο σταθμό βάσης για να εκπέμψει ένα σήμα κωδικοποιημένο κατά STC για να παρέχει τις απολαβές που προέρχονται από την ανομοιότητα δεύτερης τάξης. Κάθε μια από τις δύο κεραίες εκπέμπει ένα διαφορετικό σύμβολο (δύο διαφορετικά σύμβολα) στο χρόνο του πρώτου συμβόλου. Τότε οι δύο κεραίες εκπέμπουν τον σύνθετο συνδυασμό των ίδιων δύο συμβόλων στο χρόνο του δεύτερου συμβόλου. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι ο ίδιος και χωρίς ανομοιότητα εκπομπής. Η Εικόνα 6.5 απεικονίζει τη δομή του πλαισίου για ένα σύστημα TDD.



**Εικόνα 6.5:** Δομή πλαισίου TDD

Το πλαίσιο διαιρείται σε υπό-πλαίσια ανοδικής ζεύξης (UL) και κατερχόμενης ζεύξης (DL). Το υποπλαίσιο DL αποτελείται από ένα προοίμιο, κεφαλίδα ελέγχου πλαισίου (Frame Control Header), και ένα πλήθος ριπών δεδομένων. Το FCH προδιαγράφει το προφίλ της ριπής και το μήκος της μιας ή περισσότερων ριπών

DL που ακολουθούν το FCH. Τα μηνύματα DL-MAP, UL-MAP, ο περιγραφέας καναλιού DL (DL Channel Descriptor), ο περιγραφέας καναλιού UL (UL Channel Descriptor) και άλλα μηνύματα μετάδοσης που περιγράφουν το περιεχόμενο του πλαισίου αποστέλλονται στην αρχή αυτών των πρώτων ριπών. Το υπόλοιπο του υποπλαισίου DL αποτελείται από ριπές δεδομένων σε ανεξάρτητους σταθμούς συνδρομητών.

Κάθε ριπή δεδομένων αποτελείται από έναν ακέραιο αριθμό συμβόλων OFDM και καθορίζεται ένα προφίλ ριπών που προσδιορίζει τον αλγόριθμο κωδίκων, το ρυθμό κωδίκων, το επίπεδο διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται για αυτά τα δεδομένα που εκπέμπονται εντός της ριπής. Το υποπλαίσιο UL περιέχει ένα διάστημα συναγωνισμού για σκοπούς εύρεσης αρχικού βεληνεκούς, εκχώρησης εύρους ζώνης και για μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου (Protocol Data Units) του Φυσικού Στρώματος UL από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Το UL-MAP και το DL-MAP περιγράφουν εξ ολοκλήρου τα περιεχόμενα των υποπλαισίων UL και DL. Καθορίζουν τους σταθμούς συνδρομητών που λαμβάνουν ή/και εκπέμπουν σε κάθε ριπή, τα υποκανάλια στα οποία κάθε σταθμός συνδρομητή εκπέμπει (στο UL), και την κωδικοποίηση και διαμόρφωση που χρησιμοποιείται σε κάθε ριπή και σε κάθε υποκανάλι.

Αν χρησιμοποιείται ανομοιότητα εκπομπής (transmission diversity), ένα κομμάτι του πλαισίου DL (που ονομάζεται ζώνη) μπορεί να οριστεί να είναι μια ζώνη ανομοιότητας εκπομπής. Όλες οι ριπές δεδομένων εντός της ζώνης ανομοιότητας εκπομπής εκπέμπονται με κωδικοποίηση STC. Τέλος, αν χρησιμοποιείται AAS, ένα κομμάτι του υποπλαισίου DL μπορεί να οριστεί ως ζώνη AAS. Μέσα σε αυτό το κομμάτι του υποπλαισίου, το σύστημα AAS χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με σταθμούς συνδρομητών ικανούς για επικοινωνία AAS. Το AAS υποστηρίζεται και στο UL.

#### **6.6.4 WirelessMAN OFDMA**

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση OFDM με έναν μετασχηματισμό 2048 σημείων. Σε αυτό το σύστημα, η διευθυνσιοδότηση ενός υποσυνόλου των πολλαπλών φερόντων σε ανεξάρτητους δέκτες, παρέχει πολλαπλή πρόσβαση. Εξαιτίας των απαιτήσεων διάδοσης υποστηρίζεται η χρήση συστημάτων AAS.

Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN – OFDMA βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM. Υποστηρίζει υποκαναλοποίηση σε UL και DL. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχέδια υποκαναλοποίησης. Το Φυσικό Στρώμα OFDMA υποστηρίζει λειτουργίες και TDD και FDD. Επίσης υποστηρίζονται τα ίδια επίπεδα διαμόρφωσης. Υποστηρίζονται κωδικοποίηση STC και σύστημα AAS με SDMA, κατά τη συνήθη μέθοδο πολλαπλής εισόδου, πολλαπλής εξόδου (Multiple Input, Multiple Output). Η MIMO περιλαμβάνει έναν αριθμό τεχνικών για την αξιοποίηση πολλαπλών κεραιών στον σταθμό βάσης και στο σταθμό συνδρομητή με σκοπό να αυξηθεί η χωρητικότητα και το βεληνεκές του καναλιού.

Η δομή του πλαισίου στο Φυσικό Στρώμα OFDMA είναι όμοια με αυτήν του Φυσικού Στρώματος OFDM. Οι αξιοσημείωτες εξαιρέσεις είναι ότι η υποκαναλοποίηση ορίζεται και στο DL και στο UL, έτσι μηνύματα μετάδοσης εκπέμπονται μερικές φορές ταυτόχρονα (σε διαφορετικά υποκανάλια) σαν δεδομένα. Ακόμη, επειδή ορίζεται ένα πλήθος διαφορετικών σχεδίων δόμησης της υποκαναλοποίησης, το πλαίσιο διαιρείται σε κάποιες ζώνες που η κάθε μια χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό σχέδιο υποκαναλοποίησης. Το στρώμα MAC είναι υπεύθυνο για τη διαίρεση του πλαισίου σε ζώνες και την επικοινωνία αυτής της δομής στους σταθμούς συνδρομητών σε DL-MAP και UL-MAP. Όπως και στο Φυσικό Στρώμα OFDM, υπάρχουν προαιρετικές ζώνες ανομοιότητας εκπομπής και AAS, καθώς και μια ζώνη MIMO.

#### **6.6.5 Λειτουργικά επίπεδα PHY επιπέδου**

Η πρώτη ομάδα λειτουργικών επιπέδων σχετίζεται με την εμπροσθόδοτη διόρθωση σφάλματος (Forward Error Connection, FEC) και περιλαμβάνει:

- κωδικοποίηση καναλιού
- προσαρμογή ρυθμού (rate matcing)
- διεμπλοκή (interleaning)
- απεικόνιση συμβόλων (symbol matching)

Η επόμενη ομάδα λειτουργικών επιπέδων σχετίζεται με την κατασκευή OFDM συμβόλων στο πεδίο της συχνότητας. Στο επίπεδο αυτό τα δεδομένα αντιστοιχίζονται στα κατάλληλα υποκανάλια (subchannel) και υποφέρουσες (subcarriers). Τα σύμβολα πιλότοι εισάγονται στις υποφέρουσες πιλότους, που επιτρέπουν στον δέκτη να εκτιμήσει και να παρακολουθήσει την πληροφορία κατάστασης καναλιού (Channel State Information, CSI). Αυτό το επίπεδο είναι

επίσης υπεύθυνο για κάθε κωδικοποίηση χώρου/χρόνου για διαφορισμό εκπομπής ή για MIMO, εάν αυτό είναι υλοποιημένο.

Το τελευταίο επίπεδο περιλαμβάνει τις απαιτούμενες λειτουργίες για μετατροπή των OFDM συμβόλων από το πεδίο της συχνότητας στο πεδίο του χρόνου και τελικά σε αναλογικό σήμα που μπορεί να μεταδοθεί στον αέρα.

#### **6.6.5.1 Κωδικοποίηση Καναλιού**

Στο IEEE 802.16e-2005 πρότυπο το στάδιο της κωδικοποίησης καναλιού αποτελείται από τα εξής βήματα : τυχαιοποίηση (randomization), κωδικοποίηση καναλιού, προσαρμογή ρυθμού, hybrid-automatic repeat request (h-ARQ), εάν αυτή χρησιμοποιείται και την διεμπλοκή. Η τυχαιοποίηση των δεδομένων πραγματοποιείται στην ανερχόμενη και στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιώντας την έξοδο μιας σειράς shift-register που αρχικοποιείται στην αρχή κάθε FEC μπλοκ. Αυτοί οι shift-register είναι τύπου modulo 2 (αντικατάσταση αριθμού με το υπόλοιπο της διαίρεσής του με το 2) και συμπληρώνονται με την ακολουθία των δεδομένων για να δημιουργήσουν τα τυχαία δεδομένα. Ο σκοπός της τυχαιοποίησης των δεδομένων είναι να παράσχει κρυπτογράφηση φυσικού επιπέδου και να αποτρέψει πιθανή αποκωδικοποίηση των δεδομένων από έναν κακοήθη δέκτη. Η κωδικοποίηση καναλιού πραγματοποιείται σε κάθε FEC μπλοκ, που αποτελείται από ένα ακέραιο αριθμό υποκαναλιών. Ένα υποκανάλι είναι η βασική μονάδα καταμερισμού πόρων στο φυσικό επίπεδο και περιέχει διαφορετικά δεδομένα και υποφέρουσες πιλότους. Ο ακριβής αριθμός δεδομένων και υποφερουσών πιλότων εξαρτάται από τη μετάθεση των υποφερουσών. Ο μέγιστος αριθμός υποκαναλιών σε ένα FEC μπλοκ εξαρτάται από τη κωδικοποίηση καναλιού και το τύπο της διαμόρφωσης. Εάν ο αριθμός των υποκαναλιών που χρειάζονται για το FEC μπλοκ είναι μεγαλύτερος από το άνω όριο, το μπλοκ τεμαχίζεται σε πολλαπλά υπομπλόκ. Αυτά τα υπομπλόκ κωδικοποιούνται και προσαρμόζονται στον ρυθμό ροής χωριστά και μετά συνδέονται αλισυδωτά, σε σειρά, για να σχηματίσουν ένα μοναδικό κωδικοποιημένο μπλοκ δεδομένων. Η κατάτμηση των μπλοκ πραγματοποιείται για μεγαλύτερα FEC μπλοκ έτσι ώστε να αποφευχθεί η υψηλή πολυπλοκότητα και μεγάλες απαιτήσεις μνήμης του αλγορίθμου αποκωδικοποίησης στον δέκτη.

## 6.7 Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας

Η ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) ανήκει σε μία ομάδα τεχνικών μετάδοσης, που ονομάζεται διαμόρφωση πολλαπλών φερουσών, και είναι βασισμένη στην ιδέα της διαίρεσης ενός υψηλού ρυθμού ροής ρεύματος bit σε πολλαπλά ρεύματα bit χαμηλότερου ρυθμού ροής. Κάθε τέτοιο ρεύμα bit διαμορφώνεται σε ξεχωριστό φορέα, που συνηθίζεται να ονομάζεται υποφορέας ή τόνος. Η διαμόρφωση πολλαπλών φερουσών εξαλείφει ή περιορίζει την διασυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference, ISI) κάνοντας το χρόνο του εκάστοτε συμβόλου αρκετά μεγάλο ώστε οι καθυστερήσεις που προξενούνται από το κανάλι διάδοσης να είναι ένα ασήμαντο κλάσμα της διάρκειας του συμβόλου. Για αυτό το λόγο, σε υψηλού ρυθμού συστήματα, η διαίρεση της ροής των δεδομένων σε πολλές ροές αυξάνει την διάρκεια του συμβόλου της κάθε ροής έτσι ώστε η εξάπλωση καθυστέρησης να είναι ένα μικρό μόνο κλάσμα της διάρκειας του συμβόλου.

Η OFDM είναι φασματικά αποδοτική όπου οι υποφορείς επιλέγονται να είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους κατά τη διάρκεια του συμβόλου. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπεται η ανάγκη για μη επικαλυπτόμενους υποφορείς για την εξάλειψη της διαφερωντικής παρεμβολής (Intercarrier Interference, ICI)

Το OFDM βασίζεται σε μια μαθηματική διεργασία που ονομάζεται γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform, FFT), η οποία επιτρέπει να επικαλύπτονται 52 κανάλια χωρίς να χάνουν τα προσωπικά χαρακτηριστικά τους (ορθογωνικότητα). Αυτή είναι μια πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος και δίνει την ευκαιρία στον δέκτη να επεξεργαστεί πιο αποτελεσματικά τα κανάλια. Μπορεί να αποδειχθεί ότι το OFDM σήμα είναι ισοδύναμο με το αντίστροφο από το μετασχηματισμό Fourier (inverse discrete Fourier Transform, IDFT) μιας αλληλουχίας δεδομένων σε χρόνο  $L$ . Αυτό κάνει πολύ εύκολη την υλοποίηση OFDM πομπών και δεκτών διακριτού χρόνου που χρησιμοποιούν αντίστροφο ταχύ μετασχηματισμό Fourier (inverse FFT) και ταχύ μετασχηματισμό Fourier (FFT) αντίστοιχα.

### 6.7.1 Η Σημασία του OFDM στο WiMAX

Στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, η μεγαλοσύνη του WiMAX είναι ότι ένα OFDM σύστημα WiMAX μπορεί να δώσει 72Mbit/sec ρυθμό μετάδοσης μη κωδικοποιημένων δεδομένων (~100Mbit/sec κωδικοποιημένα) από 20MHz

φασματικού καναλιού. Αυτό μεταφράζεται σε αποδοτικότητα φάσματος 3,6bit/sec ανά Hz. Αν πέντε από αυτά τα κανάλια των 20MHz περιέχονται εντός της ζώνης 5,725 με 5,825 GHz, έχουμε συνολική χωρητικότητα ζώνης 360Mbit/sec (όλα τα κανάλια αθροισμένα μαζί με επαναχρησιμοποίηση 1x συχνότητας). Με επαναχρησιμοποίηση καναλιών και μέσω κατάτμησης, η συνολική χωρητικότητα στην τοποθεσία του BS θα μπορούσε ενδεχομένως να ξεπεράσει το 1Gbit/sec.

Το OFDM έχει πολύπλευρα πλεονεκτήματα στο WiMAX, αλλά ανάμεσα στα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα είναι η σημαντικότερη φασματική αποδοτικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε φάσμα αδειοδοτημένης χρήσης, όπου το εύρος ζώνης και το φάσμα είναι πολυδάπανα. Εδώ, το OFDM, παραδίδει περισσότερα δεδομένα ανά ευρύ φάσματος. Σε εφαρμογές μη αδειοδοτημένου φάσματος, το OFDM μετριάζει τις παρεμβολές από άλλους πομπούς εξαιτίας του στενότερου πλάτους δέσμης (λιγότερο από 28MHz) και ζωνών προστασίας, καθώς και με διασκορπισμό των δεδομένων σε διαφορετικές συχνότητες έτσι ώστε αν μια ροή «πατηθεί» από ένα παρεμβάλον σήμα, τα υπόλοιπα δεδομένα παραδίδονται με άλλες συχνότητες.

#### **6.7.1.1 QoS: Διόρθωση Σφαλμάτων και Διεμπλοκή**

Η κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων δημιουργεί πλεονασμό στην εκπεμπόμενη ροή δεδομένων. Αυτός ο πλεονασμός επιτρέπει τη διόρθωση εσφαλμένων ή χαμένων bit. Το απλούστερο παράδειγμα θα ήταν η επανάληψη των bit πληροφορίας. Αυτό είναι γνωστό ως κώδικας επανάληψης. Αν και ο κώδικας επανάληψης είναι απλός στη δομή, τυπικά χρησιμοποιούνται περισσότερο πολύπλοκες μορφές πλεονασμού επειδή μπορούν να επιτύχουν υψηλότερο επίπεδο διόρθωσης σφαλμάτων. Για την OFDM, η κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων σημαίνει ότι ένα κομμάτι από κάθε bit πληροφορίας μεταφέρεται σε έναν αριθμό υπό-φερόντων, και επομένως, αν κάποιο από αυτά τα υπό-φέροντα εξασθενίσει, το bit πληροφορίας θα φτάσει πάλι άθικτο.

Η διεμπλοκή είναι ο άλλος μηχανισμός που χρησιμοποιείται στα συστήματα OFDM για την αντιμετώπιση του αυξημένου ρυθμού σφαλμάτων σε εξασθενημένα υπό-φέροντα. Η διεμπλοκή είναι μια ντετερμινιστική διεργασία που αλλάζει τη σειρά των εκπεμπόμενων bit.

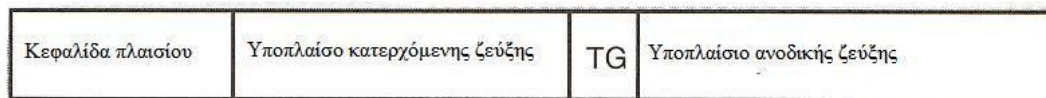
Στα συστήματα OFDM, αυτό σημαίνει ότι bits που ήταν γειτονικά στο χρόνο, εκπέμπονται σε υπό-φέροντα αραιωμένων συχνοτήτων. Επομένως σφάλματα που



παράγονται σε εξασθενημένα υπό-φέροντα διαχέονται στο χρόνο, δηλαδή, λίγες μεγάλης διάρκειας ριπές σφαλμάτων μετατρέπονται σε πολλές μικρής διάρκειας ριπές. Τότε κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων διορθώνουν τις μικρής διάρκειας ριπές σφαλμάτων που προκύπτουν.

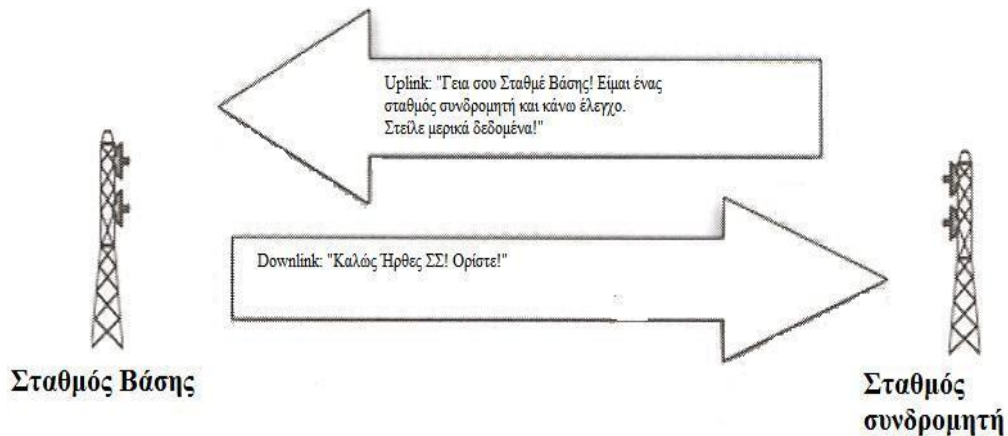
## 6.8 TDD και FDD

Το WiMAX λειτουργεί και με Time Division Duplex (TDD) και με Frequency Division Duplex (FDD). Η TDD είναι μια τεχνική στην οποία το σύστημα εκπέμπει και λαμβάνει μέσα στην ίδια συχνότητα, ορίζοντας χρονοθυρίδες εκπομπής και χρονοθυρίδες λήψης. Η FDD, το κάνει σε δύο διαφορετικές συχνότητες γενικώς χωριζόμενες ανά 50 έως 100MHz εντός του φάσματος λειτουργίας. Η TDD πλεονεκτεί όταν ένα ρυθμιστικό στοιχείο κατανέμει το φάσμα σε ένα γειτονικό block. Με την TDD δεν είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της ζώνης συχνοτήτων. Αυτό φαίνεται και στην Εικόνα 6.6. Επομένως ολόκληρη η κατανομή του φάσματος είναι αποτελεσματική και στην ανοδική ροή (upstream) και στην κατερχόμενη (downstream) και όπου οι μέθοδοι κίνησης είναι μεταβαλλόμενες ή ασυμμετρικές.



**Εικόνα 6.6:** Υποπλαίσιο TDD

Στα συστήματα FDD, οι δομές των πλαισίων ανοδικής και κατερχόμενης ζεύξης είναι όμοιες εκτός από το ότι κάθε ζεύξη εκπέμπεται σε διαφορετικά κανάλια. Όταν είναι παρόντες σταθμοί συνδρομητών half-duplex FDD (half-duplex Subscriber Stations), ο σταθμός βάσης πρέπει να εξασφαλίσει πως δεν θα προγραμματίσει έναν H-FDD SS να εκπέμπει και να λαμβάνει την ίδια στιγμή. Η Εικόνα 1.7 απεικονίζει αυτόν τον συσχετισμό.



**Εικόνα 6.7**

## 6.9 Τεχνολογία Έξυπνων Κεραιών

Οι έξυπνες κεραιές αναφέρονται σε ένα σύστημα από συστοιχίες με εξελιγμένους αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της χωρικής προέλευσης του σήματος και τον εντοπισμό της κεραιάς αποστολής του σήματος.

### 6.9.1 Multiple Input and Multiple Output system (MIMO)

Η τεχνολογία MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές στον πομπό και τον δέκτη στόχο καλύτερων επιδόσεων επικοινωνίας. Με την συγκεκριμένη τεχνολογία μπορούμε να επιτύχουμε αύξηση του throughput ή της απόστασης της ζεύξης, χωρίς την αύξηση του χρησιμοποιούμενου εύρους ή της εκπεμπόμενης ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με αύξηση της φασματικής απόδοσης και της αξιοπιστίας του καναλιού μετάδοσης.

Το πρότυπο IEEE 802.16e-2005 υποστηρίζει την χρήση της τεχνικής διαφορισμού εκπομπής Multiple Input and Single Output (MISO), που αναφέρεται και ως Space Time Code (STC). Με αυτή τη μέθοδο δύο ή περισσότερες κεραιές χρησιμοποιούνται στο δέκτη και μία κεραιά στο πομπό. Με τη χρήση MIMO κεραιοσυστήματος μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση ακόμα περισσότερο.

Με την χρήση διαφορισμού εκπομπής τύπου Matrix A, διαφορετικές ακολουθίες bit μεταφέρονται από δύο διαφορετικές κεραιές κατά τη διάρκεια ενός συμβόλου. Την επόμενη χρονική περίοδο συμβόλου μεταδίδονται από τις δύο κεραιές τα συζυγή σύμβολα των προηγούμενων. Σε αυτή την περίπτωση, ο

ρυθμός δεδομένων δεν αυξάνει, αλλά το σύστημα μας γίνεται πιο ανθεκτικό, λόγω του πλεονασμού κατά την μετάδοση των συμβόλων.

Το πρότυπο 802.16 υποστηρίζει επίσης την τεχνική Spatial Multiplexing (SMX), που ορίζεται ως Matrix B στο πρότυπο. Με αυτή την τεχνική μεταδίδουμε διαφορετικές ροές bit από τις δύο κεραίες συγχρόνως, ανά περίοδο συμβόλου. Λόγω του ότι και ο δέκτης έχει παραπάνω από μία κεραία και τα εκπεμπόμενα σήματα έχουν την απαιτούμενη ποιότητα, μπορεί να τα αναγνωρίσει και τα δύο. Η διαδικασία αποστολής από τον πομπό και η διαδικασία λήψεως και διαχωρισμού των δύο σημάτων στον δέκτη εισάγουν μεγάλη πολυπλοκότητα και κόστος στο σύστημα. Έχουμε ωστόσο την δυνατότητα για σοβαρή αύξηση στο throughput του συστήματος μας, με αυτή τη τεχνική.

Με το συνδυασμό των παραπάνω δύο τεχνικών οι χρήστες που έχουν καλό SNR λαμβάνουν τα δεδομένα τους σε λιγότερο χρόνο και άρα θα καταλαμβάνουν λιγότερο χρόνο στη χρήση του καναλιού και οι χρήστες που έχουν αδύναμο σήμα, με την χρήση της STC θα μπορούν να λαμβάνουν με την συνήθη ταχύτητα τα δεδομένα τους. Άρα θα έχουμε την εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών. Με παράλληλη αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού.

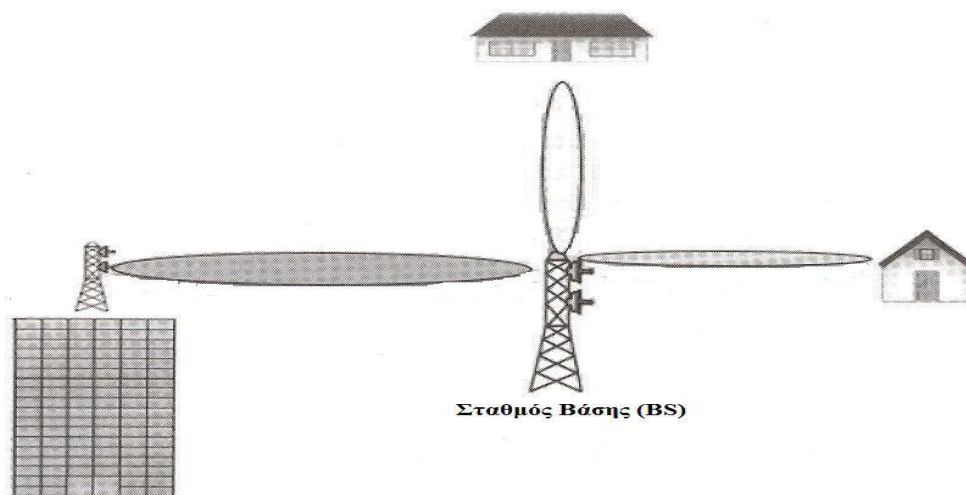
Οι προδιαγραφές που ορίζονται στο 802.16 υποστηρίζουν και την χρήση τεσσάρων κεραιών. Τρεις διαρθρώσεις υποστηρίζονται σε αυτή την περίπτωση :

- WiMAX four antenna mode 1: Τα δεδομένα μεταδίδονται τέσσερις φορές ανά σύμβολο, με αντίστροφη ή μετάδοση του συζυγούς κάθε φορά. Έτσι δεν έχουμε αύξηση του ρυθμού, αλλά μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε λάθη.
- WiMAX four antenna mode 2: Τα δεδομένα μεταδίδονται με διπλάσιο ρυθμό, με παράλληλη αύξηση της ανθεκτικότητας κατά την μετάδοση γιατί αποστέλλονται και τα συζυγή μια φορά.
- WiMAX four antenna mode 2: Στην περίπτωση αυτή, που χαρακτηρίζεται ως η περίπτωση τεσσάρων κεραιών σε Matrix C, τέσσερις διαφορετικές ροές bit μεταδίδονται από τις τέσσερις κεραίες ανά σύμβολο, με αποτέλεσμα να έχουμε ρυθμό τετραπλάσιο από τον βασικό.

### **6.9.2 Σύστημα προσαρμοζόμενων κεραιών**

Το Σύστημα Προσαρμοζόμενων Κεραιών (Adaptive Antenna System, AAS) χρησιμοποιείται στις προδιαγραφές του WiMAX για να περιγράψει τεχνικές σχηματισμού δεσμών όπου μια παράταξη κεραιών χρησιμοποιείται στο σταθμό

βάσης για να αυξηθεί το κέρδος προς τον στοχευόμενο σταθμό συνδρομητή και παράλληλα εκμηδενισμό των παρεμβολών από άλλους σταθμούς συνδρομητών ή διαφόρων πηγών παρεμβολών. Οι τεχνικές τύπου AAS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενεργοποιήσουν Πολλαπλή Πρόσβαση Χωρικής Διαίρεσης (Spatial Division Multiple Access, SDMA), έτσι ώστε πολλαπλοί σταθμοί συνδρομητών που ξεχωρίζουν στο χώρο να μπορούν να λαμβάνουν και να εκπέμπουν στο ίδιο υπό-κανάλι την ίδια χρονική στιγμή. Χρησιμοποιώντας σχηματισμό δέσμης, ο σταθμός βάσης έχει τη δυνατότητα να κατευθύνει το επιθυμητό σήμα στους διαφορετικούς σταθμούς συνδρομητών και να διακρίνει τα σήματα των διαφορετικών σταθμών συνδρομητών ακόμη και αν λειτουργούν στα ίδια υπό-κανάλια. Η Εικόνα 6.8 επεξηγεί.



**Εικόνα 6.8:** Με AAS πετυχαίνεται αύξηση του κέρδους στους εν λόγω σταθμούς συνδρομητών

## 6.10 MAC Επίπεδο

### 6.10.1 Η σχέση του MAC με το Φυσικό Στρώμα (PHY)

Το MAC του WiMAX παρέχει «νοημοσύνη» για το Φυσικό Στρώμα και εξασφαλίζει ένα πλήθος χαρακτηριστικών QoS που δε συναντώνται σε άλλα ασύρματα πρότυπα. Ίσως η μεγαλύτερή του αξία είναι ότι παρέχει δυναμική κατανομή εύρους ζώνης που κατατροπώνει τις συνηθισμένες υποβαθμίσεις των ασύρματων υπηρεσιών, δηλαδή λανθάνων χρόνο και παραμόρφωση σήματος (jitter).

Το πρωτόκολλο MAC του WiMAX σχεδιάστηκε για point-to-multipoint εφαρμογές ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Επιλαμβάνεται της ανάγκης για

πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, και για το UL (στον σταθμό βάσης) και για το DL (από τον σταθμό βάσης). Με το WiMAX, σε αντίθεση με τους WiFi προκατόχους του, οι αλγόριθμοι πρόσβασης και κατανομής εύρους ζώνης εξυπηρετούν εκατοντάδες τερματικά ανά κανάλι, και πολλαπλοί τελικοί χρήστες μπορεί να μοιράζονται αυτά τα τερματικά. Οι τελικοί χρήστες απαιτούν υπηρεσίες που ποικίλουν στη φύση περιλαμβάνοντας συμβατική TDM φωνή και δεδομένα, συνδεσιμότητα IP, και πακετοποιημένο VoIP. Για να υποστηριχθεί αυτή η ποικιλία υπηρεσιών το MAC του WiMAX προσαρμόζεται και σε συνεχόμενη κίνηση και σε εκρηκτική κίνηση (bursty traffic). Επιπλέον, σε αυτές τις υπηρεσίες αναθέτονται QoS παράμετροι κατά που ταιριάζουν στα είδη κίνησης.

Στην ποικιλία απαιτήσεων backhaul που υποστηρίζει το πρωτόκολλο MAC του WiMAX περιλαμβάνονται και ATM και βασιζόμενα σε πακέτα πρωτόκολλα. Τα υπό-στρώματα σύγκλισης αντιστοιχίζουν την κίνηση που ορίζει το στρώμα μεταφοράς σε ένα MAC που είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να μεταφέρει αποτελεσματικά οποιοδήποτε είδος κίνησης. Τα υπό-στρώματα σύγκλισης και το MAC συνεργάζονται χρησιμοποιώντας καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου, συσκευασία (packing), και κατακερματισμό για τη μεταφορά της κίνησης με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο από αυτόν του αρχικού μηχανισμού μεταφοράς.

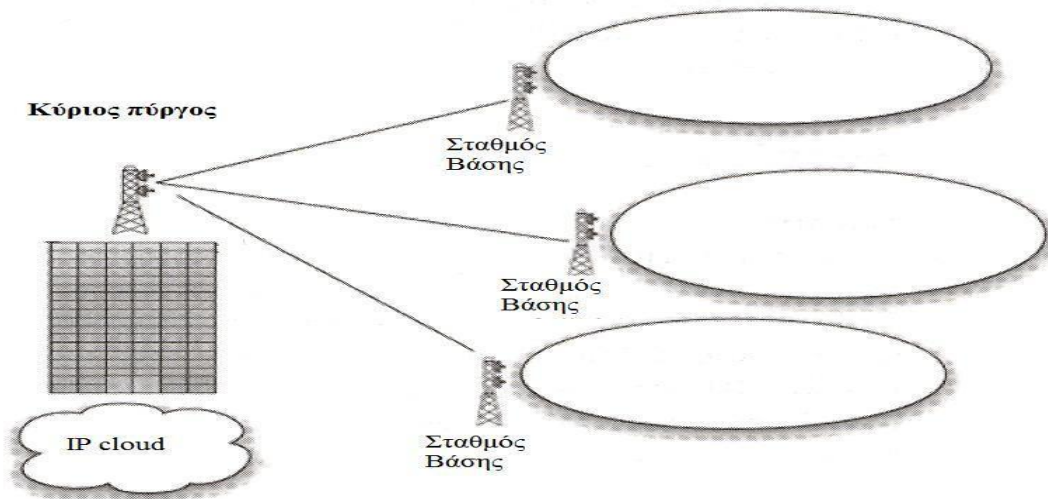
### **6.10.2 Το MAC και η αρχιτεκτονική του WiMAX**

Το WiMAX DL από τον σταθμό βάσης στον χρήστη έχει point-to-multipoint λειτουργία όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6.9. Η ασύρματη ζεύξη του WiMAX λειτουργεί με έναν κεντρικό σταθμό βάσης με μια κατευθυντική κεραία ικανή να χειρίζεται πολλαπλούς ανεξάρτητους τομείς ταυτόχρονα. Εντός ενός δεδομένου καναλιού συχνότητας και τομέα κεραίας, όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την ίδια εκπομπή. Ο σταθμός βάσης είναι ο μόνος πομπός που λειτουργεί σε αυτή την κατεύθυνση, έτσι εκπέμπει χωρίς να χρειάζεται να συντονιστεί με άλλους σταθμούς εκτός από το συνολικό TDD που μπορεί να διαιρεί το χρόνο σε περιόδους εκπομπής UL και DL. Το DL είναι γενικώς εκπομπή σε όλους τους σταθμούς.

Σε περιπτώσεις που το DL-MAP δεν υποδηλώνει ρητά πως ένα κομμάτι του DL υπό-πλασίου δεν είναι για ένα συγκεκριμένος σταθμό συνδρομητή, όλοι οι

σταθμοί συνδρομητών που είναι ικανοί να «ακούσουν» σε αυτό το κομμάτι του υπό-πλασίου DL θα «ακούσουν».

Το MAC είναι συνδεσμικό. Οι συνδέσεις αναφέρονται με αναγνωριστικά σύνδεσης (Connection ID, CID) και είναι πιθανόν να απαιτούν συνεχώς χορηγούμενο εύρος ζώνης ή εύρος ζώνης κατά απαίτηση. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 65535 CID ανά κανάλι ραδιοσυχνότητας. Όπως περιγράφηκε



**Εικόνα 6.9:** Τυπική αρχιτεκτονική WiMAX για point-to-multipoint διανομή

πρωτίτερα, φιλοξενούνται και τα δύο είδη εύρους ζώνης. Για τη διάκριση πολλαπλών καναλιών UL που σχετίζονται με το ίδιο κανάλι DL χρησιμοποιείται ένα CID. Οι σταθμοί συνδρομητών ελέγχουν τα CID στα λαμβανόμενα PDU και διατηρούν μόνο τα PDU που απευθύνονται σε αυτούς.

Το MAC PDU είναι η μονάδα δεδομένων που ανταλλάσσεται μεταξύ των MAC στρωμάτων του σταθμού βάσης και των σταθμών συνδρομητών του. Είναι η μονάδα δεδομένων που παράγεται στην καθοδική κατεύθυνση για το επόμενο χαμηλότερο στρώμα και η μονάδα δεδομένων που λαμβάνεται κατά την ανοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο χαμηλότερο στρώμα.

Κάθε σταθμός συνδρομητή έχει μια συνήθη διεύθυνση MAC 48-bit, η οποία είναι και αναγνωριστικό εξοπλισμού επειδή οι κύριες διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας είναι τα CID. Με την είσοδο στο δίκτυο, ανατίθενται στον σταθμό συνδρομητή τρεις συνδέσεις διαχείρισης σε κάθε

κατεύθυνση. Αυτές οι τρεις συνδέσεις αντιπροσωπεύουν τις τρεις διαφορετικές απαιτήσεις QoS που χρησιμοποιούνται από διαφορετικά επίπεδα διαχείρισης:

- Βασική σύνδεση (Basic connection) – μεταφέρει μικρά, time-critical μηνύματα MAC και ελέγχου ράδιο ζεύξης (Radio Link Control)
- Σύνδεση πρωτεύουσας διαχείρισης (Primary management connection) – μεταφέρει μεγαλύτερα, περισσότερο ανεκτικά στην καθυστέρηση μηνύματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για αυθεντικοποίηση και αρχικοποίηση της σύνδεσης. Η σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης μεταφέρει μηνύματα διαχείρισης που έχουν σχέση με τα πρότυπα, όπως DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol), και SNMP (Simple Network Management Protocol). Εκτός από αυτές τις συνδέσεις διαχείρισης, οι σταθμοί συνδρομητών είναι εκχωρημένες συνδέσεις μεταφοράς για τις συμφωνημένες υπηρεσίες.
- Συνδέσεις μεταφοράς (Transport connection) – είναι μονοκατευθυντικές για να υπάρχει διαφορετικό QoS UL και DL καθώς και παραμέτρους κίνησης. Τυπικά εκχωρούνται σε υπηρεσίες ανά ζευγάρια.

Οι σταθμοί συνδρομητών μοιράζονται το UL στον σταθμό βάσης κατά απαίτηση. Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τάξη υπηρεσίας, ο σταθμός συνδρομητή μπορεί να χορηγείται δικαιώματα εκπομπής συνεχώς, ή ο σταθμός βάσης μπορεί να χορηγήσει το δικαίωμα εκπομπής μετά από λήψη αίτησης από έναν χρήστη.

#### **6.10.2.1 Τάξεις υπηρεσιών και QoS**

Μέσα σε κάθε τομέα, οι χρήστες τηρούν ένα πρωτόκολλο εκπομπής που ελέγχει τις διαμάχες μεταξύ των χρηστών και επιτρέπει στην υπηρεσία να συνταιριαστεί στην καθυστέρηση και τις απαιτήσεις εύρους ζώνης της κάθε εφαρμογής χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τεσσάρων ειδών μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού του UL. Αυτοί οι μηχανισμοί υλοποιούνται χρησιμοποιώντας αυτόκλητες αιτήσεις εύρους ζώνης, προσκλήσεων για εκπομπή (polling) και διαδικασίες συναγωνισμού. Το MAC του WiMAX παρέχει διαφοροποίηση του QoS για διαφορετικά είδη εφαρμογών που ενδεχομένως λειτουργούν πάνω από δίκτυα WiMAX:

- Υπηρεσίες Αυτόκλητης Αίτησης (Unsolicited Grant Services) – Οι UGS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη αμετάβλητου ρυθμού μετάδοσης

(Constant Bit Rate), όπως εξομοίωση T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.

- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Services) – Οι rtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG ή VoIP με καταστολή σιωπής.
- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Services) – Οι nrtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητό μέγεθος δεδομένων.
- Υπηρεσίες Καλύτερης Προσπάθειας (Best Effort Services) – Οι BE υπηρεσίες παρέχονται τυπικά από το Διαδίκτυο σήμερα για περιήγηση στο δίκτυο (web surfing).

Η χρήση των προσκλήσεων για εκπομπή απλοποιεί τη λειτουργία πρόσβασης και εγγυάται ότι οι εφαρμογές λαμβάνουν την υπηρεσία σε μια προκαθορισμένη βάση αν απαιτείται. Γενικώς, οι εφαρμογές δεδομένων είναι ανεκτικές στις καθυστερήσεις, αλλά οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως φωνή και βίντεο, απαιτούν υπηρεσία σε μια πιο ομοιόμορφη βάση και μερικές φορές σε ένα πολύ σφιχτά ελεγχόμενο πρόγραμμα.

Για σκοπούς αντιστοίχισης των υπηρεσιών στους σταθμούς συνδρομητών και συσχετισμού ποικίλων επιπέδων QoS, όλες οι επικοινωνίες δεδομένων είναι στο γενικότερο θεματικό πλαίσιο μιας σύνδεσης. Οι ροές υπηρεσιών μπορούν να παρέχονται όταν είναι εγκατεστημένος ένας σταθμός συνδρομητή στο σύστημα. Αμέσως μετά την καταχώρηση του σταθμού συνδρομητή οι συνδέσεις συσχετίζονται με αυτές τις ροές υπηρεσιών (μια σύνδεση ανά ροή υπηρεσίας) για να παρέχουν μια σχέση στην οποία θα γίνει η αίτηση εύρους ζώνης.

Επιπροσθέτως, όταν η υπηρεσία ενός πελάτη χρειάζεται αλλαγή μπορεί να εγκαθιδρυθούν νέες συνδέσεις. Μια σύνδεση ορίζει μια ροή υπηρεσίας καθώς και την αντιστοίχιση μεταξύ διαδικασιών ομότιμης σύγκλισης που χρησιμοποιούν το MAC. Η ροή υπηρεσίας ορίζει τις παραμέτρους QoS για τα PDU που ανταλλάσσονται μόλις εγκαθιδρυθεί η σύνδεση.

Οι ροές υπηρεσίας είναι ο μηχανισμός για UL και DL για διαχείριση QoS. Συγκεκριμένα, διευκολύνουν τη διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης. Ένας σταθμός συνδρομητή αιτείται εύρος ζώνης UL ανά σύνδεση (αφανώς αναγνωρίζοντας τη ροή υπηρεσίας). Ο σταθμός βάσης χορηγεί το εύρος ζώνης



στον σταθμό συνδρομητή ως ένα σύνολο αιτήσεων σε απόκριση των ανά σύνδεση αιτήσεων από τους σταθμούς συνδρομητών.

Τα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης καθορίζονται σε ένα προφίλ ριπών που μπορεί να ρυθμιστεί προσαρμοζόμενο σε κάθε ριπή σε κάθε σταθμό συνδρομητή. Το MAC μπορεί να κάνει χρήση προφίλ ριπών που διαχειρίζονται αποτελεσματικά το εύρος ζώνης υπό ιδανικές συνθήκες ζεύξης μετά να πάει σε πιο αξιόπιστες μεν, λιγότερο αποτελεσματικές δε, εναλλακτικές λύσεις, όπως απαιτεί η επιθυμητή 99,999% διαθεσιμότητα ζεύξης (QPSK σε 16-QAM σε 64-QAM).

Ο μηχανισμός αίτησης – χορήγησης σχεδιάστηκε να είναι κλιμακούμενος, αποτελεσματικός, και αυτό-διορθωτικός. Το σύστημα πρόσβασης του WiMAX δε χάνει σε αποτελεσματικότητα όταν υλοποιείται με πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό, πολλαπλά επίπεδα QoS ανά τερματικό, και μεγάλο αριθμό χρηστών στατιστικής πολυπλεξίας.

Παράλληλα με τη θεμελιώδη εργασία κατανομής του εύρους ζώνης και μεταφοράς των δεδομένων, το MAC περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα ιδιωτικότητας που παρέχει αυθεντικοποίηση για την πρόσβαση στο δίκτυο και την εγκαθίδρυση της σύνδεσης ώστε να αποφευχθεί κλοπή υπηρεσίας, και παρέχει ανταλλαγή κλειδιών και κρυπτογράφηση για ιδιωτικότητα δεδομένων.

### **6.11 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών**

Το πρότυπο WiMAX ορίζει δύο ειδικών υπηρεσιών γενικά υποστρώματα σύγκλισης για την αντιστοίχιση υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του WiMAX:

- ATM convergence sub layer. Το υπόστρωμα σύγκλισης ATM είναι για υπηρεσίες ATM.
- Packet convergence sub layer. Το υπόστρωμα σύγκλισης πακέτων ορίζεται για την αντιστοίχιση υπηρεσιών πακέτου όπως Internet Protocol version 4 ή 6 (IPv4, IPv6), Ethernet, και VLAN (Virtual Local Area Network).

Η κύρια λειτουργία του υποστρώματος είναι η ένταξη των SDU (Service Data Units) στη σωστή σύνδεση MAC, η διαφύλαξη ή ενεργοποίηση QoS, και η ενεργοποίηση της κατανομής εύρους ζώνης. Τα SDU είναι οι μονάδες που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο γειτονικών στρωμάτων πρωτοκόλλων. Είναι οι μονάδες δεδομένων που λαμβάνονται στην καθοδική κατεύθυνση από το

προηγούμενο υψηλότερο στρώμα και οι μονάδες δεδομένων που αποστέλλονται κατά την ανοδική κατεύθυνση στο επόμενο υψηλότερο στρώμα. Η αντιστοίχιση παίρνει διάφορες μορφές, ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας. Εκτός από αυτές τις βασικές λειτουργίες, τα υποστρώματα σύγκλισης πραγματοποιούν πολύπλοκες λειτουργίες, όπως καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου και ανακατασκευή, για την βελτίωση της ασύρματης αποτελεσματικότητας.

### **6.11.1 Common Part Sub layer**

Το MAC δεσμεύει επιπλέον συνδέσεις για άλλους σκοπούς. Μια σύνδεση δεσμεύεται για αρχική πρόσβαση βάσει συναγωνισμών. Μια άλλη δεσμεύεται για εκπομπή σε όλους τους σταθμούς στο DL καθώς και για τη σηματοδότηση εκπομπής σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμού των ευρυζωνικών αναγκών των σταθμών συνδρομητών. Επιπλέον συνδέσεις δεσμεύονται για πολυεκπομπή σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμών (contention-based multicast polling). Οι σταθμοί συνδρομητών μπορεί να διαταχθούν να προσχωρήσουν σε ομάδες πολυεκπομπής σταθμοσκόπησης που συσχετίζονται με αυτές τις συνδέσεις πολυεκπομπής σταθμοσκόπησης.

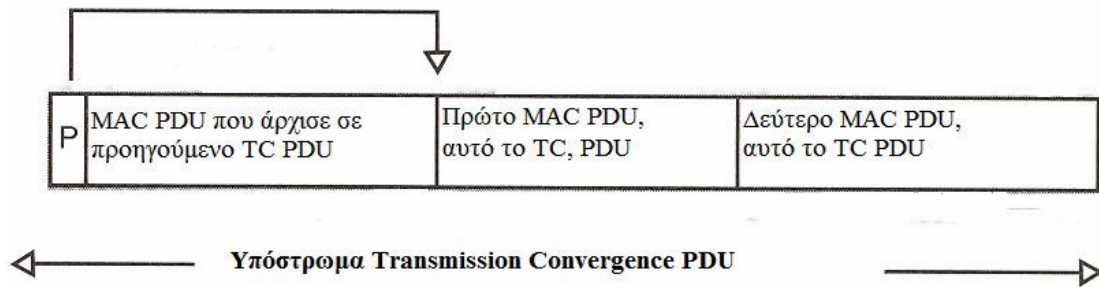
### **6.11.2 Μορφές MAC PDU**

Μια MAC PDU αποτελείται από μια κεφαλίδα MAC σταθερού μήκους, ένα ωφέλιμο φορτίο μεταβλητού μήκους, και έναν προαιρετικό κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check). Ορίζονται δύο μορφές κεφαλίδων: η γενική κεφαλίδα (όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.10) και η κεφαλίδα αίτησης εύρους ζώνης. Εκτός από τις MAC PDU αίτησης εύρους ζώνης, οι οποίες δεν περιέχουν καθόλου ωφέλιμο φορτίο, οι MAC PDU περιέχουν είτε μηνύματα διαχείρισης MAC ή δεδομένα υποστρώματος σύγκλισης.

Υπάρχουν τρία είδη MAC υπό-κεφαλίδων:

- Υπό-κεφαλίδα επιχορήγησης διαχείρισης (Grant Management Sub-header) – χρησιμοποιείται από έναν σταθμό συνδρομητή για τη διαβίβαση των αναγκών διαχείρισης εύρους ζώνης στον σταθμό βάσης του.
- Υπό-κεφαλίδα κατάτμησης (Fragmentation sub-header) – περιέχει πληροφορίες που υποδηλώνουν την παρουσία και τον προσανατολισμό στο ωφέλιμο φορτίο τυχόντων τμημάτων στις SDU.

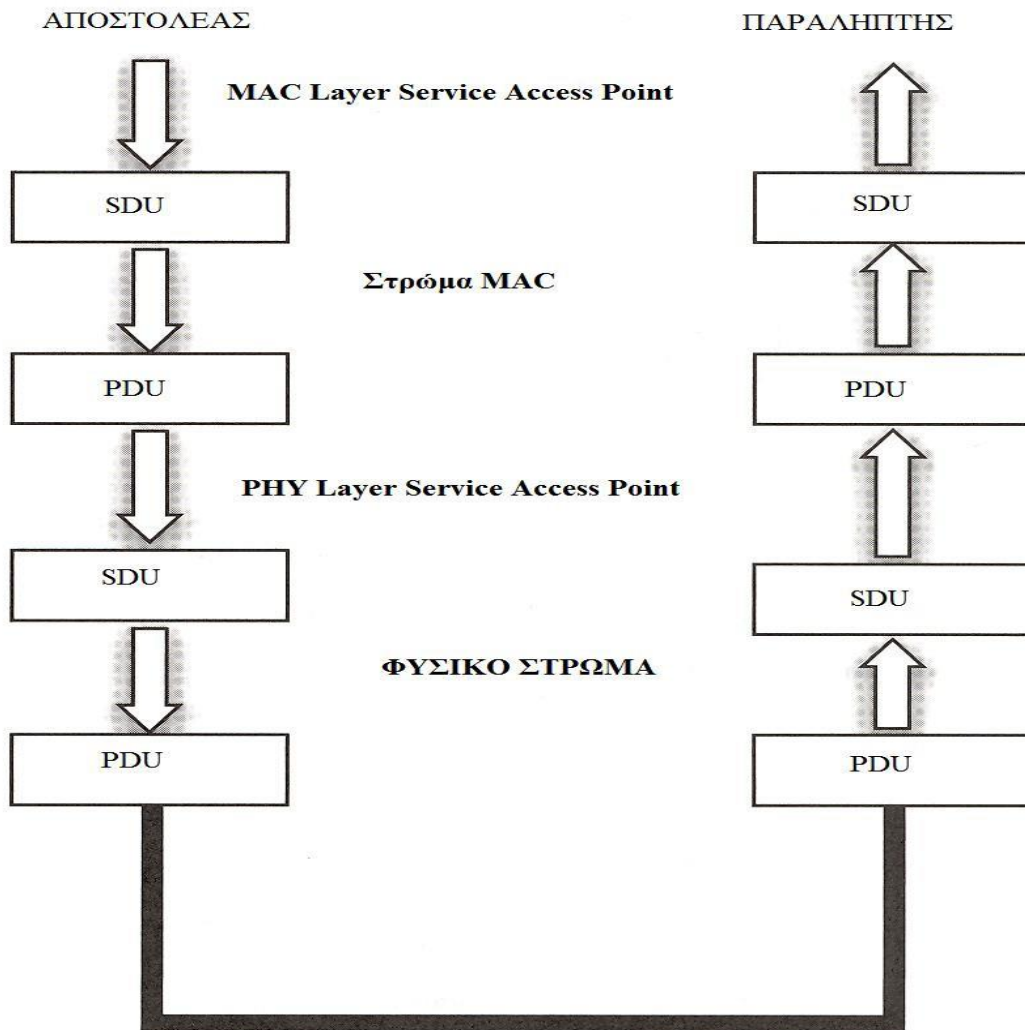
- Υπό-κεφαλίδα πακετοποίησης (Packing sub-header) – υποδηλώνει την πακετοποίηση πολλαπλών SDU σε μια μονή PDU. Οι υπό-κεφαλίδες εκχώρησης διαχείρισης και κατάτμησης μπορούν να εισέλθουν σε μια MAC PDU ακολουθούμενες αμέσως τη γενική κεφαλίδα αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field. Η υπό-κεφαλίδα πακετοποίησης μπορεί να εισέλθει πριν την εκάστοτε MAC SDU αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field.



**Εικόνα 6.10: MAC PDU**

#### 6.11.2.1 Μετάδοση των MAC PDU και SDU

Οι εισερχόμενες MAC SDU από τα αντίστοιχα υποστρώματα σύγκλισης είναι μορφοποιημένες σύμφωνα με τη μορφή του MAC PDU, με κατάτμηση, ή/και πακετοποίηση, πριν διαβιβαστούν πάνω από μια ή περισσότερες συνδέσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο MAC. Μετά τη διάσχιση της ασύρματης ζεύξης, οι MAC PDU ανακατασκευάζονται στις αρχικές MAC SDU έτσι ώστε οι τροποποιήσεις που έγιναν από το πρωτόκολλο του στρώματος MAC να είναι σαφείς στην λαμβάνουσα οντότητα. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 6.11.



**Εικόνα 6.11:** Κατάτμηση και Πακετοποίηση των SDU και PDU

### 6.12 Πακετοποίηση και Κατάτμηση

Το WiMAX επωφελείται από την ενσωμάτωση των διαδικασιών πακετοποίησης και κατάτμησης με τη διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης με σκοπό τη μεγιστοποίηση της ευελιξίας, της αποδοτικότητας και την δραστικότητα αυτών των δύο. Η κατάτμηση (fragmentation) είναι η διαδικασία κατά την οποία μια MAC SDU διαιρείται σε ένα ή περισσότερα κομμάτια MAC SDU. Η πακετοποίηση (packing) είναι η διαδικασία κατά την οποία πολλαπλές MAC SDU πακετάρονται σε ένα μονό MAC PDU ωφέλιμο φορτίο. Τις δύο διαδικασίες μπορεί να αρχικοποιήσει είτε ένας σταθμός βάσης για μια DL σύνδεση, είτε ένας σταθμός συνδρομητή για μια UL σύνδεση. Το WiMAX επιτρέπει ταυτόχρονη κατάτμηση και πακετοποίηση για αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης.

### 6.13 Δημιουργία PDU και ARQ

Τα ARQ μπλοκ είναι διακριτές μονάδες δεδομένων που μεταφέρονται σε συνδέσεις που υποστηρίζουν ARQ. Σκοπός του ARQ είναι η επανεκπομπή χαμένων ή αλλοιωμένων MAC SDU μπλοκ (δηλαδή μπλοκ ARQ). Το MAC του WiMAX χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση βασισμένη στην τεχνική του ολισθαίνοντος παραθύρου όπου ο πομπός μπορεί να αποστείλει έναν αριθμό μπλοκ χωρίς να λαμβάνει επιβεβαίωση. Ο δέκτης στέλνει μηνύματα επιβεβαίωσης ή αρνητικής επιβεβαίωσης για να πει στον πομπό ποια SDU μπλοκ λήφθηκαν και ποια χάθηκαν. Ο πομπός επανεκπέμπει μπλοκ που χάθηκαν και μετακινεί το ολισθαίνον παράθυρο εμπρός όταν έχουν επιβεβαιωθεί τα SDU μπλοκ που ληφθεί.

Σε κάθε σύνδεση σταθμού συνδρομητή-σταθμού βάσης ανατίθεται μια τάξη υπηρεσίας, ως μέρος της δημιουργίας της σύνδεσης. Όταν τα πακέτα ταξινομούνται στο υπόστρωμα σύγκλισης, η σύνδεση στην οποία είναι τοποθετημένα επιλέγεται βάσει των εγγυήσεων QoS που απαιτεί η εφαρμογή.

Η Εικόνα 1.11 παρουσιάζει τον μηχανισμό QoS του WiMAX για υποστήριξη πολυμεσικών υπηρεσιών περιλαμβάνοντας φωνή TDM, VoIP, συνεχή ροή βίντεο, TFTP, HTTP, e-mail.

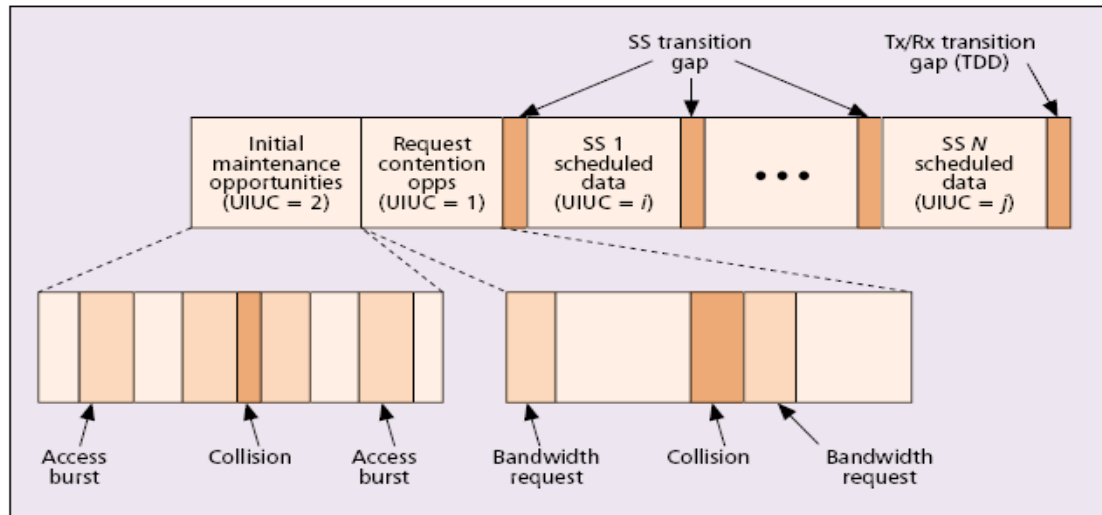
#### Υποστήριξη επιπέδου PHY και δομή πλαισίου

Το MAC του WiMAX υποστηρίζει και TDD και FDD. Στην FDD, υποστηρίζονται συνεχόμενης και εκρηκτικής (burst) ροής DL. Τα συνεχόμενης ροής DL χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες τεχνικές βελτίωσης της σθεναρότητας, όπως διεμπλοκή. Τα burst DL (είτε για TDD είτε για FDD) επιτρέπουν τη χρήση τεχνικών πιο προηγμένης σθεναρότητας και βελτιωμένης χωρητικότητας, όπως προσαρμοζόμενα προφίλ ριπών σε επίπεδο συνδρομητή και συστήματα AAS.

Το MAC δομεί το υπό-πλαίσιο DL αρχίζοντας με ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει τα μηνύματα DL-MAP και UL-MAP. Αυτά υποδηλώνουν τις μεταβάσεις του Φυσικού Επιπέδου στο DL καθώς επίσης κατανομές εύρους ζώνης και προφίλ ριπών στο UL.

Το DL-MAP είναι πάντα εφαρμόσιμο στο τρέχον πλαίσιο και έχει πάντα μήκος τουλάχιστο δύο FEC μπλοκ. Η πρώτη Φυσικού Επιπέδου μετάβαση διατυπώνεται στο πρώτο FEC μπλοκ ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος

επεξεργασίας. Στα TDD και FDD συστήματα, το UL-MAP παρέχει εκχωρήσεις που ξεκινούν όχι αργότερα από το επόμενο πλαίσιο DL. Το UL-MAP, μπορεί ωστόσο, να εκχωρεί αρχίζοντας στο τρέχον πλαίσιο για όσο οι χρόνοι επεξεργασίας και καθυστέρησης μετάβασης-επιστροφής (round-trip) τηρούνται. Ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ γνωστοποίησης παραλαβής και εφαρμοσιμότητας του UL-MAP για ένα σύστημα FDD απεικονίζεται στην Εικόνα 6.12.



**Εικόνα 6.12**

### 6.14 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής

Μεταξύ του PHY και του MAC υπάρχει ένα υπόστρωμα TC (Εικόνα 6.13). Αυτό το στρώμα μετασχηματίζει MAC PDU μεταβλητού μήκους σε σταθερού μήκους μπλοκ FEC (συν πιθανώς ένα βραχύτερο μπλοκ στο τέλος κάθε ριπής). Το στρώμα TC έχει μια PDU με τέτοιο μέγεθος που να ταιριάζει στο FEC μπλοκ που γεμίζεται τρέχοντας. Αρχίζει με ένα δείκτη που υποδεικνύει που αρχίζει η επόμενη κεφαλίδα MAC PDU εντός του FEC μπλοκ. Αυτό φάνηκε στην Εικόνα 6.11. Η μορφοποίηση του TC PDU επιτρέπει επανασυγχρονισμό στο επόμενο MAC PDU στην περίπτωση που το προηγούμενο FEC μπλοκ είχε αμετάκλητα σφάλματα.



**Εικόνα 6.13**

## 6.15 Εφαρμογές του WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα των υψηλών ρυθμών μετάδοσης που μπορεί να παρέχει βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν τους τεχνικούς δικτύων σήμερα.

Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του:

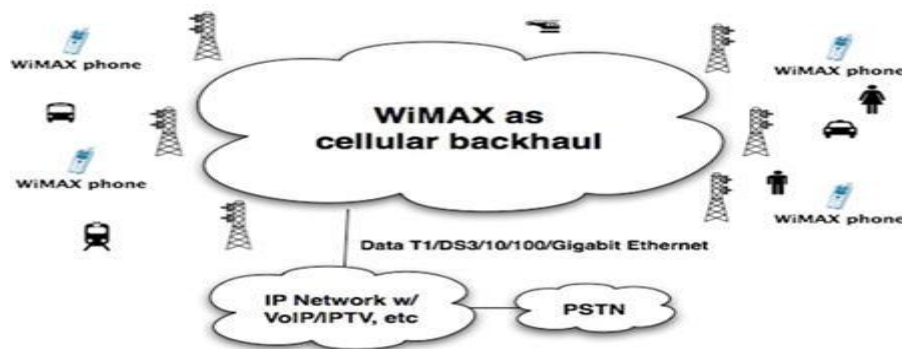
- Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας. Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με τα υλικά μέσα μετάδοσης, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα συστήματα αυτά.
- Broadband on Demand. Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις.
- Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με άλλα μέσα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σαν συμπλήρωμα είτε σαν επέκταση του ήδη εγκατεστημένου δικτύου.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του WiMAX το καταστούν κατάλληλο και για σταθερές και για κινητές εφαρμογές. Οι σταθερές εφαρμογές WiMAX είναι κυρίως point - to - multipoint επιτρέποντας την ευρυζωνική πρόσβαση στα σπίτια και στις επιχειρήσεις. Ενώ οι κινητές εφαρμογές προσφέρουν την πλήρη κινητικότητα των κυψελοειδών δικτύων με αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες. Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως point to multipoint συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις.

Πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο 802.16 έχει εξαιρετικές εφαρμογές στην βιομηχανία δίνοντας πολλές λύσεις σε υπάρχοντα προβλήματα. Μερικές από αυτές περιγράφονται περιληπτικά στη συνέχεια.

- Κυψελοειδής μετάδοση (backhaul): Οι παροχείς της κύριας αρτηρίας (backbone) του internet μισθώνουν σε τρίτους παροχείς υπηρεσιών (ISP's) γραμμές του δικτύου. Αυτή η μίσθωση έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνει το κόστος επέκτασης και λειτουργίας του διαδικτύου. Το 802.16 αποτελεί μία εξαιρετική λύση σε εταιρίες παροχής υπηρεσιών που τώρα δε θα είναι αναγκασμένες να μισθώνουν ενσύρματες γραμμές αλλά μπορούν με τη

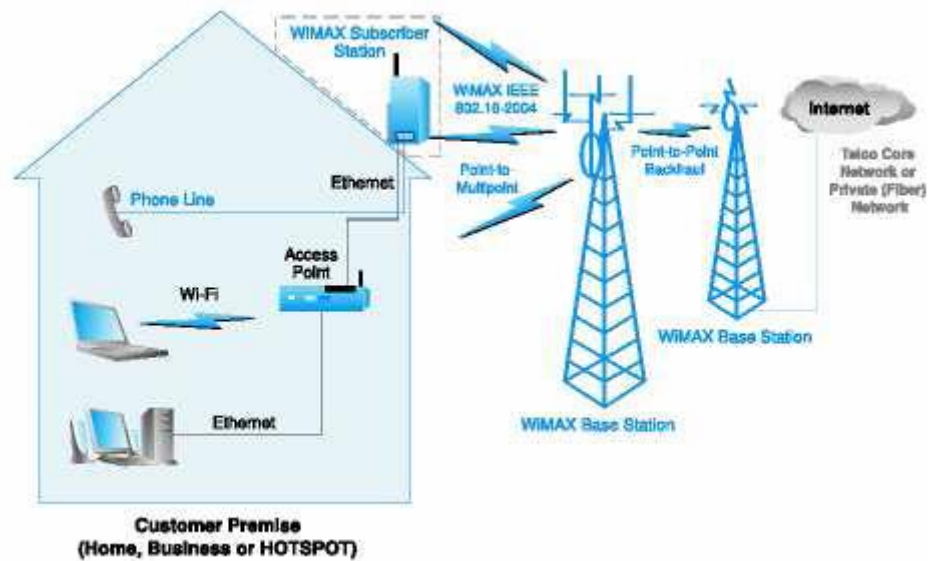
χρήση των ασύρματων κυβελών να παρέχουν φτηνή πρόσβαση στους χρήστες.



Εικόνα 6.14

- Άρση των περιορισμών: Υπάρχουν κάποιοι φυσικοί περιορισμοί στα υλικά μέσα μετάδοσης (χαλκός και οπτική ίνα) οι οποίοι αποτρέπουν πολλούς πελάτες να συνδεθούν με το δίκτυο. Επιπλέον η DSL σύνδεση μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου τρία μίλια μακριά από τον κεντρικό δρομολογητή πράγμα που σημαίνει ότι πολλές αστικές και προαστιακές περιοχές δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν. Επίσης υπάρχουν πολλά παλιά ενσύρματα δίκτυα που δεν είναι εξοπλισμένα με κανάλι επιστροφής, με συνέπεια ο εκσυγχρονισμός αυτών να είναι οικονομικά ασύμφορος. Τέλος η επέκταση της καλωδιακής εγκατάστασης, είτε είναι ανέφικτη, είτε είναι αρκετά δύσκολη και ακριβή ειδικά σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει μεγάλη «πυκνότητα» χρηστών. Το 802.16 μπορεί να λύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα, παρέχοντας μεγάλο εύρος ζώνης (bandwidth), υψηλές ταχύτητες και ευελιξία με χαμηλό κόστος.
- Επέκταση της ασύρματης ευρυζωνικότητας: Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα, που έχει το WiMAX είναι η εύκολη και ευέλικτη επεκτασιμότητα του με ταυτόχρονη συμβατότητα με τα υπόλοιπα υπάρχοντα δίκτυα. Αυτή η επεκτασιμότητα δίνει στο WiMAX την ικανότητα να συνδέονται μετακινούμενοι χρήστες εύκολα από παντού. Μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσε να δώσει πρόσβαση σε όλους μέσα σε μια μεγάλη βιομηχανία ή σε μια εταιρεία που μετακινείται συνεχώς και μάλιστα από παντού.





**Εικόνα 6.15** Τοπολογία πρόσβασης WiMAX

- Απομακρυσμένες περιοχές: Η δημιουργία δικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές είναι συνήθως είτε οικονομικά ασύμφωρες είτε τεχνικά αδύνατες. Το WiMAX άρει τα παραπάνω προβλήματα και καταστεί πλέον δυνατή μια τέτοια ανάπτυξη.

### 6.16 Σύγκριση WiFi – WiMAX

Η τεχνολογία WiMAX όπως καθορίζεται από το 802.16 IEEE πρότυπο, αποτελεί την φυσική εξέλιξη των ασύρματων δικτύων που υπάρχουν σήμερα (WiFi, δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης και τρίτης γενιάς). Δεν αποτελεί την τεχνολογία που θα αντικαταστήσει τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα αλλά η εφαρμογή της στοχεύει στην ολοκλήρωση και την σύγκλιση των παραπάνω συστημάτων με σημείο αναφοράς το παγκόσμιο δίκτυο δεδομένων (Internet).

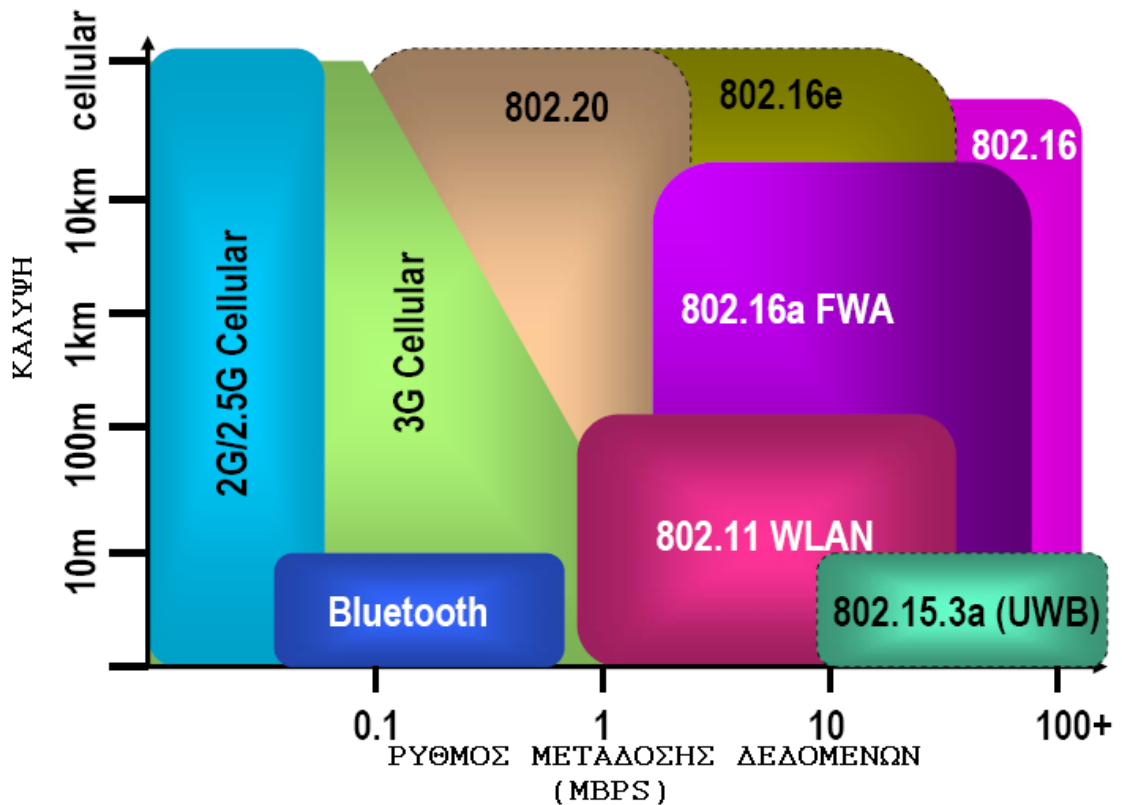
Αρχικά, στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι συχνότητες λειτουργίας και οι αποστάσεις μέγιστης εμβέλειας των βασικότερων από τα πρότυπα WiFi και WiMAX που βρίσκονται σε εφαρμογή. Με την τοποθέτηση του WiMAX περί των 3,5GHz, τείνουν να καλυφθούν οι διαθέσιμες ζώνες συχνοτήτων που εξυπηρετούν την δομή των ασύρματων δικτύων πρόσβασης πολλαπλών χρηστών.

**Πίνακας 10:** Σύγκριση WIFI / WIMAX

Τεχνολογία	Πρότυπο	Χρήση	Μέγιστη Απόσταση	Συχνότητα Λειτουργίας
WiFi	802.11b	WLAN	100m	2,4 GHz
WiFi	802.11g	WLAN	100m	2,4 GHz
WiMAX	802.16d	WMAN	30km	3,5 GHz

Τα δίκτυα WiMAX, παρόλο που με την χρήση σταθμού βάσης για την κάλυψη μιας περιοχής και εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών σε αυτήν, προσεγγίζουν χωροταξικά τη μορφή των κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς, δεν υιοθετούν τεχνικές επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων από κυψέλη σε κυψέλη. Ο λόγος της διαφοροποίησης αυτής είναι η δυνατότητα κάλυψης μιας μεγάλης περιοχής με χιλιάδες χρήστες από έναν και μόνο σταθμό βάσης. Δεν υπάρχει δηλαδή η ανάγκη οργάνωσης του δικτύου με γειτονικές περιοχές κάλυψης από διαφορετικούς σταθμούς βάσης, επομένως προβλήματα παρεμβολών. Ως εκ τούτου κάθε σταθμός βάσης εξυπηρετεί εξ ολοκλήρου μια περιοχή με τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει όλο το διαθέσιμο φάσμα.

Φυσικά τα δίκτυα WiMAX εκμεταλλευόμενα την προηγμένη τεχνολογία των συστημάτων κεραιών που χρησιμοποιούν, επαναχρησιμοποιούν κανάλια στην ίδια όμως περιοχή κάλυψης αυξάνοντας έτσι την χωρητικότητα τους. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί ουσιαστικά καινοτομία στο χώρο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Στην Εικόνα 1.16 που ακολουθεί βλέπουμε την τοποθέτηση των διαφόρων συστημάτων σε συνάρτηση με τις δυνατότητες κάλυψης και τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνουν. Αντιλαμβανόμαστε ότι το κάθε ένα από αυτά τα συστήματα έχει το δικό του πεδίο δράσης και απευθύνεται σε συγκεκριμένες ανάγκες δικτύωσης.



**Εικόνα 6.16:** Σύγκριση των τεχνολογιών όσον αφορά την ακτίνα κάλυψης και την χωρητικότητα του συστήματος

Οι πολύ καλές επιδόσεις των δικτύων WiMAX απορρέουν κυρίως από το γεγονός ότι έχει δοθεί πολύ μεγάλη βαρύτητα κατά την υλοποίησή τους στην κατεύθυνση της διαβάθμισης της λειτουργίας, έτσι ώστε κάθε στιγμή το σύστημα να μπορεί να προσαρμοστεί στις υπάρχουσες ανάγκες.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η δυνατότητα του σταθμού βάσης να εκπέμπει προς κάθε ξεχωριστό χρήστη ταυτόχρονα όχι μόνο με διαφορετική ισχύ αλλά επιπλέον με διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης. Όπως μαρτυρά η Εικόνα 1.15, το σύστημα WiMAX επιτυγχάνει έναν από τους μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, το γεγονός αυτό είναι προϊόν της δυνατότητας απόρριψης σε μεγάλο βαθμό τόσο του θορύβου όσο και των παρεμβολών. Ενώ αντίστοιχα σε όλα τα υπόλοιπα συστήματα το θέμα των παρεμβολών και φαινομένων Doppler (για τις κινητές ασύρματες επικοινωνίες) και multipath αποτελούσε τροχοπέδη στην επίτευξη μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, σε συνάρτηση πάντα με το διαθέσιμο κάθε φορά φάσμα.

Εκ των πραγμάτων τα δύο αυτά συστήματα απευθύνονται στην ίδια περιοχή εφαρμογών και μοιράζονται πολλά κοινά στοιχεία καθώς και τα δύο είναι

κατασκευασμένα να εξυπηρετούν εφαρμογές που στηρίζονται πρωτόκολλα όπως FTP, TCP/IP, ATM και άλλα. Φυσικά τα δυο αυτά συστήματα δεν έχουν ανταγωνιστικούς ρόλους στην σχετική αγορά, καθώς το ένα υποστηρίζει πλήρως την παράλληλη λειτουργία του άλλου.

Ενδεικτικά η εκμετάλλευση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου WiFi, από τους χρήστες του, μπορεί να μεγιστοποιηθεί αν τη θέση της παραδοσιακής ενσύρματης παροχής δικτύου πάρει μια σύνδεση δικτύου WiMAX.

Σε αντίθεση με το WiFi που είναι σχεδιασμένο για εφαρμογή σε εσωτερικό χώρο (για το λόγο αυτό έχει περιορισμένη ισχύ εκπομπής και κατ' επέκταση μικρό χώρο κάλυψης), το σύστημα WiMAX καλύπτει τις αντίστοιχες ανάγκες δικτύωσης σε ανοικτούς χώρους. Ιδιαίτερα σε ημιαστικό περιβάλλον, όχι πολύ πυκνοκατοικημένο, η απόδοση του WiMAX φτάνει σε πολύ υψηλά επίπεδα. Στον Πίνακα 11 βλέπουμε την διαφοροποίηση των δύο συστημάτων όσον αφορά την διαχείριση του φάσματος και τις δυνατότητες τους ως προς το πλήθος συνδέσεων που υποστηρίζουν.

**Πίνακας 11: Διαφορές WiFi / WiMAX**

WiFi	WiMAX
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Το εύρος των καναλιών είναι στα 20MHz</li> <li>▪ Η MAC υποστηρίζει την ταυτόχρονη ύπαρξη στο δίκτυο μερικών δεκάδων χρηστών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Το εύρος των καναλιών ποικίλει (είναι στην ευχέρεια του διαχειριστή του συστήματος, για την οργάνωση τομέων με διαφορετικό εύρος καναλιών)</li> <li>▪ Το εύρος των καναλιών μπορεί να είναι από 1,5MHz έως 20MHz. Η MAC λειτουργεί κλιμακωτά ανεξάρτητα από το εύρος των καναλιών</li> <li>▪ Ο σχεδιασμός της MAC είναι τέτοιος ώστε να υποστηρίζει χιλιάδες χρήστες</li> </ul>

Γενικά η δημιουργία του συστήματος WiMAX έγινε με γνώμονα τη στιβαρότητα και την προσαρμογή ενός δικτύου υψηλών επιδόσεων, σε ανοικτό περιβάλλον πλούσιο σε παρεμβολές, θόρυβο και φαινόμενα multipath. Υπάρχει πάντα η δυνατότητα, σε ακραίες συνθήκες, να διατηρείται η ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται σε υψηλό επίπεδο μειώνοντας όμως τους ρυθμούς

μετάδοσης αντίστοιχα. Στον Πίνακα 12 που ακολουθεί παραθέτονται διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά του WiMAX σε αντιστοιχία με το WiFi .

**Πίνακας 12:** Χαρακτηριστικά WiFi / WiMAX

WiFi	WiMAX
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ανταγωνιστικού χαρακτήρα MAC μη εγγυημένο QoS για τους χρήστες</li> <li>▪ Δεν είναι εγγυημένη η μη εισαγωγή καθυστερήσεων, με αντίκτυπο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Video, Voice)</li> <li>▪ Δεν υποστηρίζονται διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών από χρήστη σε χρήστη</li> <li>▪ Αποκλειστικά λειτουργία σε ασύμμετρο TDD</li> <li>▪ Το QoS πηγάζει από την προτεραιότητα των ανταγωνιστικού τύπου συνδέσεων</li> <li>▪ Δεν υπάρχει κάποιο ισχυρό σχήμα κρυπτογράφησης, για την επιβολή ασφάλειας στο δίκτυο</li> <li>▪ Αφορά αποκλειστικά χρήση σε εσωτερικούς χώρους (περιορισμός του προβλήματος ασφάλειας) με πολύ καλή NLOS λειτουργία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Η MAC ακολουθεί μοντέλο Grant/Request για τις συνδέσεις των χρηστών</li> <li>▪ Σχεδιασμός για ιδιαίτερη μεταχείριση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, με εγγυημένη ποιότητα αυτών</li> <li>▪ Διατίθεται διαχωρισμός σε επίπεδα υπηρεσιών (T1 για επιχειρήσεις, best effort για οικιακούς χρήστες)</li> <li>▪ Λειτουργία με όλα τα δυνατά σχήματα (TDD, FDD, HFDD συμμετρικά ή ασύμμετρα)</li> <li>▪ Το QoS επιβάλλεται κεντρικά από το σύστημα</li> <li>▪ Χρησιμοποιούνται μέθοδοι κρυπτογράφησης (Triple-DES 128bit) για δεδομένα, (RSA 1024bit) για ανταλλαγή κλειδών και κωδικών</li> <li>▪ Εφαρμογή σε εξωτερικούς χώρους με πολύ καλή διαχείριση σημάτων μεγάλης καθυστέρησης από μακρινές ανακλάσεις</li> </ul>

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε την ιδιαίτερη επεξεργασία του φάσματος, για να μπορέσει το σύστημα να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους πόρους του. Ενδεικτικά στον Πίνακα 13 βλέπουμε την αντιστοιχία των bit ανα Hz φάσματος, τόσο για το WiMAX όσο και το WiFi.

**Πίνακας 13:** Αντιστοιχία των bit ανα Hz φάσματος

	BW καναλιού	Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	Μέγιστος Ρυθμός bps/Hz
WiFi	20MHz	54 Mbps	~2,7 bps/Hz
WiMAX	10, 20MHz 3,5, 7, 14MHz 3,6MHz	63 Mbps	~4,5 bps/Hz



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] [www.el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο\\_δίκτυο](http://www.el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο_δίκτυο)
- [2] [www.wisegeek.com/what-is-a-network-repeater.htm](http://www.wisegeek.com/what-is-a-network-repeater.htm)
- [3] <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/wi-fi.php>
- [4] <http://www.awmn.net/content.php>
- [5] <http://el.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth.profile>
- [7] <http://www.palowireless.com>
- [8] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) – ασύρματα δίκτυα.
- [9] Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα – William Stallings, σελ 574, σελ 233, σελ 606, σελ 239, σελ 604.
- [10] Wireless Networks – Georgios I. Papadimitriou, Andreas S. Pomportsis, P. Nicopolidis, Mohammed S. Obaidet, σελ 253 – 255.
- [11] Δίκτυα Υπολογιστών – Andrew S. Tanenbaum, σελ 321,σελ 352, σελ 354.
- [12] Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα – William Stallings, σελ 596 - 601.
- [13] IEEE 802.11 Tutorial, Jim Zyren & Al Petrick, [www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org)

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bing Benny, House Artech -High-Speed Wireless ATM and LANs, (2000)
- Haartsen J, Bluetooth- The Universal Radio Interface For Ad-Hoc, Wireless Connectivity, Ericsson Review (1998)
- Haartsen J., Naghshneh M., Inouye J., Joeressen O.J., Allen W. – Bluetooth: Vision, Goals and Architecture, ACM Mobile Computing and Communications Review (1998)
- Johnsson M. , HyperLAN/2- The Broadband Radio Transmission Technology Operating in the 5 GHz Frequency Band, HiperLAN/2 Global Forum (1999)
- Negus K., Stephens A.P., Lansford J.- HomeRF: Wireless Networking for the Connected Home, IEEE Personal Communications (2000)
- Papadimitriou Georgios , Pomportsis Andreas, Nicopolidis P., Obaidet Mohammed- Wireless Networks (2006)
- Stallings William -Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα (2007)
- Tanenbaum Andrew - Δίκτυα Υπολογιστών (2006)
- Taylor L.- HIPERLAN Type 1 Technology Overview, TTP Communicatios Ltd. Revision 0.9 (1999)
- Zyren Jim , Petrick AI- IEEE 802.11 Tutorial ([www.wi-fi.org](http://www.wi-fi.org))

## ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- <http://www.hiperlan.com>
- <http://www.hiperlan2.com>
- <http://www.etsi.org>
- <http://www.bluetooth.com>
- <http://www.homerf.org>
- <http://www.wimaxforum.org>
- <http://www.wimax.com>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
- <http://standards.ieee.org/getieee802/802.16.html>
- <http://ieee802.org>
- [www.techteam.gr/wiki/WiMAX](http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX)
- <http://www.wimax-industry.com>