

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



“Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Υπολογιστών”

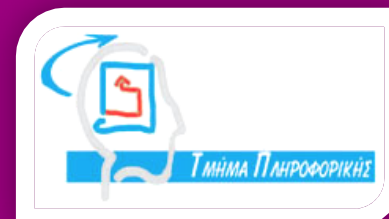


Διαπούλη Μαρία

Επιβλέπων καθηγητής: Βίτσας Βασίλειος

Θεσσαλονίκη

2011



Εισαγωγή

Η ραγδαία εξάπλωση του διαδικτύου (Internet) και των πολυμεσικών εφαρμογών που στηρίζονται σε αυτό, καθώς και η συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών για αδιάλειπτη πρόσβαση σε τέτοιες εφαρμογές, αποτέλεσαν τους βασικούς παράγοντες δημιουργίας των ασύρματων δικτύων υπολογιστών. Τα ασύρματα δίκτυα παρουσιάζουν σημαντική ευελιξία, δεν χρειάζονται καλώδια για την σύνδεση των τερματικών και η ευελιξία τους καλύπτει ποικίλες ανάγκες δικτύωσης. Με τον όρο ασύρματο δίκτυο καλείτε ένα δίκτυο στο οποίο η επικοινωνία των χρηστών αλλά και των δομικών στοιχείων που το αποτελούν γίνεται πλήρως ή μερικώς χωρίς τη χρήση ενσύρματων μέσων. Τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών, όπως και τα κλασσικά ενσύρματα δίκτυα, απαιτούν την χρήση αξιόπιστων πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων, τα οποία θα εξασφαλίζουν την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των χρηστών ενώ θα παρέχουν ασφάλεια από οποιαδήποτε ενέργεια παραβίασης.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά τις βασικές αρχές λειτουργίας των ασύρματων δικτύων υπολογιστών και αναλύει σε βάθος το πρότυπο IEEE 802.11, το οποίο βρίσκει σήμερα ευρεία εμπορική και τεχνολογική εφαρμογή σε ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών (Wireless Local Area Network – WLAN).

Λέξεις – κλειδιά

Τοπικό Ασύρματο Δίκτυο, WLAN, κινητός κόμβος, σταθμός βάσης, WiFi, WiMAX

Περίληψη

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μία ιστορική ανάδρομη στα ασύρματα δίκτυα, ενώ παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ασυρμάτων δικτύων αλλά και οι τομείς εφαρμογών τους. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι κατηγορίες των ασύρματων δικτύων που είναι οι εξής: τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα και τέλος τα ασύρματα δίκτυα ευρείας κλίμακας. Στο κεφάλαιο 3 εξετάζονται τα δομικά στοιχεία και οι απαιτήσεις ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το πρότυπο IEEE 802.11 οι τοπολογίες δικτύων 802.11 και οι υπηρεσίες που προσφέρει. Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται σε βάθος το υπόστρωμα πρόσβασης (MAC) του IEEE 802.11, και παρουσιάζει τον μηχανισμό πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιείται. Τέλος στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζει αναλυτικά το Φυσικό Επίπεδο του πρωτοκόλλου IEEE 802.11, παρουσιάζοντας τις τεχνικές διάχυτου φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας και άμεσης ακολουθίας. Εν κατακλείδι παρουσιάζεται η τεχνική μετάδοσης δεδομένων από δίκτυα που βασίζονται στο IEEE 802.11 με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Abstract

In Chapter 1 we present not only the historical overview on wireless networks, the advantages and disadvantages of wireless networks but also the sectors of implementation. After that in chapter 2 we describe the categories of wireless networks which are: the Wireless Personal Area Networks or WPANs, the Wireless Local Area Networks or WLANs, the Wireless Metropolitan Area Networks or WMANs and finally the Wireless Wide Area Networks or WWANs. In Chapter 3 we examine the building details and requirements of a wireless LAN. In Chapter 4 we present the standard IEEE 802.11, its network topologies and the services which are offered. In Chapter 5 we analyze in depth the Medium Access Control (MAC) Layer of IEEE 802.11, and we present the multiple access mechanism which is used. Lastly, in Chapter 6 we describe the Physical Layer of IEEE 802.11, presenting the Spread Spectrum techniques by Frequency Hopping or by Direct Sequence. In conclusion, the Infrared (IR) physical layer is indicated.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Βασίλειο Βίτσα για την σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την συγγραφή της εργασίας αυτής. Επίσης, ευχαριστώ την οικογένεια μου που μου συμπαραστάθηκε και μου έδωσε την ώθηση ώστε να ολοκληρώσω την πτυχιακή εργασία. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και τις φίλες μου που μοιραστήκαμε μαζί τους τις πιο έντονες και όμορφες στιγμές των φοιτητικών μας χρόνων.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ασύρματα τοπικά δίκτυα	10
1.1 Εισαγωγή	10
1.2 Ιστορική Εξέλιξη	10
1.3 Πλεονεκτήματα Ασύρματων δικτύων	12
1.4 Μειονεκτήματα Ασύρματων δικτύων	13
1.5 Εφαρμογές ασυρμάτων τοπικών δικτύων	14
1.6 Αναφορές - Κεφάλαιο 1	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ασύρματα δίκτυα δεδομένων	17
2.1 Ασύρματα δίκτυα Wireless Personal Area Networks (WPANs)	17
2.1.1 Bluetooth	18
2.1.1.1 Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας	18
2.1.1.2 Προδιαγραφές του Bluetooth	19
2.1.1.3 Αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Bluetooth	21
2.1.2 Infrared Data Association's (IrDA) Serial Infrared (SIR) data AND Advanced infrared (Air)	24
2.1.2.1 IrDA Advanced Infrared (Air) MAC protocol	26
2.2 Ασύρματα δίκτυα Wireless Local Area Networks (WLANs)	28
2.2.1 IEEE 802.11	28
2.2.2 HiperLAN	26
2.2.3 OpenAir	29
2.2.4 HomeRF SWAP	29
2.3 Ασύρματα δίκτυα Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs)	31
2.3.1 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του WiMAX	33
2.3.2 WiMAX vs. Wi-Fi	37
2.4 Ασύρματα δίκτυα Wireless Wide Area Networks (WWANs)	39
2.4.1 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) - MobileFi - 802.20	40
2.4.1.1 Παροχές κα υπηρεσίες του 802.20	41
2.4.1.2 Το μέλλον του Mobile-Fi	42
2.5 Αναφορές - Κεφάλαιο 2	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Δομικά στοιχεία και απαιτήσεις ενός ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN)	45

3.1	Δομικά στοιχεία ενός ασύρματου δικτύου	45
3.1.1	Συσκευές χρηστών (End users devices)	45
3.1.2	Λογισμικό δικτύου	45
3.1.3	Ασύρματες κάρτες δικτύου (Wireless Network Interface Card)	46
3.1.4	Ασύρματες τοπικές γέφυρες (Wireless Local Bridges).....	47
3.1.5	Κεραίες (Antennas)	48
3.1.5.1	Κατευθυντική κεραία	50
3.1.5.2	Πολυκατευθυντική κεραία	51
3.2	Απαιτήσεις ασύρματων τοπικών δικτύων	52
3.3	Αναφορές - Κεφάλαιο 3	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η οικογένεια των προτύπων 802.11		58
4.1.	Διαλειτουργικότητα συσκευών	58
4.2.	Βασικά στοιχεία ασύρματων τοπικών δικτύων IEEE 802.11	59
4.3.	Τοπολογίες δικτύων 802.11	60
4.3.1	Βασική υπηρεσιακή περιοχή (Basic Service Area)	60
4.3.1.1.	Ανεξάρτητα δίκτυα (Independent Networks)	61
4.3.1.2.	Δομημένα δίκτυα (Infrastructure Networks)	61
4.3.2	Εκτεταμένη υπηρεσιακή περιοχή (Extended Service Area)	63
4.4	Υπηρεσίες του IEEE 802.11	64
4.4.1.	Υπηρεσίες σταθμών	65
4.4.2.	Υπηρεσίες συστημάτων διανομής	67
4.5.	Οικογένειες πρωτοκόλλων 802.11	68
4.6	Αναφορές - Κεφάλαιο 4	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Το υπόστρωμα MAC του IEEE 802.11		75
5.1	Αξιόπιστη παράδοση δεδομένων	75
5.2	Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο	76
5.2.1.	Χρονικά διαστήματα πρόσβασης (Interframe Spacing).....	76
5.2.2.	Ανίχνευση τυχόν υπάρχουσας μετάδοσης στο κανάλι - Μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος.....	78
5.2.3.	Κατανεμημένη λειτουργία συντονισμού (Distributed Coordination Function - DCF).....	81
5.2.3.1.	Βασικής πρόσβασης (Basic Access)	82
5.2.3.2.	Εντοπισμός και διόρθωση λαθών	83

5.2.3.3. Αλγόριθμος δυαδικής εκθετικής υποχώρησης (Binary Exponential Backoff)	84
5.2.3.4 Λειτουργία Request To Send / Clear To Send (RTS/CTS).....	87
5.2.4. Σημειακή λειτουργία συντονισμού (Point Coordination Function, PCF)	89
5.2.5 Λειτουργία Enhanced DCF (EDCF)	91
5.3 Εξοικονόμηση ενέργειας.....	94
5.4 Πλαίσιο MAC.....	95
5.5 Αναφορές - Κεφάλαιο 5	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Φυσικό στρώμα του IEEE 802.11.....	103
6.1 Εισαγωγή στο φυσικό στρώμα 802.11.....	103
6.1.1 Αρχιτεκτονική φυσικού στρώματος.....	104
6.1.2 Λειτουργίες φυσικού στρώματος.....	105
6.2 Τεχνολογία Spread Spectrum.....	107
6.2.1 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).....	108
6.2.1.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)	108
6.2.1.2 PMD Φυσικού στρώματος	110
6.2.1.2.1 Η τεχνική της διασποράς φάσματος	110
6.2.1.2.2 DSSS Frequency Modulation Function	112
6.2.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS).....	113
6.2.2.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)	113
6.2.2.2 PMD Φυσικού στρώματος	115
6.2.2.2.1 Λειτουργία εναλλαγής συχνοτήτων (Frequency hopping).....	115
6.2.2.2.2 Λειτουργία διαμόρφωσης συχνοτήτων (Frequency Modulation)	117
6.3 Infrared (Υπέρυθρο – IR).....	118
6.3.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP).....	119
6.3.2 PMD	120
6.4 OFDM – Υπόστρωμα PLCP.....	122
6.4.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP).....	124
6.4.2 PMD	125
6.5 Φυσικό στρώμα 802.11b.....	126
6.5.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP).....	126
6.5.2 PMD	128

6.6 Αναφορές - Κεφάλαιο 6	130
---------------------------------	-----

1. Ασύρματα τοπικά δίκτυα

1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει κυριαρχήσει η τάση για φορητότητα, κινητικότητα και συνεχή σμίκρυνση των συσκευών με σκοπό την ευκολότερη μεταφορά τους. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα, οι παραδοσιακές ενσύρματες τεχνολογίες δικτύωσης, να αποδεικνύονται ανεπαρκείς για το νέο τρόπο ζωής του ανθρώπου. Οι ενσύρματες επικοινωνίες μειονεκτούν ως προς το ότι δέσμευαν τόσο τον πομπό όσο και το δέκτη εντός μιας μικρής περιοχής όπου μπορούσαν να κινούνται και απαιτούσαν σημαντική τεχνική υποδομή καθώς τα δύο άκρα της επικοινωνίας έπρεπε να συνδέονται ενσύρματα ανεξάρτητα από την απόστασή τους. Την λύση στο πρόβλημα της δικτύωσης, δίνουν οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης, που καταργούν τα καλώδια και δίνουν μεγάλο βαθμό ελευθερίας στους χρήστες τους.

Το ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN) είναι ένα μοιραζόμενο μέσο επικοινωνίας που διαβιβάζει πληροφορίες μέσα από ασύρματες διασυνδέσεις, για όλους τους ασύρματους σταθμούς που βρίσκονται στην εμβέλεια μετάδοσής του. Στις ασύρματες διασυνδέσεις η πληροφορία μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητα που εξαρτάται κάθε φορά από το ρυθμό μετάδοσης που απαιτείται να έχει το δίκτυο.

1.2 Ιστορική Εξέλιξη

Η πρώτη εμφάνιση ασύρματου δικτύου ξεκίνησε το 1971 σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα του Πανεπιστημίου της Χαβάης το οποίο ονομάστηκε ALOHANET. Το ALOHANET έδωσε την δυνατότητα σε 7 πανεπιστήμια που βρίσκονταν σε 4 διαφορετικά νησιά να επικοινωνούν μεταξύ τους συνδεδεμένα σε μία τοπολογία αστέρα. Όλες οι επικοινωνίες μεταξύ των πανεπιστημίων πραγματοποιούνταν μέσω ενός κεντρικού υπολογιστή χωρίς την χρησιμοποίηση των συμβατικών τηλεφωνικών καλωδίων, αλλά με τη βοήθεια ραδιοκυμάτων.

Αργότερα, το 1985 στην Αμερική, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (Federal Communications Commission, FCC) η οποία καθορίζει το εύρος συχνοτήτων που θα χρησιμοποιείται για κάθε τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή, εξουσιοδότησε την δημόσια χρήση του φάσματος συχνοτήτων (ISM bands) που περιλαμβάνει τις συχνότητες:

- 902 – 928 MHz
- 2.400 - 2.483 GHz
- 5,725 - 5,875 GHz

Η κίνηση αυτή της FCC έδωσε τεράστια ώθηση στην αγορά των ασυρμάτων δικτύων γιατί στις περισσότερες χώρες του κόσμου δεν απαιτείται καμία ειδική άδεια για την εκπομπή στην περιοχή των ISM ζωνών. Έτσι πολλοί κατασκευαστές ασχολήθηκαν με την μαζική παράγωγή ασύρματων προϊόντων που οδήγησε σε μία ουσιαστική ανάπτυξη των WLANs. Ωστόσο, η έλλειψη προτύπων διαίρεσε την αγορά σε ασύμβατα τμήματα λόγω της εμφάνισης πολλών ανεξαρτήτων λύσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη για προτυποποίηση στο χώρο των WLANs.

Το 1997 η IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), η οποία είχε αναλάβει την προτυποποίηση των τοπικών δικτύων (LAN) μέσω της ομάδας 802, δημοσίευσε το 802.11 ένα πρότυπο το οποίο σχεδιάστηκε αρχικά να παρέχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 2Mbps στην ζώνη των 902MHz .Το γεγονός αυτό δημιούργησε πολλά προβλήματα γιατί η ζώνη των 902MHz χρησιμοποιείτο και από άλλες συσκευές όπως για παράδειγμα από ασύρματα τηλέφωνα.

Δύο χρόνια αργότερα, το 1999 η IEEE παρουσίασε δύο πρότυπα του πρωτοκόλλου 802.11, τα 802.11a και 802.11b με σκοπό να αυξήσει την απόδοση των ασύρματων δικτύων. Το πρωτόκολλο 802.11b λειτουργεί στην συχνότητα των 2.4GHz με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης τα 11Mbps, ενώ το 801.11a λειτουργεί στη ζώνη των 5GHz και στοχεύει στην παροχή ακόμα υψηλότερων ταχυτήτων από 20 μέχρι 54Mbps. Η αποδοχή του 802.11b ήταν σχεδόν καθολική από τους κατασκευαστές και έτσι η συντριπτική πλειοψηφία των ασύρματων δικτύων που λειτουργούν σήμερα χρησιμοποιεί αυτό το πρότυπο. [6,1]

1.3 Πλεονεκτήματα Ασύρματων δικτύων

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων είναι τα εξής:

Κινητικότητα: Η κινητικότητα είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων. Τα WLAN μπορούν να παρέχουν την δυνατότητα στους χρήστες για πρόσβαση σε πληροφορίες ενώ βρίσκονται εν κίνηση εντός της εμβέλειάς τους. Αυτή η ευχέρεια στην κίνηση υποστηρίζει την παραγωγικότητα και τις ευκαιρίες για εξυπηρέτηση, οι οποίες δεν είναι δυνατές με τα ενσύρματα δίκτυα.

Κόστος εγκατάστασης: Ενώ η αρχική επένδυση που απαιτείται για τον εξοπλισμό σε ένα WLAN μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να είναι υψηλότερη από το αντίστοιχο κόστος για μια ενσύρματη σύνδεση, το συνολικό κόστος λειτουργίας μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο, καθώς τα μακροπρόθεσμα κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου απαιτούνται πολύ συχνές μετακινήσεις και αλλαγές. Σε άλλες περιπτώσεις είναι εξαιρετικά δύσκολο και χρονοβόρο να τοποθετηθούν καλώδια όπως για παράδειγμα σε ένα κτίριο πολλών ορόφων.

Αυξημένη αξιοπιστία: Η απουσία καλωδιώσεων προσφέρει υψηλή αξιοπιστία στα ασύρματα δίκτυα. Φαινόμενα όπως οι ανακλάσεις σήματος που οφείλονται στον ατελή τερματισμό των καλωδίων και οδηγούν σε σφάλματα μετάδοσης, η διάβρωση που προκαλείται από το περιβάλλον και κυρίως την υγρασία αλλά και η κατάρρευση ολόκληρου ή μέρους του δικτύου από την καταστροφή του καλωδίου απουσιάζουν εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του ασύρματου δικτύου.

Ευελιξία: Η δυνατότητα αλλαγής της τοπολογίας ενός WLAN που περιλαμβάνει την προσθήκη / αφαίρεση νέων κόμβων η και την αλλαγή της θέσης τους είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Για παράδειγμα εταιρίες που αναδιοργανώνονται συνεχώς με αποτέλεσμα να μετακινούνται σε νέα γραφεία, ορόφους ακόμα και κτίρια. Η ευκολία προσαρμογής του ασύρματου δικτύου στις απαιτήσεις αυτές προκαλεί σημαντική και μακροχρόνια εξοικονόμηση χρημάτων.

Επιπλέον, η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης μας δίνει τη δυνατότητα να εγκαταστήσουμε δίκτυα σε σημεία ή περιοχές που η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων είναι δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη. Μια ακόμα εφαρμογή των

ασύρματων δικτύων είναι η δημιουργία hot spots, δηλαδή ασύρματη κάλυψη δημόσιων ή πολύ εκτεταμένων χώρων με μεγάλη πυκνότητα χρηστών. Τέτοιοι χώροι είναι τα αεροδρόμια, τα λιμάνια, οι καφετέριες, ακόμα και οι πλατείες των πόλεων. Σε τέτοιους χώρους η μαζική παροχή υπηρεσιών δικτύωσης με ενσύρματες τεχνολογίες θα ήταν αδύνατη.

1.4 Μειονεκτήματα Ασύρματων δικτύων

Εκτός από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ασύρματα δίκτυα έχουν και σημαντικούς περιορισμούς. Οι βασικότεροι περιορισμοί είναι:

Διεκπεραιότητα (Throughput): Ο σημαντικότερος περιορισμός των ασύρματων δικτύων είναι η διέλευση, η οποία μπορεί θεωρητικά να προσεγγίζει αυτή των ενσύρματων δικτύων αλλά τα πράγματα στην πράξη είναι διαφορετικά. Αν και έχει παρατηρηθεί αρκετά μεγάλη αύξηση των ρυθμών μετάδοσης, η διαφορά είναι ακόμα μεγάλη. Το πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο του ασυρμάτου δικτύου πρέπει να φροντίζει για την επίτευξη μέγιστης διέλευσης στο δίκτυο. Η μειωμένη διέλευση των ασύρματων δικτύων οφείλεται σε φαινόμενα που παρουσιάζονται κατά την ασύρματη διάδοση :

- Εξασθένιση σήματος (Path loss): Η εξασθένιση σήματος καθορίζει την εξάρτηση του λαμβανόμενου σήματος από την απόσταση πομπού-δέκτη. Η εξασθένιση σήματος εξαρτάται από την συχνότητα μετάδοσης και αυξάνει εκθετικά όσο μεγαλώνει η απόσταση πομπού και δέκτη .
- Multipath propagation (πολυδιαδρομική διάδοση): Η παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών είναι το φαινόμενο όπου τα μεταδιδόμενα σήματα μπορούν να συνδυαστούν με τα ανακλώμενα από διάφορες επιφάνειες ή εμπόδια με αποτέλεσμα την φθορά ή καταστροφή του σήματος που ανιχνεύεται από τον δέκτη.
- Παρεμβολές: Τα ασύρματα δίκτυα υποφέρουν από παρεμβολές όχι μόνο από τον θόρυβο της ατμόσφαιρας αλλά και από τα γειτονικά WLANs που κάνουν χρήση του ίδιου φάσματος.

Ασφάλεια επικοινωνιών: Σε ένα ασύρματο δίκτυο τα δεδομένα είναι εύκολο να υποκλαπούν από οποιονδήποτε, αρκεί να διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό και πρόσβαση στην περιοχή κάλυψης του δικτύου. Το γεγονός αυτό αναγκάζει τους σχεδιαστές πρωτοκόλλων να θωρακίζουν τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιώντας κάποια μέθοδος κρυπτογράφησης των εκπεμπόμενων δεδομένων, κάτι που αυξάνει το κόστος και μειώνει την επίδοση του δικτύου.

Ασφάλεια και προστασία χρηστών: Η ασφάλεια των χρηστών κατά τη χρήση κάθε είδους ασύρματων συσκευών είναι ένα θέμα που μελετάται διαρκώς. Για παράδειγμα, τα WLAN που χρησιμοποιούν την τεχνική μετάδοσης με υπέρυθρες ακτίνες, θα πρέπει να περιορίσουν την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος στο ανώτερο όριο των 2 Watts, για να αποφευχθούν οφθαλμολογικά προβλήματα.

Συμβατότητα: Σημαντικά προβλήματα δημιουργούνται μεταξύ καρτών διαφορετικών κατασκευαστών προβλήματα που εμμέσως συντηρούνται από τις ίδιες τις εταιρίες με προφανή σκοπό να εξαναγκασμό των χρηστών να αγοράζουν προϊόντα της ίδιας εταιρίας.

Κατανάλωση ισχύος: Για να εκμεταλλευτούν οι χρήστες την κινητικότητα που τους προσφέρει το ασύρματο δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιούν κινητούς σταθμούς (mobile stations). Αυτοί λειτουργούν με μπαταρίες που έχουν καθορισμένη διάρκεια ζωής και γι αυτό πολλές φορές απαιτείται η αντικατάστασή τους.

Προβλήματα τοπολογίας: Το πρόβλημα του κρυμμένου και εκτεθειμένου σταθμού που αναπτύσσονται στην συνέχεια στο κεφάλαιο 5. [2,3,4,5,6]

1.5 Εφαρμογές ασυρμάτων τοπικών δικτύων

Τα ασύρματα δίκτυα έχουν σήμερα τέσσερις βασικούς τομείς εφαρμογών:

- **Επέκταση των ενσύρματων LAN:** Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των χρηστών με το βασικό κορμό (backbone) του ενσύρματου δικτύου έτσι ώστε να προσφέρουν μία ευέλικτη επέκταση της

υπάρχουσας δικτυακής υποδομής. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων είναι οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι αποθήκες εμπορευμάτων και άλλα. Έτσι δεν απαιτείται η ύπαρξη καλωδίωσης μέχρι τον τελικό χρήστη, που μπορεί να είναι δύσκολο και οικονομικά ασύμφορο να εγκατασταθεί.

- Διασύνδεση κτιρίων: Με την τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων μπορούν να κατασκευαστούν ζεύξεις μεταξύ γειτονικών κτιρίων. Οι συσκευές που συνδέονται στα δύο άκρα της ζεύξης είναι συνήθως δρομολογητές (routers) ή γέφυρες (bridges).

- Σποραδική πρόσβαση στο δίκτυο: Ασύρματα δίκτυα μπορούν να εγκατασταθούν σε χώρους όπου κινούνται διάφοροι χρήστες ελεύθερα, όπως σε βιβλιοθήκες και πανεπιστήμια όπου οι φοιτητές μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω laptops στο ενσύρματο πανεπιστημιακό δίκτυο.

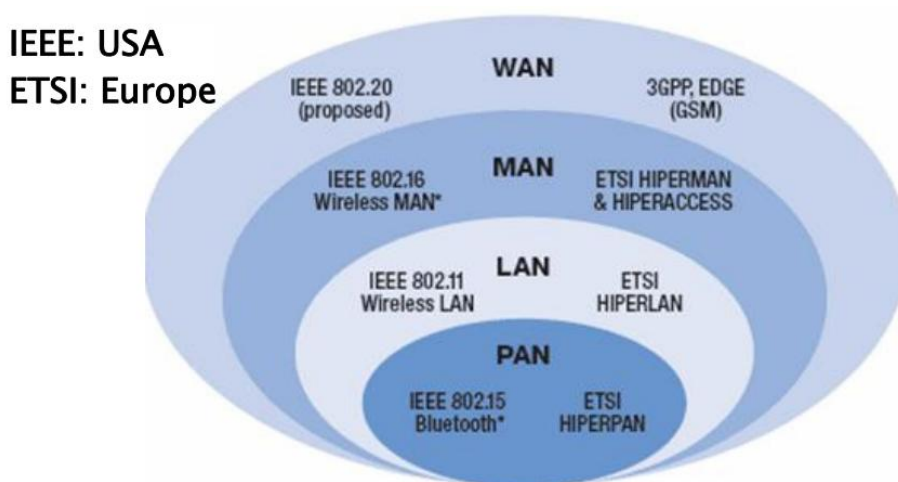
- Απευθείας δικτύωση κινητών συσκευών (δημιουργία Ad -Hoc δικτύων): Τα δίκτυα ad-hoc είναι αποκεντρωμένα peer to peer δίκτυα, που συνήθως δημιουργούνται για να ικανοποιήσουν άμεσα μία συγκεκριμένη ανάγκη. Το δίκτυο ad hoc καταργείται αυτόματα αφού αποσυνδεθούν όλοι οι χρήστες από αυτό ή όταν το άτομο που το δημιούργησε αποσυνδεθεί και δεν είναι πλέον προσβάσιμο στους άλλους χρήστες του δικτύου. Τέτοια δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα σε συνεδριακούς χώρους ή σε αίθουσες διδασκαλίας, οπότε οι συμμετέχοντες μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω του προσωρινού ασυρμάτου δικτύου, κατά την διάρκεια της συνεδρίασης ή της διδασκαλίας. [5,1]

Αναφορές - Κεφάλαιο 1

1. P.Nicopolidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, “Ασύρματα δίκτυα”, Κλειδάριθμος, 2006
2. Αλεξιάδης Παναγιώτης, Ηλιάδης Ισαάκ, “Ασύρματα δίκτυα 802.11”, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Πτυχιακή εργασία, 2004
3. Σωτήριος Λεβέντης, “Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, Διπλωματική Εργασία, 2006
4. Γαβριλάκη Π. Κατερίνα, “Επιθέσεις και τεχνικές προστασίας σε ένα Wireless Network 802.11”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, Πτυχιακή Εργασία, 2009
5. Αμπατζής Π. Χρήστος, Γουλιέλμος Γ. Αλέξανδρος, “Ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11 (WLANs) και εξομοίωση επίδοσης τους σε διαφορετικές τοπολογίες”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2005
6. Σκουλούδης Ανδρέας, “Κατασκευή λογισμικού διαχείρισης Ασυρμάτου δικτύου Wireless Network Management System”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2004

2. ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι τεχνολογίες των ασύρματων δικτύων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, με βασικό κριτήριο την απόσταση της ασύρματης συσκευής από το σταθμό βάσης, δηλαδή το σημείο πρόσβασης (access point). Πρόκειται για τα προσωπικά ασύρματα δίκτυα μικρής εμβέλειας (Wireless Personal Area Network ή WPAN), όπου κύριος εκπρόσωπος είναι η τεχνολογία Bluetooth, τα τοπικά ασύρματα δίκτυα (Wireless LAN ή WLAN), με κυριότερους εκπροσώπους τις τεχνολογίες IEEE 802.11, IEEE 802.11b (Wi-Fi), IEEE 802.11a, HyperLAN/2 (Wi-Fi5) και HomeRF, τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN) όπου κυριαρχεί η τεχνολογία WiMAX και τέλος τα ασύρματα δίκτυα ευρείας κλίμακας (Wireless WAN ή WWAN), με κυριότερο εκπρόσωπο την τεχνολογία Mobile-Fi όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.1. [1,2]



Σχήμα 2.1: Ασύρματα Δίκτυα Δεδομένων

2.1 Ασύρματα Δίκτυα Wireless Personal Area Networks (WPANs)

Με τον όρο WPANs (Wireless Personal Area Networks) ονομάζουμε τα δίκτυα μικρής έως πολύ μικρής ακτίνας, έως μερικών μέτρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών. Οι δυο βασικότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας ασύρματων δικτύων δεδομένων είναι το γνωστό Bluetooth και η τεχνολογία υπερύθρων IrDA.

Τα δίκτυα Wireless Body Area Network (WBAN) έχουν ως χαρακτηριστικό γνώρισμα ακτίνα μερικών εκατοστών. Το WBAN είναι ένα δίκτυο στην περιοχή του ανθρώπινου σώματος το οποίο περιλαμβάνει κόμβους σε διάφορα μέρη του σώματος οι οποίοι αποτελούνται από κυκλώματα αισθητήρων και ένα σύνολο πομποδεκτών RF, στα οποία συμβαίνει ενσωματωμένη επεξεργασία σήματος. Με άλλα λόγια ένα WBAN αποτελείται από αισθητήρες που εμφυτεύονται στο ανθρώπινο σώμα με σκοπό την παρακολούθηση παραμέτρων που αφορούν την υγεία του ανθρώπινου σώματος. Ένα WBAN έχει πολλές ιατρικές εφαρμογές προσφέροντας στους ασθενείς μεγαλύτερη κινητικότητα και άνεση αφού δεν είναι αναγκασμένοι να είναι συνδεδεμένοι με τον ιατρικό εξοπλισμό και επιπλέον μειώνετε το κόστος καθώς επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο πολλών ασθενών ταυτόχρονα.

2.1.1 Bluetooth

Η Bluetooth τεχνολογία αναπτύσσεται από μία ομάδα, γνωστή με το όνομα «Bluetooth Special Interest Group» (Bluetooth SIG, Inc), το Μάιο του 1998. Τα ιδρυτικά μέλη ήταν οι εταιρείες Ericsson, Nokia, Intel, IBM και Toshiba. Έκτοτε, σχεδόν όλες οι μεγάλες εταιρείες της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών, όπως για παράδειγμα οι 3Com, Microsoft και Motorola, προσχώρησαν στο Bluetooth SIG. Το πρότυπο που προέκυψε υιοθετήθηκε από την IEEE ως το πρότυπο 802.15 για WPAN.

2.1.1.1 Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας:

1. Είναι ασύρματη και αυτόματη. Δε χρειάζονται καλώδια, μετατροπείς και συνδέσεις. Οι συσκευές αυτό-αναγνωρίζονται και επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη βοήθεια του χρήστη, παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, π.χ. για την πληκτρολόγηση κωδικού πρόσβασης.
2. Το κόστος κατασκευής του κυκλώματος είναι χαμηλό. Οικονομικοί αναλυτές υπολογίζουν την τιμή του μικροκυκλώματος στα 15-20,-€ και μελλοντικά στα 5,-€.

3. Η τεχνολογία ελέγχει τη μετάδοση δεδομένων και φωνής. Οι εφαρμογές μπορούν να διαχειριστούν τόσο τη μετάδοση δεδομένων όσο και τη μετάδοση φωνής. Συνομιλία με handsfree μέσω φορητού υπολογιστή και ηχογράφηση.
4. Η ζεύξη είναι αμφίδρομη και περνά μέσα από τείχους ενώ η αναπήδηση συχνότητας (frequency hopping), ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο παρεμβολών στην επικοινωνία. [4]

2.1.1.2 Προδιαγραφές του Bluetooth

Οι προδιαγραφές του Bluetooth χωρίζονται σε δύο μέρη:

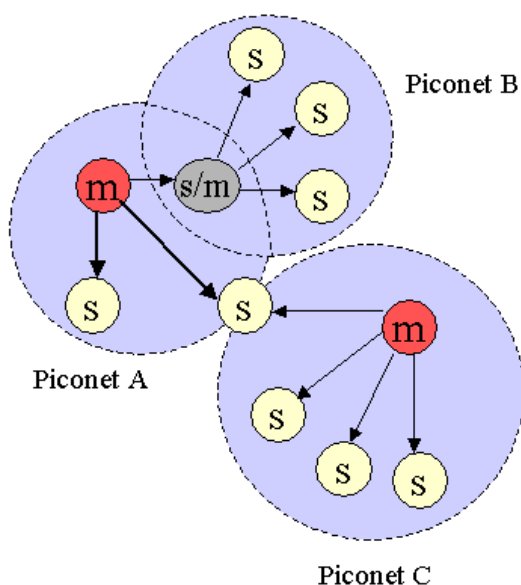
- Προδιαγραφές πυρήνα (core specifications): Αυτό το τμήμα περιγράφει τις λεπτομέρειες των διαφόρων στρωμάτων της αρχιτεκτονικής του πρωτοκόλλου 802.15 και καθορίζει στοιχεία όπως τη συχνότητα, τον τρόπο πρόσβασης στο μέσο, την συντήρηση της σύνδεσης, το επίπεδο μεταφοράς και την λειτουργία με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας.
- Προδιαγραφές προφίλ (profile specifications): Το τμήμα αυτό καθορίζει τα πρωτόκολλα και τις διεργασίες που απαιτούνται για την υποστήριξη διαφόρων εφαρμογών. Οι προδιαγραφές προφίλ ανήκουν σε μία από τις δύο κατηγορίες, αντικατάσταση καλωδίων ή ασύρματες ακουστικές συχνότητες. Τα προφίλ αντικατάστασης καλωδίων αποτελούν την λογική σύνδεση κοντινών μεταξύ τους συσκευών με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων. Για παράδειγμα, όταν δύο συσκευές εισέρχονται η μία μέσα στην εμβέλεια της άλλης μπορούν αυτόματα να αναζητήσουν η μία στην άλλη ένα κοινό προφίλ. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να πραγματοποιηθεί μία αυτόματα ανταλλαγή δεδομένων. Από την άλλη τα προφίλ ασύρματων ακουστικών συχνοτήτων ασχολούνται με την αποκατάσταση συνδέσεων φωνής μικρής εμβέλειας.

Το Bluetooth χρησιμοποιεί την ζώνη συχνοτήτων των 2.4 GHz μέσα στην ζώνη ISM, που είναι παγκοσμίως διαθέσιμη για χρήση χωρίς άδεια. Συνολικά

καθορίζονται 79 φυσικά κανάλια πλάτους 1MHz. Ο θεωρητικά μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 1 Mbps σε απόσταση δύο συσκευών Bluetooth 10 μέτρων η μία από την άλλη, ο οποίος όμως περιορίζεται σε 721 Kbps, εξαιτίας της χρήσης κώδικα διόρθωσης λαθών τύπου FEC (Forward Error Correction). Με την βοήθεια μιας Time Division Duplex (TTD) τεχνικής χωρίζεται το κάθε κανάλι σε slots διάρκειας 625μs και δεδομένου του ρυθμού μετάδοσης κάθε slot περιέχει 625 bits. Η μετάδοση στο Bluetooth γίνεται σε πακέτα των 1, 3 ή 5 slots. Κάθε πακέτο μεταδίδεται σε μια διαφορετική hop frequency, συχνότητα με την χρήση της frequency-hopping, spread spectrum (FHSS) τεχνικής. Η μέγιστη ταχύτητα αλλαγής συχνοτήτων (frequency hopping rate) είναι 1600hops/s και είναι ιδιαίτερα υψηλή για την αποφυγή παρεμβολής από άλλες συσκευές.

Το Bluetooth είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί σε ένα περιβάλλον με πολλούς χρήστες. Σε ένα μικρό δίκτυο που ονομάζεται piconet μπορούν να επικοινωνήσουν μέχρι οκτώ συσκευές. Κάθε piconet αποτελείται από μία κύρια (master) συσκευή και από μία έως επτά δευτερεύουσες (slave). Ο Master πραγματοποιεί τον καθορισμό του καναλιού, δηλαδή την ακολουθία αναπήδησης συχνότητας και τον καθορισμό της φάσης, δηλαδή το ποτέ πρέπει να εκπέμψει χαρακτηριστικά που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν από τις συσκευές που ανήκουν στο ίδιο piconet. Επιπλέον ο Master στέλνει περιοδικά ένα poll στους Slaves ρωτώντας τους εάν έχουν πληροφορίες. Ο Slave μόνο όταν λάβει ένα poll είναι σε θέση να μεταδώσει. Συνεπώς ο Master είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της πρόσβασης στο δίκτυο, παρέχοντας υπηρεσίες στους Slaves και επιτρέποντας τους να εξοικονομούν ενέργεια.

Μια Master συσκευή σε ένα piconet μπορεί να έχει το ρόλο Slave σε ένα άλλο (μικτή λειτουργία), μια Slave συσκευή μπορεί να συμμετάσχει σε δύο piconets, αλλά ένα piconet μπορεί να έχει μόνο μία Master. Όταν μια συσκευή λειτουργεί σαν μια γέφυρα μεταξύ δύο piconets τότε δημιουργείται ένα scatternet όπως στο σχήμα 2.2.

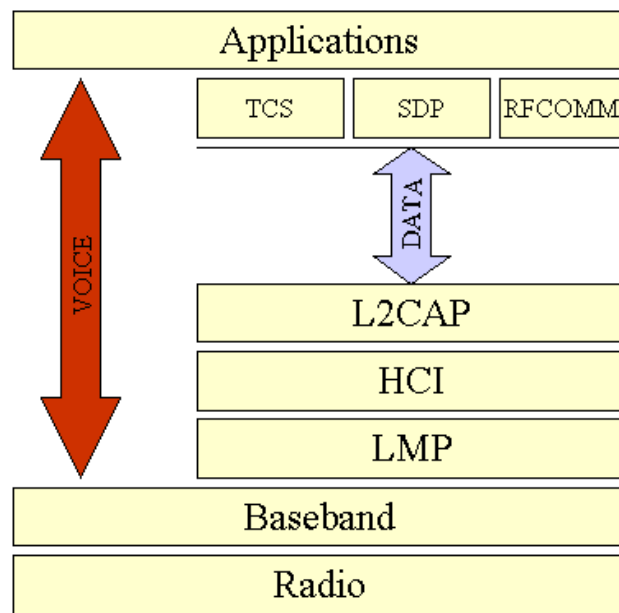


Σχήμα 2.2: Ένα Scatternet αποτελούμενο από τρία piconets, οχτώ slaves, δύο masters και μία συσκευή μικτής λειτουργίας - master/slave.

Οι Slave συσκευές εκτός από active μπορούν να βρίσκονται σε άλλες τρεις καταστάσεις ώστε να καταναλώνουν χαμηλότερη ενέργεια. Αυτές είναι οι sniff με μικρή κατανάλωση ενέργειας, hold με μικρότερη κατανάλωση και park με ελάχιστη κατανάλωση. Στην sniff κατάσταση η συσκευή αποδέχεται δεδομένα από τον Master μόνο σε συγκεκριμένα time slots και τον υπόλοιπο χρόνο «κοιμάται». Στην hold κατάσταση οι συσκευές «ακούν» τον master και γίνονται ενεργές μόνο εάν τους ζητηθεί. Τέλος στην park κατάσταση οι συσκευές παραμένουν συγχρονισμένες στο piconet αλλά δεν απαντούν στα μηνύματα του Master με αποτέλεσμα να μην αναγνωρίζονται πλέον από αυτόν. [1,2,3]

2.1.1.3 Αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Bluetooth

Η επιτροπή Bluetooth SIG έχει δημοσιεύσει τις προδιαγραφές με όλες τις λεπτομέρειες γύρω από το πρωτόκολλο και θέματα συμβατότητας συσκευών.



Σχήμα 2.3: Η αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου.

Η **ασύρματη μονάδα (radio)** είναι η φυσική σύνδεση. Με ένα σύνολο από 79 RF κανάλια και διάρκεια slot 626μs επιτρέπουν την δημιουργία piconets του 1Mbit/s data rate. Εάν η ισχύς μετάδοσης είναι κοντά στα 100mW τότε οι συσκευές μπορούν να βρίσκονται σε απόσταση έως 10 μέτρα. Με ανάλογη αύξηση ενέργειας μπορούμε να επιτύχουμε αποστάσεις έως και 100 μέτρα. Η τεχνολογία Bluetooth μπορεί να υποστηρίξει την μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής.

Η **μονάδα ελέγχου ζεύξης (Baseband)** είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο, την αποστολή και λήψη πακέτων δεδομένων μέσω της ασύρματης ζεύξης. Πιο συγκεκριμένα παρέχει κανάλια αναμετάδοσης για δεδομένα τύπου:

- **Asynchronous-Connectionless Link (ACL)**: Είναι μία ζεύξη με μία point-to-multipoint σύνδεση, με μέγιστο ρυθμό δεδομένων με 723.3 Kbps και μια σύνδεση επιστροφής 57.6 Kbps.
- **Synchronous Connection-Oriented Link (SCO)**: Είναι μία ζεύξη έως τρεις point-to-point συνδέσεις κυρίως για μετάδοση φωνής με 64Kbps η κάθε μία σε κάθε κατεύθυνση.

Τα πακέτα ACL επανεκπέμπονται ενώ τα πακέτα SCO δεν επανεκπέμπονται.

Η **διεύθυνση ζεύξης LMP** (Link Manager Protocol) δημιουργεί μία σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών και καθορίζει το μέγεθος πακέτου μετάδοσης, τις υπηρεσίες ασφάλειας και τη διαχείριση των κλειδιών κρυπτογράφησης που θα χρησιμοποιηθούν.

Η **διαχείριση ζεύξης HCI** (Host Controller Interface) βρίσκεται μεταξύ του Baseband και του L2CAP και είναι η διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στο λογισμικό και το υλικό, η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία των διεργασιών λογισμικού του L2CAP με τις διεργασίες του LMP και των άλλων ελεγκτών του υλικού (hardware). Επιπλέον, είναι προαιρετικό επίπεδο, μπορεί να προσπελαστεί από υποστηριζόμενα πρωτόκολλα.

Οι **Λειτουργίες λογισμικού L2CAP** (Logical Link Control and Adaptation Protocol) ενθυλακώνουν τα πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου για τη μετάδοσή τους μέσω του Baseband. Δέχονται εντολές και δεδομένα εφαρμογών από τα ανώτερα επίπεδα. Με την κατάλληλη επεξεργασία και διερμηνεία, μεταφέρονται στα κατώτερα. Παράμετροι υπηρεσιών ποιότητας (QoS) ανταλλάσσονται σε αυτό το επίπεδο.

SDP (Service Discovery Protocol) χρησιμοποιείται από τις συσκευές τεχνολογίας Bluetooth για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τους τύπους συσκευών, υπηρεσίες και προδιαγραφές υπηρεσιών που βρίσκονται στην εμβέλεια τους, ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία συνδέσεων μεταξύ αυτών.

Τέλος υποστηρίζονται πρωτόκολλα όπως το RFCOMM για ασύρματη επικοινωνία και το Telephony Control Protocol Specification (TCS) για τον έλεγχο κλήσεων. [3, 4]

2.1.2 INFRARED DATA ASSOCIATION'S (IrDA) SERIAL INFRARED (SIR) DATA AND ADVANCED INFRARED (Air)

Ο IrDA (Infrared Data Association) ιδρύθηκε το 1993 ως μη κερδοσκοπικός οργανισμός που δημιουργήθηκε για να καθορίσει και να υποστηρίξει hardware και software standards για τη μετάδοση δεδομένων μέσω υπέρυθρων ακτινών. Η επιτροπή αυτή σκοπό έχει να επιτρέψει την παγκόσμια σύνδεση μεταξύ των συσκευών κάθε τύπου. [2,5]

Η υπέρυθρη επικοινωνία IrDA είναι μια χαμηλού κόστους και ευρέως διαδεδομένη ως μικρής έκτασης ασύρματη τεχνολογία που επιτρέπει τις συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους. Η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν είναι ορατή στο ανθρώπινο μάτι ενώ βασίζεται σε τεχνολογία ανάλογη με το τηλεχειριστήριο για παράδειγμα της τηλεόρασης ή άλλης συσκευής που χρησιμοποιούμε στα σπίτια μας.

Η IR προσφέρει ένα βολικό, φθινό και αξιόπιστο τρόπο να συνδέσουμε υπολογιστές και περιφερειακά συστήματα χωρίς τη χρήση καλωδίων. Το IrDA SIR Specification χωρίζεται σε τρία μέρη: IrDA Data, IrDA Control και IrDA PC99. Το κάθε ένα απευθύνεται σε διαφορετικό είδος εφαρμογών ανάλογα με τις συσκευές που πρόκειται να διασυνδέσει οι οποίες έχουν οπτική επαφή. Το IrDA PC99 συνδέει χαμηλής ταχύτητας συσκευές, όπως πληκτρολόγια, joysticks και ποντίκια. Το IrDA Control απευθύνεται σε περιφερειακά υπολογιστών που απαιτούν μεγαλύτερες ταχύτητες όπως εκτυπωτές και σαρωτές. Τέλος το IrDA Data απευθύνεται για υψηλής ταχύτητας, μικρής εμβέλειας, point-to-point διασύνδεση συσκευών.

Το IrDA Data πρωτόκολλο είναι το πιο διαδεδομένο από τα υπόλοιπα τρία, χρησιμοποιείται για υψηλής ταχύτητας, μικρής εμβέλειας, ασύρματη μεταφορά δεδομένων, από σημείο σε σημείο με ταχύτητα μέχρι 4 Mbps. Στο IrDA Data υπάρχει μία κύρια και από μία έως πολλές δευτερεύουσα συσκευές. Η κύρια είναι υπεύθυνη να επιλέξει μια συσκευή μέσα στο οπτικό της πεδίο, να πραγματοποιήσει τη σύνδεση και να συντηρήσει την σύνδεση. Η δευτερεύουσα αποκρίνεται όταν την καλέσει η κύρια συσκευή. Αρχικά η κύρια συσκευή

πραγματοποιεί μια εξερεύνηση για να ανακαλύψει αν υπάρχουν συσκευές στο οπτικό της πεδίο. Επιλέγει κάποια από αυτές που ανταποκρίνονται στο σήμα της και προσπαθεί να συνδεθεί. Όταν συνδεθούν θα επιλέξουν τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα εκπομπής και θα προσπαθήσουν να επικοινωνήσουν με τρόπους που θα μεγιστοποιούν την απόδοση και την αξιοπιστία της σύνδεσης. [5]

Το μειονεκτήματα του IrDA Data είναι ότι ενώ η αρχιτεκτονική του υποστηρίζει point-to-multipoint συνδέσεις το IrDA Data standard δεν καθορίζει πρωτοκόλλα με τα οποία θα επιτυγχάνεται αυτή η λειτουργία. Συνεπώς το μέσο χρησιμοποιείται αποκλειστικά από ένα ζεύγος συσκευών σε point-to-point διασύνδεση συσκευών. παραπάνω μειονεκτήματα οδήγησε την IrDA community στην επέκταση του πρωτοκόλλου ώστε να επιτρέπει την πολλαπλή διασύνδεση συσκευών. Αποτέλεσμα της μελέτης ήταν το IrDA AIR specification το οποίο προσθέτει κάποιες βελτιώσεις στην ελευθερία κίνησης των συσκευών. Όταν εγκαθιδρύεται μία σύνδεση μεταξύ δύο συσκευών δεν εμποδίζεται η εγκαθίδρυση σύνδεσης μεταξύ άλλων συσκευών που βρίσκονται στην ίδια ακτίνα δράσης. Δηλαδή το μέσο δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά από ένα ζεύγος συσκευών αλλά από περισσότερα. [2]

Τεχνολογία	Bluetooth	IrDA
Φάσμα λειτουργίας	2.4GHz ISM Band	Υπέρυθρες 850nm
Φυσικό επίπεδο	FHSS hops/s	Οπτικές ακτίνες
Πρόσβαση στο κανάλι	Master-Slave, Polling, TDD	Polling
Μέγιστο Data Rate	1 Mbps	4 Mbps
Κάλυψη	<10m	<10m
Authentication	Ναι	Όχι
Αριθμός συσκευών-ταυτόχρονη πρόσβαση	Μέχρι 8	1 Dedicated/Multiple(Air)
Τιμή	Χαμηλή	Χαμηλή

Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών IrDA και Bluetooth

2.1.2.1 IrDA Advanced Infrared (AIr) MAC protocol

Η αποφυγή των συγκρούσεων προσεγγίζεται με το να περιμένει ο σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει ένα τυχαίο αριθμό από CAS χρονοσχισμές. Στην περίοδο ανταγωνισμού (contention period) ο χρόνος διαιρείται σε χρονοσχισμές και ο κάθε σταθμός επιτρέπεται να μεταδώσει μόνο στην αρχή κάθε χρονοσχισμής.

Πιο συγκεκριμένα ένας σταθμός ο οποίος θέλει να μεταδώσει ένα πακέτο σε έναν άλλο σταθμό, παρακολουθεί αρχικά τη κατάσταση του καναλιού και λαμβάνει τα ακόλουθα μέτρα:

- Αν το μέσο φανεί δεσμευμένο, busy ο σταθμός αναβάλλει τη δικιά του μετάδοση μέχρι να τελειώσει η τρέχουσα μετάδοση και περιμένει την έναρξη της επόμενης περιόδου ανταγωνισμού.
- Όταν τελειώσει η τρέχουσα μετάδοση αν το μέσο παραμείνει αδρανές σε αυτή την περίοδο τότε ο σταθμός υπαναχωρεί (backoff) για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα. Αν μετά το διάστημα υπαναχώρησης το μέσο παραμείνει αδρανές ο σταθμός μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση.
- Αν ο σταθμός δεν καταφέρει να πάρει τον έλεγχο του μέσου για να μεταδώσει το πλαίσιο, θεωρείται ότι έχει συμβεί σύγκρουση (collision). Τότε ο σταθμός επιλέγει πάλι τυχαία μια σχισμή του contention window και επιχειρεί ξανά να μεταδώσει.

Ο αριθμός των Collision Avoidance Slots CAS (backoff timer) που περιμένει κάθε σταθμός πριν ξεκινήσει μία μετάδοση επιλέγεται τυχαία από το διάστημα $[0, (CW + 4) - 1]$. Η τιμή CW καλείται contention window (παράθυρο σύγκρουσης) και στην πρώτη προσπάθεια μετάδοσης του πακέτου το CW τίθεται ίσο με την τιμή CWmin (minimum contention window).

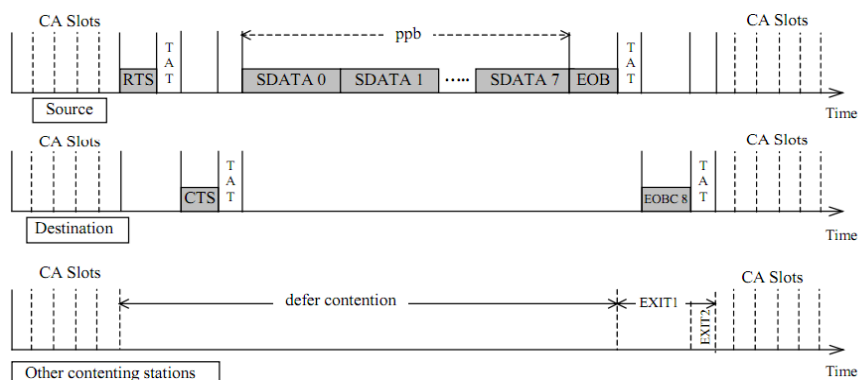
Σε περίπτωση που δύο σταθμοί επιλέξουν την ίδια τιμή από το CW τότε αναπόφευκτα θα συμβεί σύγκρουση των RTS πλαισίων. Η σύγκρουση γίνεται αντιληπτή με την λήξη ενός Wait-for-CTS μετρητή και σηματοδοτεί την επιλογή μίας νέας τιμής από το CW και την επανεκκίνηση της διαδικασίας. Το CW αυξάνεται κάθε φορά που συμβαίνει σύγκρουση κατά ένα συντελεστή που επιλέγεται από το εύρος $[0, W_i - 1] = [0, (W+4i) - 1]$, $i \in (0, m)$ όπου i ορίζεται ως

το στάδιο backoff που προσδιορίζει τον αριθμό των αναμεταδόσεων του RTS πακέτου και W_i είναι το τρέχον μέγεθος του CW. Τέλος m ορίζεται να είναι το «μέγιστο backoff στάδιο» και ισχύει $CW_{max} = CW_{min} + 4m$. Το CW αυξάνεται μέχρι να φτάσει την τιμή CW_{max} (maximum contention window).

Ο μετρητής backoff timer μειώνεται εφόσον το κανάλι ανιχνεύεται σε κατάσταση αδράνειας ενώ σταματάει να μειώνεται, όταν ανιχνεύεται μια μετάδοση. Η μείωση του μετρητή ξανά ενεργοποιείται όταν το κανάλι είναι αδρανές και η επόμενη περίοδο ανταγωνισμού ξεκινήσει. Η μετάδοση του πλαισίου RTS θα ξεκινήσει όταν ο backoff timer φτάσει στο μηδέν. Μετά από μία επιτυχημένη μετάδοση ή από απόρριψη του προς μετάδοση πλαισίου ο μετρητής επανέρχεται στην ελάχιστη τιμή CW_{min} .

Ο σταθμός που λάβει το RTS πλαίσιο ανταποκρίνεται με CTS ένα πλαίσιο για να δηλώσει ότι αποδέχεται την επικοινωνία και στην συνέχεια ο αποστολέας σταθμός ξεκινάει την μετάδοση δεδομένων. Ο αριθμός των μεταδιδόμενων πακέτων καθορίζεται από την παράμετρο packet per burst (ppb) που έχει επιλεχτεί έτσι ώστε ο συνολικός χρόνος χρήσης του καναλιού να μην υπερβαίνει τα 500ms.

Μετά την μετάδοση του τελευταίου πακέτου ο πομπός στέλνει ένα n EndOf-Burst (EOB) πλαίσιο. Ο δέκτης αποκρίνεται με ένα πλαίσιο End-Of-Burst-Confirm (EOBC) και ολοκληρώνεται η μετάδοση. Κάθε φορά που ένας σταθμός επιθυμεί να μεταδώσει ένα πλαίσιο που ακολουθεί την λήψη ενός πλαισίου ο σταθμός θα πρέπει να περιμένει ένα Turn-Around Time (TAT) χρόνο. Ο χρόνος είναι απαραίτητος για να καλύψει την καθυστέρηση του δέκτη μέχρι να γίνει πομπός και έχει τιμή ίση με 200μsec. Όλη η διαδικασία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.4. [13]



Σχήμα 2.4 : IrDA Air Ανταλλαγή δεδομένων

2.2 Ασύρματα Δίκτυα WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS (WLANs)

Κάθε μία από τις ασύρματες τεχνολογίες για WLAN έχει διαφορετική εφαρμογή άρα μπορούμε να πούμε ότι είναι περισσότερο συμπληρωματικές από ότι ανταγωνιστικές.

2.2.1 IEEE 802.11

Τον Ιούνιο του 1977 η IEEE οριστικοποίησε το πρώτο της Standard για WLAN. Το 802.11 Standard καθορίζει ως συχνότητα λειτουργίας τα 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων της τάξεως των 1 Mbps και 2 Mbps. Στην συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται αναλυτική περιγραφή.

2.2.2 HiperLAN

Το HiperLAN υπάρχει σε δύο εκδόσεις, τη HiperLAN Type 1 που τυποποιήθηκε το 1996 και υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 24Mbps και τη HiperLAN Type 2, που δημιουργήθηκε από το Hiperlan/2 Global Forum (H2GF) μία συνένωση από εμπορικές βιομηχανίες όπως η Bosch, Dell, Ericsson, Nokia, Telia και Texas Instruments που ιδρύθηκε τον Σεπτέμβριο του 1999. Το Hiperlan/2 υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης 6, 9, 12, 18, 27, 36 και 54 Mbps ενώ στηρίζεται στην τεχνική διαμόρφωσης OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing). Τα Hiperlan/2 συστήματα λειτουργούν στην περιοχή των 5GHz, η οποία στην Αμερική και στην Ιαπωνία είναι ελεύθερη και στην Ευρώπη έχει επισήμως παραχωρηθεί για χρήση από τα ασύρματα δίκτυα, με αποτέλεσμα αφενός μεν να μη δημιουργούνται προβλήματα με τα δίκτυα που τρέχουν στα 2,4GHz και αφετέρου οι συσκευές HiperLAN να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου χωρίς τροποποιήσεις.

Το Hiperlan/2 δίκτυο υποστηρίζει mobility. Ο σταθμός μπορεί να κινείται ελεύθερα μέσα στο cell αλλά και μεταξύ διαφορετικών cells χωρίς να χάνεται η σύνδεση. Για να επιτευχθεί αυτό οι σταθμοί μετρούν τον λόγο signal/noise από διαφορετικά ασύρματα σημεία πρόσβασης. Τα ασύρματα σημεία πρόσβασης είναι συσκευές που επιτρέπουν στους ασύρματους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην περιοχή κάλυψης, να επικοινωνούν μεταξύ τους. Τέλος οι σταθμοί επιλέγουν το ασύρματο

σημείο πρόσβασης με τον μεγαλύτερο λόγο signal/noise. Η παραπάνω διαδικασία υποστηρίζετε αρκεί τα σημεία πρόσβασης να ανήκουν στο ίδιο δίκτυο.

Το Hiperlan/2 δίκτυο υποστηρίζει το QoS όπου μπορούν τα πακέτα δεδομένων να κατηγοριοποιούνται και να αποκτούν διαφορετική σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το είδος τους. Έτσι, τα πακέτα που αφορούν ένα video για παράδειγμα μπορεί να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα κατά τη μεταφορά.

Ένα από τα χαρακτηριστικά που κάνουν το Hiperlan/2 να πλεονεκτεί είναι η Dynamic Frequency Selection (DFS). Η DFS συμπεριλήφθηκε στο standard με σκοπό την μείωση της παρεμβολής από δορυφόρους και συστήματα radar και είναι υποχρεωτική για κάθε WLAN στην Ευρώπη που λειτουργεί στα 5GHz. [6,7,2]

2.2.3 OpenAir

Το OpenAir είναι ένα Standard που αναπτύχθηκε από την εταιρία Proxim. Είναι προγενέστερο του 802.11 και χρησιμοποιεί την τεχνική του Frequency Hopping επιτυγχάνοντας ρυθμούς δεδομένων 0.8 Mbps με τεχνική διαμόρφωσης 2FSK και 1.6 Mbps με τεχνική διαμόρφωσης 4FSK. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο υπόστρωμα MAC είναι το CSMA/CA και στηρίζεται στην ανταλλαγή RTS/CTS πακέτων. [6]

2.2.4 HomeRF SWAP

Η HomeRF είναι μια ομάδα από μεγάλες εταιρίες που συστάθηκε τον Μάρτιο 1998 για να προωθήσει την χρήση των WLAN στο σπίτι και στα γραφεία. Η ομάδα αυτή έχει αναπτύξει ένα νέο πρωτόκολλο για τον σκοπό αυτό, το οποίο ονομάζεται SWAP (Shared Wireless Access Protocol).

Έχει σχεδιαστεί να υποστηρίζει και φωνή και δεδομένα και συνεργάζεται με το δίκτυο τηλεφωνίας PSTN και το Internet. Προέρχεται από επέκταση του συστήματος DECT (Digital enhanced cordless telephone) ένα Standard της ETSI για ψηφιακά ασύρματα τηλέφωνα και του 802.11. Η συχνότητα λειτουργίας είναι στα 2.4 GHz και στα 50 hops/sec ενώ μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 127 συσκευές μέχρι 50 μέτρα απόστασης. Στο φυσικό στρώμα χρησιμοποιείται η τεχνική FHSS,

υποστηρίζοντας ρυθμούς δεδομένων της τάξης των 1 Mbps και 2 Mbps. Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο υποστρώμα MAC είναι το CSMA/CA και το TDMA.

Αν και το HomeRF SWAP υποστηρίζει ταυτόχρονη μεταφορά ήχου και δεδομένων, η χαμηλή ταχύτητα που προσφέρει σε συνδυασμό με το κόστος υλοποίησής του, που είναι παρόμοιο με αυτό του IEEE 802.11b, δεν του δίνει ιδιαίτερες προοπτικές επιτυχίας. [2,7]

Τεχνολογία	IEEE 802.11	Hiperlan/2	OpenAir	HomeRF SWAP
Φάσμα	2.4 -2.4835 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Φυσικό επίπεδο	FHSS DSSS Infrared	OFDM	FHSS	FHSS
MAC	CSMA/CA	OFDM	CSMA/CA	CSMA/CA & TDMA
Μέγιστο Data Rate	1,2 Mbps	6,912,18,27,36,54 Mbps	1.6 Mbps	2 Mbps
Authentication	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι
QoS support	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Κάλυψη	< 200m	< 150m	< 50m	< 50m

Πίνακας 2.2: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών WLANs

2.3 Ασύρματα Δίκτυα WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORKS (WMANs)

Η κατηγορία των Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs), ουσιαστικά αποτελεί το αποτέλεσμα της προσπάθειας για επίτευξη ευρυζωνικών συνδέσεων με φυσικό μέσο τον αέρα. Τα Wireless Metropolitan Area Networks είναι ένας τύπος δικτύου που συνδέει πολλά WLANs. Γενικά υπάρχουν δύο τύποι ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Ο πρώτος τύπος ασύρματης πρόσβασης που ονομάζεται και fixed-line broadband (σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση) στοχεύει στην παροχή υπηρεσιών παρόμοιες με αυτές των ενσύρματων δικτύων και χρησιμοποιεί κεραιές που είναι τοποθετημένες στον χώρο του συνδρομητή. Ο δεύτερος τύπος ασύρματης πρόσβασης καλείται mobile broadband (κινητή ευρυζωνική πρόσβαση) και παρέχει επιπλέον την δυνατότητα για κίνηση των χρηστών.

Η κατασκευή του προτύπου 802.16 άρχισε ως μια πρωτοβουλία της National Wireless Electronics Systems Testbed (N-WEST) η οποία οργάνωσε μια πρώτη συνάντηση κατά την IEEE Radio and Wireless Conference (RAWCON) το 1998. Η ομάδα των 45 εταιρειών μελών της N-WEST δέχτηκε την πρόσκληση και έτσι προέκυψε η συνάντηση με την επιτροπή 802 της IEEE. Έτσι λοιπόν συστήθηκε η πρώτη ερευνητική ομάδα που θα δημιουργούσε το πρότυπο με επικεφαλής τον Roger Marks. Η ομάδα αυτή συναντήθηκε δύο φορές και έγραψε το Task Group1 PAR. Στη συνέχεια έγιναν και άλλες σύνοδοι και αναπτύχθηκαν άλλα Task Group. Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης.

Το πρότυπο 802.16 είναι γνωστό και ως WiMAX. Το WiMAX δεν είναι ένα πρότυπο αλλά ένα εμπορικό όνομα που αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16 και έτσι εξασφαλίζεται η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα στον BWA (Broadband Wireless Access) εξοπλισμό. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάνα συχνοτήτων από 2 ως 66 GHz και υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 70 Mbps στον αέρα, ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται

στα 50Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 χλμ. σε συνθήκες οπτικής επαφής.

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. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται είναι η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) που υποστηρίζει ζεύξεις τόσο με οπτική επαφή όσο και με μερική οπτική επαφή αλλά και χωρίς καθόλου οπτική επαφή. [2, 8, 9]

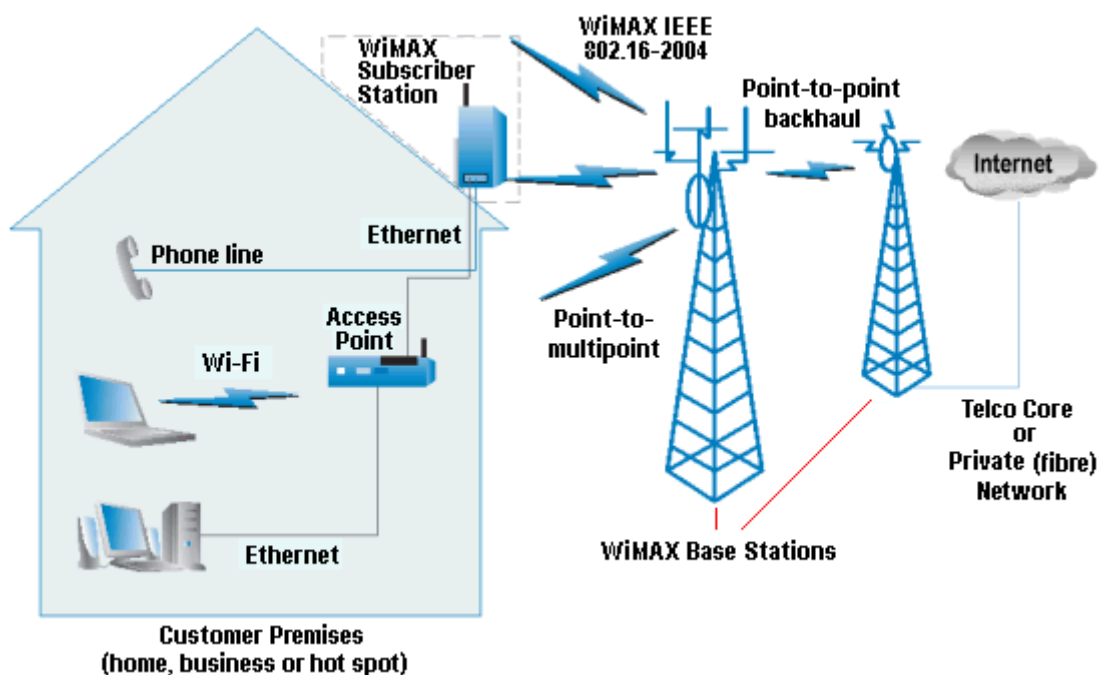
Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο μέρη:

- Ένας σταθμός βάσης (base station) WiMAX: Ο σταθμός βάσης αποτελείται από τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις και έναν πύργο WiMAX. Ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 10 χλμ. Ο σταθμός βάσης μπορεί να συνδεθεί άμεσα με το internet χρησιμοποιώντας μία καλωδιακή σύνδεση μεγάλου εύρους ζώνης (π.χ. μια γραμμή T3).
- Ένας δέκτης WiMAX: Ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο κιβώτιο ή μια κάρτα PCMCIA που βρίσκεται στο laptop ή τον υπολογιστή σας. Διάφοροι σταθμοί βάσεων μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω backhaul συνδέσεων μικροκυμάτων μεγάλης ταχύτητας δηλαδή ασύρματες συνδέσεις Point-to-Point ή Point-to-Multipoint, αυξημένης χωρητικότητας, με ενισχυμένους πομποδέκτες

Τα τερματικά, δηλαδή οι χρήστες του δικτύου μπορούν να χωριστούν ως εξής:

- Σταθερά Τερματικά: Το πρότυπο 802.16-2004 που αντικατέστησε το 802.16, 802.16a και το 802.16c είναι σχεδιασμένο για συνδέσεις σταθερής πρόσβασης (fixed wireless). Η κεραία είναι τοποθετημένη στην οροφή του κτηρίου ή σε κάποιον ιστό, όπως και συμβαίνει και με τα δορυφορικά πιάτα που χρησιμοποιούνται για την δορυφορική τηλεόραση. Στο 802.16-2004 προβλέπονται επίσης και εσωτερικές εγκαταστάσεις.

- Φορητά Τερματικά: Για τα φορητά τερματικά είναι υπεύθυνο ένα νέο πρότυπο, το 802.16e, το οποίο είναι μία προσθήκη στο ήδη υπάρχον 802.16-2004 . Σκοπός του είναι η προσθήκη φορητότητας και η δυνατότητα για άμεση σύνδεση φορητών συσκευών στο WiMAX δίκτυο. Χρησιμοποιεί την OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).



Σχήμα 2.5: Συστατικά του WiMAX

2.3.1 Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα του WiMAX

Ευέλικτη αρχιτεκτονική:

Η τεχνολογία WiMAX υποστηρίζει πολλαπλές αρχιτεκτονικές συστημάτων, όπως Point-to-Point, Point-to-Multipoint και ευρεία κάλυψη. Το MAC του WiMAX υποστηρίζει Point-to-Point και ευρείας κάλυψης υπηρεσία με τον προγραμματισμό μιας χρονοθυρίδας (timeslot) για κάθε σταθμό υπηρεσίας. Αν υπάρχει μόνο ένας σταθμός υπηρεσίας στο δίκτυο, ο σταθμός βάσης του WiMAX θα επικοινωνεί με το σταθμό υπηρεσίας με μία βάση Point-to-Point. Ένας σταθμός βάσης σε ρυθμίσεις Point-to-Point μπορεί να χρησιμοποιεί κεραία στενότερης δέσμης ώστε να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις.

Γρήγορη εγκατάσταση-ανάπτυξη:

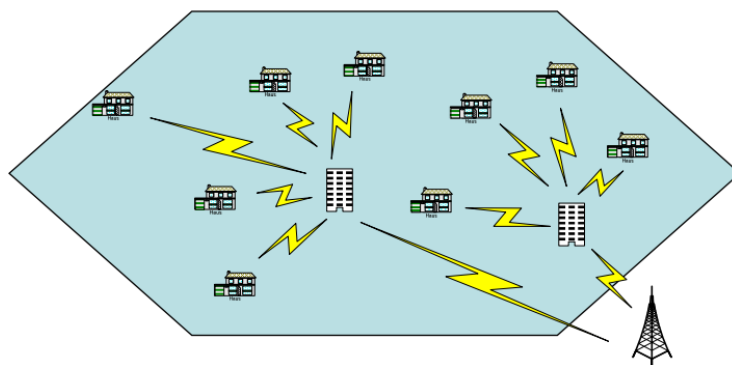
Συγκρινόμενο με την εγκατάσταση των καλωδιωμένων λύσεων, το WiMAX απαιτεί μικρή ή καθόλου κατασκευή ή αναμόρφωση ήδη υπάρχοντων εγκαταστάσεων. Από τη στιγμή που η κεραία και ο αναγκαίος εξοπλισμός έχουν εγκατασταθεί, το WiMAX είναι έτοιμο να παρέχει την υπηρεσία. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η εγκατάσταση του συστήματος WiMAX μπορεί να ολοκληρωθεί σε λίγες ώρες, συγκρινόμενο με τους μήνες που χρειάζονται για άλλες λύσεις.

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 αντανakλάσεις του σήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής του. Οι ρυθμοί μετάδοσης του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Το WiMAX δυναμικά υποστηρίζει πολλαπλά επίπεδα διαμόρφωσης, όπως BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM. Τα συστήματα WiMAX, όταν εξοπλίζονται με έναν ενισχυτή υψηλής ισχύος και λειτουργούν με μια διαμόρφωση BPSK ή QPSK είναι ικανά να καλύψουν μια αρκετά μεγάλη γεωγραφική περιοχή όταν η διαδρομή ανάμεσα στο σταθμό βάσης και το σταθμό υπηρεσίας δε διακόπτεται από κάποιο εμπόδιο.

Εμβέλεια (Coverage):

Το πρότυπο IEEE 802.16 κατασκευάζεται έτσι ώστε να υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την εμβέλεια του σήματος όπως τοπολογίες πλέγματος (mesh) και έξυπνες κεραίες. Οι τοπολογίες πλέγματος είναι αυτές όπου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Όσο λοιπόν οι τεχνολογίες βελτιώνονται και το κόστος μειώνεται, μεγαλώνει και η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας με τη χρήση πολλαπλών κεραιών καθώς ενθαρρύνεται και η εξάπλωση της εμβέλειας σε περιοχές που παλιότερα ήταν αδύνατο να εξαπλωθεί.



Εικόνα 2.6: Τοπολογίες πλέγματος (mesh)

Παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS):

Η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών όπως μεταφορά φωνής και βίντεο, είναι εξαιρετικά σημαντική για εξάπλωση του προτύπου. Το WiMAX μπορεί δυναμικά να ρυθμιστεί για την μείξη της κυκλοφορίας που μεταφέρεται. Υποστηρίζονται τέσσερις τύπου υπηρεσίες:

- Unsolicited Grant Service (UGS): Το UGS σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως το Voice over IP. Η υπηρεσία αυτή παρέχει σταθερό ρυθμό μετάδοσης σταθερό εύρος ζώνης.
- Real-Time Polling Service (rtPS): Το rtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου (real time) που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων με μεταβλητό μήκος που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως MPEG video. Οι real time εφαρμογές έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις εύρους ζώνης και ορίζεται η μέγιστη καθυστέρηση. Τα πακέτα που θα ξεπεράσουν τη μέγιστη καθυστέρηση απορρίπτονται.
- Non-Real-Time Polling Service (nrtPS): Το nrtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροές δεδομένων που επιδέχονται καθυστέρηση και αποτελούνται από πακέτα δεδομένων μεταβλητού μεγέθους για τα οποία απαιτείται ένας ελάχιστος ρυθμός δεδομένων, όπως FTP. Οι εφαρμογές που υποστηρίζει δεν είναι real time αλλά χρειάζονται επίπεδο υπηρεσίας

καλύτερο από best effort ενώ είναι μη ευαίσθητες σε σχέση με το χρόνο και απαιτούν ελάχιστο εύρος ζώνης.

- Best Effort (BE): Η BE υπηρεσία σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροές δεδομένων που είναι ανθεκτικές στην καθυστέρηση και δεν απαιτούν εγγύηση στην ταχύτητα μετάδοσης. Δεν παρέχεται εγγύηση ποιότητας. Οι εφαρμογές αυτής της κατηγορίας παίρνουν το εύρος ζώνης που περισσεύει αφού εξυπηρετηθούν οι προηγούμενες υπηρεσίες. [10]

Ασφάλεια (Security):

Η ασφάλεια είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη ενός πρότυπου. Η μυστικότητα και η κρυπτογράφηση είναι βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου IEEE 802.16 για ασφαλή μεταφορά πληροφορίας. Η τεχνολογία WiMAX υποστηρίζει το AES (Advanced Encryption Standard) και το 3DES (Triple Data Encryption Standard). Το WiMAX παρέχει στους χρήστες ιδιωτικότητα και ασφάλεια. Το WiMAX επίσης έχει ενσωματωμένη υποστήριξη νοητού τοπικού δικτύου (VLAN), η οποία παρέχει υποστήριξη για δεδομένα που εκπέμπονται από διαφορετικούς χρήστες στον ίδιο σταθμό βάσης.

Φορητότητα (Portability):

Οι χρήστες μπορούν να συνδέονται στο δίκτυο από οποιοδήποτε σημείο της περιοχής κάλυψης και να μετακινούνται μέσα σε αυτή χωρίς να διακόπτεται η σύνδεση. Μπορούν ακόμα και να μεταπηδούν (roam) από μια περιοχή κάλυψης σε μια άλλη (εφόσον αυτές είναι διασυνδεδεμένες κατάλληλα μεταξύ τους), διατηρώντας και πάλι την σύνδεση με το δίκτυο. Η φορητότητα επιβάλλει ότι η συσκευή του χρήστη θα πρέπει να έχει αυτονομία ενέργειας και σχετικά μικρό βάρος, έτσι ώστε να μπορεί να μετακινηθεί με άνεση. Όταν ο σταθμός υπηρεσίας του WiMAX αρχίζει τη λειτουργία του καθορίζει τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης με το σταθμό βάσης. Όσο ο σταθμός υπηρεσίας είναι εγγεγραμμένος στη βάση δεδομένων του συστήματος διαπραγματεύεται τα χαρακτηριστικά εκπομπής του.

Κινητότητα (Mobility):

Το πρότυπο 802.16e στοχεύει στους κινητούς χρήστες οι οποίοι επιθυμούν να διατηρούν τη σύνδεση τους ακόμα και όταν κινούνται από 70 έως 93 μίλια την ώρα στο ασύρματο διαδίκτυο. Βελτιώσεις έχουν γίνει στα φυσικά στρώματα των OFDM και OFDMA, ώστε να υποστηρίζουν συσκευές και υπηρεσίες σε ένα κινητό περιβάλλον. Αυτές οι βελτιώσεις περιλαμβάνουν υποστήριξη για idle/sleep mode και μεταπομπή (hand-off). Το σύστημα πρέπει να παρέχει ένα τρόπο έτσι ώστε η μεταπομπή από σταθμό βάσης σε σταθμό βάσης να γίνεται χωρίς να διακόπτεται η συνεδρία που έχει εγκαθιδρύσει η συσκευή του χρήστη με άλλες συσκευές του δικτύου. Το WiMAX βασίζεται στην τεχνολογία OFDM, η οποία έχει τη δυνατότητα να παρέχει την ασύρματη υπηρεσία Non-Line-Of-Sight (NLOS) όπου χρησιμοποιεί ένα φάσμα χαμηλότερης συχνότητας της τάξης των 2 GHz με 11 GHz. Μεταδόσεις χαμηλότερης κυματομορφής δεν είναι τόσο εύκολο να διακοπούν από φυσικά εμπόδια και μπορούν πολύ πιο εύκολα να διαθλαστούν ή να παρακάμψουν εμπόδια. Αυτή η υπηρεσία το καθιστά κατάλληλο για κινητό περιβάλλον. [2, 8, 9]

2.3.2 WiMAX vs. Wi-Fi

Το WiMAX λειτουργεί στις ίδιες γενικές αρχές όπως το WiFi, στέλνει δεδομένα από τον έναν υπολογιστή στον άλλον μέσω ραδιοσημάτων. Ένας υπολογιστής (desktop ή laptop) εξοπλισμένος με WiMAX λαμβάνει τα δεδομένα από τον πομπό WiMAX, χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση για να αποτρέπουν χρήστες χωρίς άδεια να έχουν πρόσβαση με σκοπό την υποκλοπή δεδομένων. Αυτές οι δύο τεχνολογίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν συμπληρωματικές καθώς το WiMAX δίνει τη δυνατότητα παροχής χαμηλού κόστους backhaul σύνδεσης με τα διάφορα WiFi hotspots και WLANs σημεία σε επιχειρήσεις και σπίτια.

Μερικές ευδιάκριτες διαφορές ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες είναι οι εξής:

1. Η γρηγορότερη σύνδεση WiFi μπορεί να μεταδώσει μέχρι 300 Mbps στις βέλτιστες συνθήκες. Το WiMAX μπορεί να χειριστεί ως 70 Mbps.

2. Η μεγαλύτερη διαφορά δεν είναι η ταχύτητα, είναι η απόσταση. Ενώ η ακτίνα του WiFi είναι 30 μέτρα, η κάλυψη του WiMAX φτάνει τα 50 χιλιόμετρα σε περίπτωση που υπάρχει άμεση οπτική επαφή με το σταθμό βάσης. Η αυξημένη ακτίνα οφείλεται στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες και στην ισχύ του πομπού.
3. Ακόμα το WiMAX έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει πρόσβαση σε εκατοντάδες χρήστες σε σύγκριση με το WiFi που μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο μερικές δεκάδες.
4. Το WiMAX έχει επίσης μερικά οφέλη από την άποψη ότι παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίες σε σχέση με το Wi-Fi. Το επίπεδο MAC του προτύπου 802.16 είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε ένας σταθμός βάσης (AP) να παρέχει ταυτόχρονα σε διαφορετικούς χρήστες διαφορετικού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας για παράδειγμα στον ένα χρήστη best effort QoS υπηρεσία και στον άλλο σταθερό ρυθμό μετάδοσης και εύρος ζώνης (UGS υπηρεσία). Η κατανομή του εύρους ζώνης ελέγχεται από το σταθμό βάσης όταν πρόκειται για Point to Multipoint συνδέσεις. με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Σε αντίθεση στο πρότυπο 802.11 οι χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός σταθμού βάσης είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Τεχνολογία	WiMAX	WiFi
Μέγιστη Ταχύτητα (Mbps)	70 Mbps	54 Mbps
Εμβέλεια	70 Km	100m - 2Km
Συχνότητα	10 - 66 GHz	2.4 - 2.497 GHz
Κάλυψη	Outdoor NLOS	Indoor Performance
QoS	Ναι	Όχι

Πίνακας 2.3: Σύγκριση WiMAX και WiFi

2.4 Ασύρματα Δίκτυα WIRELESS WIDE AREA NETWORKS (WWANs)

Τα ασύρματα WAN ικανοποιούν τις ανάγκες δικτύωσης σε πολύ μεγάλες εκτάσεις, όπως είναι οι χώρες και οι ήπειροι. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ασύρματα WAN προσφέρουν δικτυακή σύνδεση όταν οι χρήστες δεν είναι στο σπίτι τους, στο γραφείο τους ή στο ασύρματο LAN τους. Τα ασύρματα WAN προσφέρουν κάλυψη τόσο στους εσωτερικούς χώρους όσο και στους εξωτερικούς χώρους, με απόδοση μεγαλύτερη στους εξωτερικούς χώρους.

Τα πλεονεκτήματα των ασύρματων WAN δικτύων είναι η εκτεταμένη κάλυψη καθώς και οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές των προσφερόμενων υπηρεσιών, λόγω της ευρείας διάδοσής τους. Τα μειονεκτήματα τους είναι ότι λόγω του περιορισμένου εύρους συχνοτήτων που έχουν στη διάθεσή τους έχουν χαμηλή απόδοση και μειωμένη ασφάλεια.

Η ομάδα εργασίας του προτύπου 802.20 γνωστό και ως Mobile Broadband Wireless Access (MBWA), ή MobileFi, δημιουργήθηκε από την IEEE πριν την ομάδα εργασίας του 802.16e. Η IEEE είχε αρχικά πρόθεση να ολοκληρώσει το πρότυπο 802.20 στο τέλος του 2004 αλλά λόγω των πολλών διαφωνιών εντός της ομάδας εργασίας, το πρότυπο δεν έχει προχωρήσει αρκετά μέχρι σήμερα.

Το πρότυπο 802.20 επικεντρώνεται ουσιαστικά σε ευρυζωνικές συνδέσεις για τερματικά συστήματα που κινούνται με υψηλές ταχύτητες. Η διεπαφή του 802.20 προτύπου επιδιώκει να αυξήσει την ταχύτητα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου στα ασύρματα ευρυζωνικά μητροπολιτικά δίκτυα. Αυτό θα επιτευχθεί με σταθμούς βάσης που θα έχουν κάλυψη με διάμετρο 15 Km ή και μεγαλύτερη και με σκοπό να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε χρήστες που κινούνται ακόμη και με ταχύτητα 250 Km/h. Σκοπός του προτύπου είναι να λειτουργήσει σε συχνότητες κάτω των 3,5 GHz ενώ υποστηρίζει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ανά χρήστη, τουλάχιστον 1 Mbps.

Η IEEE πραγματοποίησε ενημερωτικές εκδηλώσεις και διαδικασίες πρόσκλησης ενδιαφέροντος κατά την άνοιξη του 2002, όπου συμμετείχαν εκπρόσωποι από 45 οργανισμούς οι οποίοι υποστήριξαν ανοιχτά το όλο εγχείρημα. Επίσης,

εξασφαλίστηκε και η υποστήριξη και άλλων ομάδων προτυποποίησης όπως οι 3GPP και η 3GPP2 με στόχο να προετοιμαστεί μια διεπαφή σύνδεσης των MBWA με τα δίκτυα 3G. [2,11]

2.4.1 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) - MobileFi - 802.20

Τα πέντε κριτήρια που έθεσε η IEEE 802.20 για το νέο σύστημα είναι η συμβατότητα με άλλα συστήματα, η συνύπαρξη με άλλα συστήματα σε γειτονικές μπάντες συχνοτήτων, η διακριτή ταυτότητα του συστήματος, η τεχνική επάρκεια και η οικονομική βιωσιμότητα του προτεινόμενου συστήματος. Παρακάτω εξετάζονται πιο αναλυτικά:

- Συμβατότητα: Το νέο πρότυπο θα πρέπει να είναι συμβατό με τις βασικές λειτουργικές απαιτήσεις του IEEE 802.20. Οποιαδήποτε διαφοροποίηση θα πρέπει να δικαιολογηθεί και να επεξηγηθεί.
- Συνύπαρξη: Θα πρέπει όλα τα θέματα σχετικά με την συνύπαρξη με άλλα πρότυπα στο φάσμα να υπόκεινται σε σχετικούς κανόνες της άδειας χρήσης του φάσματος.
- Διακριτή Ταυτότητα: Η IEEE 802 δεν έχει προς το παρόν κάποιο άλλο πρότυπο που να σχετίζεται με τόσο υψηλή κινητικότητα. Ουσιαστικά το MBWA πρότυπο θα παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να κάνει χρήση του WAN δικτύου μέσω ενός δικτύου πρόσβασης όταν θα είναι σε κίνηση.
- Τεχνική επάρκεια: Η επάρκεια σχετίζεται με τις τεχνικές που θα χρησιμοποιεί το πρότυπο όπως frequency hopping, OFDM, προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος όπως adaptive antennas. Όλες οι παραπάνω τεχνολογίες έχουν επιτυχώς δοκιμαστεί στο παρελθόν και ήδη χρησιμοποιούνται και σε άλλα πρότυπα των δικτύων LAN και MAN.
- Οικονομική βιωσιμότητα: Η οικονομική βιωσιμότητα σκοπεύει να προσφέρει καλύτερο συντελεστή κόστους / απόδοσης από ότι τα υπάρχοντα κινητά

δίκτυα, καθώς είναι βασισμένη σε μεταγωγή πακέτων και σχεδιασμένη για βέλτιστη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος. Το κόστος εγκατάστασης θα περιοριστεί μειώνοντας τον αριθμό των απαιτούμενων σταθμών βάσης αφού θα εξυπηρετούνται μεγαλύτερου αριθμού χρήστες ανά σταθμό. [2]

2.4.1.1 Παροχές κα Υπηρεσίες του 802.20

Το νέο πρότυπο θα παρέχει:

- Always On Σύνδεση: Το σύστημα παρέχει always on σύνδεση στο Internet και υποστηρίζει λειτουργία handover μεταξύ των σταθμών βάσης. Τα τεματικά, αφού αναγνωρισθούν από το δίκτυο, έρχονται σε επαφή με τους σταθμούς βάσης με τυχαία ακολουθία και ελέγχουν την ποιότητα της επικοινωνίας ή την συμφόρηση των σταθμών βάσης ώστε να διατηρήσουν την σύνδεση με τον κατάλληλο σταθμό βάσης για όσο βρίσκονται εντός της εμβέλειας του δικτύου.
- Καθολική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.
- Υποστήριξη QoS: Υποστήριξη real-time και non-real time εφαρμογών.
- Γρήγορη διαχείριση πόρων τόσο για το uplink όσο και για το downlink.
- Υποστήριξη κινητικότητας με ταχύτητα μέχρι 250 km/h
- Παρουσιάζει μικρή καθυστέρηση (latency) το πολύ 10 milliseconds ενώ τα 500 milliseconds είναι το standard για τις 3G επικοινωνίες [12]

2.4.1.2 Το μέλλον του Mobile-Fi

Το Mobile-Fi θα χρειαστεί να ξεπεράσει πολλά προβλήματα. Το πρώτο από αυτά είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε licensed μπάντες χαμηλότερες από τα 3.5GHz. Επίσης, αν και φαίνεται θετικό, είναι ακόμα αβέβαιο το αν θα υπάρξει μαζική ανάγκη για να καλυφθούν περιπτώσεις μεγάλης κινητικότητας (250 km/h). Τέλος, οι πάροχοι ασυρμάτων επικοινωνιών, το βλέπουν ως ανταγωνιστικό πρότυπο σε σχέση με το 3G, την στιγμή μάλιστα που έχουν δαπανήσει τεράστια ποσά όχι μόνο για την εξασφάλιση των αδειών χρήσης των συχνοτήτων, αλλά και σε εξοπλισμό δικτύου. Όλοι αυτοί οι παράγοντες ,μπορεί να σημαίνουν ότι στα επόμενα χρόνια το Mobile-Fi μπορεί να μην γίνει καθολικό πρότυπο, σε αντίθεση με το WiMAX που φαίνεται να υπερισχύει. [2]

Αναφορές - Κεφάλαιο 2

1. William Stallings “Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα”, Τζιόλα, 2007
2. Ζαφειρόπουλος Διόνυσος, “Διερεύνηση παραμέτρων σύγκλισης μεταξύ δικτύων κινητής τηλεφωνίας και ασύρματων δικτύων δεδομένων”, Πανεπιστήμιο Πατρών – Μεταπτυχιακές σπουδές στα πλαίσια του προγράμματος Ηλεκτρονική και επεξεργασία της πληροφορίας, Διπλωματική εργασία, 2005
3. Βογιατζής Γ. Αρτέμιος - Ερευνητής Πληροφορικής, Σερπάνος Ν. Δημήτριος - Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, “Ανάλυση ασφάλειας επιπέδου σύνδεσης δεδομένων για δίκτυα τεχνολογίας Bluetooth”, Εργασία, 2005
4. Μέλος της ελληνικής κοινότητας Ubuntu, “Η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth”, 2009, URL: <http://forum.ubuntu-gr.org/viewtopic.php?f=9&t=2902>
5. Γαλεντερίδου Φωτεινή, Τριανταφύλλου Σοφία, “Τεχνολογίες Ασύρματων Επικοινωνιών”, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στα πληροφοριακά συστήματα, Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος: Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων, 2001
6. Λεβέντης Σωτήριος, “Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, Διπλωματική εργασία, 2006
7. Αντώνης Αλεξίου, “Τα ασύρματα δίκτυα υπόσχονται να καταργήσουν τα καλώδια!”, 2002, URL: <http://egnatia.ee.auth.gr/~aalexioy/bloutoot.htm>
8. Στεφάνου Α. Κωνσταντίνος, “Σχεδίαση και Προσομοίωση Συστήματος WiMAX”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων και Μετάδοση Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική εργασία, 2006
9. Αργυρόπουλος Χρήστος, “Μελέτη και ανάλυση επίδοσης πρωτοκόλλων πρόσβασης μέσου ασυρμάτων μητροπολιτικών δικτύων”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Εργαστήριο Ασύρματου Τηλεπικοινωνίας, Διπλωματική εργασία, 2008

10. Tranzeo Wireless Technologies Inc., “ WiMAX QoS Classes Using WiMAX QoS Classes to support Voice, Video, and Data Traffic ”, Whitepaper, 2010
11. Λυμπερόπουλος Σταύρος, “Αναλυτική Μελέτη Εφαρμογής για την Ανάπτυξη Ευρυζωνικού Δικτύου Τοπικής Πρόσβασης στον Δήμο Ελυμνίων”, Επιχειρησιακό πρόγραμμα Κοινωνία της Πληροφορίας, 2007
12. Lehrstuhl für Informatik 4 Kommunikation und verteilte Systeme, “ Wireless Broadband Network”, URL:http://www.nets.rwthachen.de/content/teaching/lectures/sub/mobil/WS07_08/06_WMAN_1P.pdf
13. P. Chatzimisios, V. Vitsas, A. C. Boucouvalas, D. Kleftouris and M. Tsoulfa “PACKET DELAY PERFORMANCE COMPARISON OF THE IEEE 802.11 AND IRDA AIR CSMA/CA PROTOCOLS IN HIGH-SPEED WIRELESS LANS”, Intentional Multi Conference Internet and Multimedia Systems and Applications, paper, 2006

3. Δομικά στοιχεία και απαιτήσεις ενός ασύρματου δικτύου (WLAN)

3.1 Δομικά στοιχεία ενός ασύρματου δικτύου

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο αποτελείται από διάφορα στοιχεία (components) που είναι απαραίτητα για τη σωστή μετάδοση και λήψη του σήματος από τον χρήστη. Στα στοιχεία αυτά συμπεριλαμβάνονται τόσο το κατάλληλο λογισμικό (software) όσο και το ανάλογο υλικό εξοπλισμού (hardware).

3.1.1 Συσκευές χρηστών (End users devices)

Σε ένα ασύρματο δίκτυο ένας τερματικός κόμβος αποτελεί τη διασύνδεση μεταξύ του χρήστη και του δικτύου. Τέτοιοι κόμβοι που χρησιμοποιούνται σε ασύρματα δίκτυα είναι οι επόμενοι:

- Υπολογιστές Laptop
- Υπολογιστές Palmtop
- Προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (Personal Digital Assistants, PDAs)
- Φορητοί εκτυπωτές και σαρωτές (Handheld printers and scanners)
- Τερματικοί σταθμοί υπολογιστών γραφείου

3.1.2 Λογισμικό Δικτύου

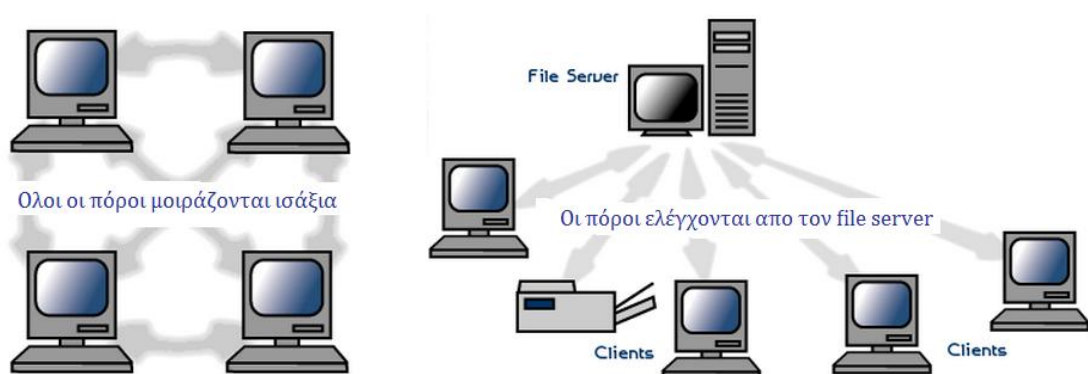
Το λειτουργικό σύστημα δικτύου (NOS - Network Operating System) είναι ένα σύνολο προγραμμάτων που διαχειρίζεται πόρους όπως σταθμοί εργασίας και εκτυπωτές αλλά και συσκευές επικοινωνιών, όπως διανομείς, γέφυρες και πύλες. Επιπλέον το λειτουργικό σύστημα δικτύου δίνει την δυνατότητα επικοινωνίας με άλλες μηχανές συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο και παρέχει διαφόρων ειδών υπηρεσίες, όπως μεταφορά δεδομένων, εκτύπωση κ.ά.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες NOS:

- Ένα Peer-to-peer network operating system επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται πόρους και αρχεία που βρίσκονται στους υπολογιστές τους και να έχουν πρόσβαση σε κοινόχρηστους πόρους άλλων υπολογιστών. Σε ένα τέτοιο δίκτυο όλοι οι υπολογιστές έχουν τις ίδιες ικανότητες για να χρησιμοποιήσουν τους πόρους που διατίθενται στο δίκτυο. Ένα τέτοιο

παράδειγμα προγράμματος είναι το AppleShare που μπορεί να λειτουργήσει ως Peer-to-peer network operating system.

- Client/server network operating systems στηρίζονται στην ύπαρξη ενός server, ο οποίος παρέχει πρόσβαση στους πόρους και παροχή ασφάλειας ενώ υπάρχουν οι βάσεις δεδομένων στις οποίες έχουν πρόσβαση οι συσκευές χρηστών. Οι NovellNetware και Windows NT Server είναι παραδείγματα του Client/server network operating system.



Σχήμα 3.1: Peer-to-peer και Client/server network operating systems

3.1.3 Ασύρματες κάρτες δικτύου (Wireless Network Interface Card)

Μια ασύρματη κάρτα δικτύου, συνδέει το ψηφιακό σήμα που προέρχεται από τη συσκευή των τελικών χρηστών με το ασύρματο μέσο, που είναι ο αέρας, για να γίνει δυνατή μια αποδοτική μεταφορά των δεδομένων μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη διαμόρφωση και την ενίσχυση του ψηφιακού σήματος για τη μετάδοση του προς την λαμβάνουσα θέση.



Σχήμα 3.2: Ασύρματες κάρτες δικτύου

Οι κάρτες αυτές, συνδέονται μέσω ενός διαύλου επικοινωνίας με τη συσκευή του χρήστη. Οι δίαυλοι που χρησιμοποιούνται είναι οι ISA (Industry Standard Architecture) και χρησιμοποιείται περισσότερο από τους υπολογιστές γραφείου και οι PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) που χρησιμοποιούνται από φορητούς υπολογιστές.

Η διεπαφή μεταξύ της συσκευής του χρήστη και του NIC περιλαμβάνει επίσης έναν οδηγό λογισμικού που συνδέει την εφαρμογή του πελάτη ή το λογισμικό και την κάρτα. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς τους οδηγούς είναι οι ακόλουθοι:

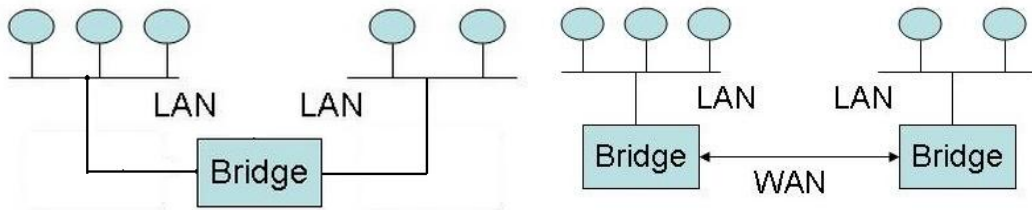
- NDIS (Network Driver Interface Specification): Οδηγός που χρησιμοποιείται με τα λειτουργικά συστήματα δικτύων της Microsoft.
- ODI (Open Datalink Interface): Οδηγός που χρησιμοποιείται με τα λειτουργικά συστήματα δικτύων Novell.
- PDS (Packet Driver Specification): Ένας οδηγός για το DOS που αναπτύχθηκε από την εταιρεία λογισμικού FTP για τη χρήση σε υλοποιήσεις βασισμένες στο TCP/IP.

3.1.4 Ασύρματες Τοπικές Γέφυρες (Wireless Local Bridges)

Οι γέφυρες δικτύων αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της τοπολογίας ενός δικτύου καθώς συνδέουν πολλά LANs μεταξύ τους μέσω των θυρών που διαθέτουν. Πακέτα που λαμβάνονται σε μια θύρα είναι δυνατόν να αναμεταδοθούν από διαφορετική θύρα. Η bridge κρατάει στην μνήμη την διεύθυνση του πακέτου καθώς και τη θύρα από την οποία μεταδόθηκε. Στην συνέχεια ψάχνει στην μνήμη του για την διεύθυνση προορισμού. Εάν η διεύθυνση βρίσκεται στην μνήμη, τότε το πακέτο προωθείται. Εάν δεν βρεθεί η απαραίτητη πληροφορία στην μνήμη, τότε το πακέτο προωθείται από κάθε άλλη θύρα εκτός από την θύρα προέλευσης.

Οι γέφυρες κατηγοριοποιούνται με διάφορους τρόπους. Ένας σύνθετος τρόπος διαχωρισμού είναι βάσει τις έκτασης της περιοχής που εξυπηρετούν. Έτσι, υπάρχουν γέφυρες που διασυνδέουν LAN σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και αποκαλούνται Remote Bridges καθώς και bridges που παρέχουν άμεση

επικοινωνία μεταξύ δικτύων που βρίσκονται στην ίδια περιοχή όπως είναι δίκτυα μοιρασμένα στις δύο πλευρές ενός διαδρόμου, ή στον ίδιο όροφο ενός γραφείου και ονομάζονται Local Bridges. [1,3,4,5,6]



Σχήμα 3.3: Local και Remote γέφυρες

3.1.5 Κεραίες (Antennas)

Η κεραία λαμβάνει εναλλασσόμενο ρεύμα και το μετατρέπει σε ραδιοκύματα τα οποία εκπέμπει μέσω του αέρα, ώστε αυτά να φτάσουν στον προορισμό τους. Γενικά, οι κεραίες διακρίνονται σε πολλά είδη και μεγέθη και χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Μοντέλο διάδοσης (propagation pattern): Υπάρχουν τρία δυνατά μοντέλα διάδοσης, το μοντέλο εδαφικού-κύματος (groundwave), το μοντέλο κύματος-χώρου (sky-wave) και το μοντέλο οπτικής-επαφής (Line Of Sight – LOS). Στο μοντέλο εδαφικού-κύματος τα κύματα ακολουθούν την διαμόρφωση του εδάφους και μπορούν να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Τα κύματα-χώρου έχουν την ιδιότητα ότι ανακλώνται από κάποια στρώματα της ιονόσφαιρας, με αποτέλεσμα να μπορούν να διαδοθούν σε απόσταση αρκετών χιλιομέτρων αρκετά μικρότερη από τα εδαφικά-κύματα. Τέλος στο το μοντέλο οπτικής-επαφής πρέπει να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ της κεραίας του πομπού και του δέκτη.
- Ευαισθησία - Κέρδος (Gain): Ένας τρόπος περιγραφής της ικανότητας της κεραίας να συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία αποτελεί το μέγεθος του κέρδους της κεραίας (antenna gain), μετρούμενο σε decibels.
- Ισχύς μετάδοσης (Transmit power) Οι εργοστασιακές κεραίες είναι δοκιμασμένες μέχρι μια συγκεκριμένη μέγιστη ισχύ η οποία είναι συνήθως

50 με 100 Watt. Η αναγραφή του μέγιστου ορίου είναι υποχρεωτικός για κάθε κατασκευαστή.

- Εύρος ζώνης (Bandwidth): Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το διαθέσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) και κατά συνέπεια τόσο μεγαλύτερος και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (data rate).

Κάθε κόμβος κάνει τη σύνδεση του με άλλους κόμβους και υπάρχουν 2 ειδών σύνδεσης σημείου προς σημείο (point to point) και σημείου προς πολλαπλά σημεία (point to multipoint). Ενώ για τη μετάδοση του σήματος στα WLAN χρησιμοποιούνται κυρίως δύο είδη κεραιών η πολυκατευθυντική (omnidirectional) κεραία και η κατευθυντική (directional) κεραία.

Στο δίκτυο για να ενωθούν δυο κόμβοι μεταξύ τους χρησιμοποιούνται point to point συνδέσεις οι οποίες υλοποιούνται με κατευθυντικές κεραιές, ενώ η μια κεραία είναι πάντα στραμμένη προς την άλλη όπως βλέπουμε στο σχήμα 3.4.



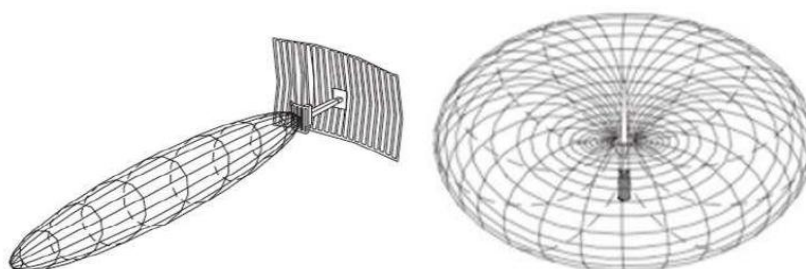
Σχήμα 3.4: Point to point σύνδεση

Τα δίκτυα με τρόπο σύνδεσης point to multipoint διαθέτουν ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο μοιράζονται όλοι οι κόμβοι που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Οι point to multipoint συνδέσεις υλοποιούνται με πολυκατευθυντικές κεραιές.



Σχήμα 3.5: Point to multipoint σύνδεση

Οι πολυκατευθυντικές κεραιές χρησιμοποιούνται σε σημεία πρόσβασης για το λόγο ότι εκπέμπουν κυκλικά προς κάθε κατεύθυνση το σήμα τους κάτι που είναι και το ζητούμενο όταν θέλουμε να πετύχουμε την μέγιστη κάλυψη του περιβάλλοντος χώρου. Εν αντιθέσει, οι κόμβοι χρησιμοποιούν κατευθυντικές κεραιές για να επιτύχουν συνδέσεις με μακρινά (>300m) σημεία πρόσβασης. Για λειτουργία εντός της αποστάσεως των 300μ, είναι καλό να χρησιμοποιούνται πολυκατευθυντικές κεραιές μικρού κέρδους (<5dBi), καθώς επαρκούν για την επίτευξη σύνδεσης.



Σχήμα 3.6: Κατευθυντική και πολυκατευθυντική κεραία αντίστοιχα

3.1.5.1 Κατευθυντική κεραία

Οι κατευθυντικές κεραιές συγκεντρώνουν την ισχύ εκπομπής τους σε συγκεκριμένη κατεύθυνση. Έτσι, για δεδομένη ισχύ εκπομπής, μια κατευθυντική κεραία μπορεί να στείλει τα ραδιοκύματα μακρύτερα και με λιγότερο θόρυβο, σε σχέση με τις πολυκατευθυντικές. Ο πιο συνηθισμένος τύπος κατευθυντικής κεραιάς είναι οι παραβολικές κατευθυντικές όπου αποτελούνται από ένα παραβολικό κάτοπτρο που φωτίζεται από μια μικρή κεραία που παίζει το ρόλο του τροφοδότη ή αλλιώς feeder. Δύο γνωστά είδη παραβολικών κεραιών είναι οι Grid που αποτελούνται από ένα μεταλλικό πλέγμα και από ένα feeder και οι Offset που αποτελούνται από δορυφορικά πιάτα με ένα feeder.



Σχήμα 3.7: Παραβολικές κεραίες Grid και Offset αντίστοιχα

Πέρα από τις παραβολικές κατευθυντικές υπάρχουν και οι μη παραβολικές κατευθυντικές. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι Yagi και τα Panels. Επιπλέον, υπάρχουν οι κεραίες κυματοδηγοί, Waveguides και οι Backfire που με μικρό σχετικά μέγεθος μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 15dB.



Σχήμα 3.8: Μη παραβολικές κεραίες Yagi Panels Waveguides και Backfire αντίστοιχα

3.1.5.2 Πολυκατευθυντική κεραία

Οι πολυκατευθυντικές κεραίες, στέλνουν και λαμβάνουν ραδιοσήματα από όλες τις κατευθύνσεις (στο οριζόντιο επίπεδο). Αυτές οι κεραίες χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται κάλυψη 360 μοιρών σε ένα χώρο. Τα Access Points συνήθως είναι εφοδιασμένα με πολυκατευθυντικές κεραίες. Οι πολυκατευθυντικές κεραίες χρησιμοποιούνται για εφαρμογές όπου υπάρχει ανάγκη κινητικότητας με τη θέση των σταθμών εργασίας να μεταβάλλεται συνεχώς. Για τις πολυκατευθυντικές κεραίες οι συνηθέστεροι τύποι είναι οι Omni όπου το χαρακτηριστικό τους είναι ότι εκπέμπουν κατά 360° στο οριζόντιο επίπεδο και για αρκετές μοίρες στο κάθετο και οι Sector που έχουν εύρος δέσμης εκπομπής στο οριζόντιο επίπεδο που μπορεί να φτάσει τις 180°. Σε πιο απαιτητικές εφαρμογές που θέλουμε να συνδυάσουμε τα οφέλη της Omni με αυτά της Sector χρησιμοποιούμε ένα σύστημα κεραιών που ονομάζεται Sectorized Omni. [7]



Σχήμα 3.9: Πολυκατευθυντικές κεραίες Omni, Sector και Sectorized Omni

3.2 Απαιτήσεις ασύρματων τοπικών δικτύων

Ρυθμαπόδοση (throughput): Η ρυθμαπόδοση λειτουργίας του συστήματος υπολογίζεται να είναι μικρότερη της μέγιστης ρυθμαπόδοσης που είναι δυνατόν να επιτευχθεί λόγω των μεγάλων καθυστερήσεων και περιορισμών στην ασύρματη μετάδοση, όπως μεγάλοι ρυθμοί λαθών (error rates), λόγω παρεμβολών. Στα σημερινά ασύρματα τοπικά δίκτυα όπου οι ρυθμοί μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο είναι μερικών Mbps απαιτούνται κατάλληλα υποεπίπεδα MAC που παρέχουν ρυθμαπόδοση κοντά στη μέγιστη τιμή.

Πλήθος κόμβων: Τα δίκτυα WLAN χρειάζονται να υποστηρίζουν δεκάδες και εκατοντάδες κόμβους. Η σχεδίαση ενός WLAN δεν θα πρέπει να θέτει κάποιο όριο στο πλήθος των κόμβων που διαχειρίζεται

Δυνατότητα υποστήριξης εφαρμογών πολυμέσων: Ένα WLAN θα πρέπει να παρέχει στις συνδέσεις του ποιότητα υπηρεσιών, Quality of Service (QoS) για διάφορες εφαρμογές πολυμέσων όπως είναι η μετάδοση φωνής. Με αυτόν τον τρόπο υποστηρίζονται διαφορετικές προτεραιότητες πακέτων μεταξύ των κόμβων, διασφαλίζεται η χωρητικότητα (bandwidth) στις συνδέσεις πρόσβασης ενώ προσδιορίζονται άνω όρια στις τιμές της καθυστέρησης μετάδοσης (delay) και στο jitter. Επιπλέον επειδή πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούν το μοντέλο πελάτη – διακομιστή (client – server) το WLAN θα πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται

διαφορετική ροή δεδομένων από το client στον server (downlink) και διαφορετική από τον server στον client (uplink).

Εξοικονόμηση Ενέργειας: Η αποδοτική χρήση της διαθέσιμης ισχύος στους κόμβους και η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ζητήματα που αφορούν ένα WLAN. Ένας κόμβος καταναλώνει ενέργεια για να πραγματοποιήσει λειτουργίες όπως η ανταλλαγή πακέτων και η χειραψίες με τους σταθμούς βάσεις. Για την εξοικονόμηση ενέργειας των κινητών κόμβων υπάρχει η κατάσταση αναμονής εκτός από την κατάσταση ύπνου. Βασική προϋπόθεση είναι να εφαρμοστεί μια διαδικασία που να ξυπνά τον κόμβο προορισμού μίας μετάδοσης. Εναλλακτική λύση είναι να εφαρμοστεί μια προσωρινή αποθήκευση στον αποστολέα (buffering) γεγονός που δημιουργεί κινδύνους υπερχείλισης και κατά συνέπεια απώλειας πακέτων. [1]

Σταθερότητα και Ασφάλεια: Κάθε WLAN πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε η μετάδοση δεδομένων να παραμένει αξιόπιστη και οι πιθανότητες μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης ή δολιοφθοράς να ελαχιστοποιούνται. Το αρχικό πρότυπο 802.11 ορίζει δύο μεθόδους αυθεντικοποίησης. Την Ανοιχτή (Open) και Διαμοιραζόμενου Κλειδιού (Shared Key).

Η ανοιχτή αυθεντικοποίηση πραγματοποιείται μεταξύ ενός AP και ενός σταθμού , ή στην περίπτωση ενός ad-hoc δικτύου μεταξύ δύο ή περισσότερων σταθμών και είναι μία απλή ανταλλαγή μηνυμάτων. Η μοναδική πληροφορία που πρέπει να είναι γνωστή σε ένα σταθμό για να συνδεθεί στο δίκτυο είναι το SSID του AP. Αυτός ο τύπος αυθεντικοποίησης δεν παρέχει από μόνος του κάποιο είδος ασφάλειας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με πιο προχωρημένες μεθόδους.

Η δεύτερη μέθοδος αυθεντικοποίησης είναι η αυθεντικοποίηση διαμοιραζόμενου κλειδιού η οποία παρέχει λίγη περισσότερη ασφάλεια από την προηγούμενη. Στα ενσύρματα δίκτυα δεν γίνεται διάχυση της πληροφορίας στον χώρο, και έτσι απαιτείται επαφή με το καλώδιο για να μπορέσει κάποιος εισβολέας να υποκλέψει δεδομένα. Η αυθεντικοποίηση διαμοιραζόμενου κλειδιού στα ασύρματα δίκτυα

χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο WEP (Wired Equivalent Privacy), είχε σχεδιαστεί με την προοπτική να αποτρέψει έναν εισβολέα που βρίσκεται εντός εμβέλειας του δικτύου να "ακούσει" την κίνηση του δικτύου. Σε ένα ασύρματο δίκτυο που χρησιμοποιεί WEP, η αυθεντικοποίηση δεν αποδεικνύει την ταυτότητα κάθε σταθμού, αλλά απλά πιστοποιεί ότι οι σταθμοί έχουν στην κατοχή τους το ίδιο κλειδί. Η διαδικασία είναι η εξής: κάθε σταθμός γνωρίζει ένα ή περισσότερα κλειδιά που του επιτρέπουν να αποκωδικοποιεί την κίνηση που δέχεται και αντίστοιχα να κωδικοποιεί την κίνηση που στέλνει. Το WEP παρέχει κάποια ασφάλειας, αλλά σίγουρα απέχει πολύ από το επιθυμητό επίπεδο ασφάλειας. Επιπλέον, η χρήση του έχει νόημα μόνο σε περιβάλλοντα με λίγους σταθμούς, γιατί όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών, αυξάνεται και το διαχειριστικό κόστος του δικτύου.

Η αυθεντικοποίηση με βάση την MAC διεύθυνση είναι ένα επιπλέον επίπεδο ασφάλειας, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με τις δύο μεθόδους αυθεντικοποίησης που περιγράφηκαν παραπάνω ενώ δεν αποτελεί μέρος του προτύπου 802.11. Η διαδικασία είναι η εξής: Το AP έχει αποθηκευμένο ένα πίνακα με MAC διευθύνσεις σταθμών στους οποίους επιτρέπει να αποκτήσουν πρόσβαση στο δίκτυο. Η μέθοδος αυτή δεν προσφέρει μεγάλη ασφάλεια, γιατί είναι εξαιρετικά εύκολο κάποιος εισβολέας να μάθει μια νόμιμη MAC διεύθυνση παρακολουθώντας τα πλαίσια που διακινούνται, και στη συνέχεια να αλλάξει την δική του MAC διεύθυνση με την διεύθυνση που υπέκλεψε. Η αυθεντικοποίηση με βάση την MAC είναι κατάλληλη για χρήση μόνο σε περιβάλλοντα με λίγους σταθμούς όπως και με την αυθεντικοποίηση διαμοιραζόμενου κλειδιού. Η καταχώρηση των MAC διευθύνσεων των σταθμών του δικτύου πρέπει να γίνεται χειροκίνητα, οπότε όσο μεγαλώνει ο αριθμός των σταθμών, αυξάνεται και το διαχειριστικό κόστος των πινάκων με τις MAC διευθύνσεις. [1,8]

Συνδιατεταγμένη λειτουργία δικτύων: Ο όρος συνδιατεταγμένη λειτουργία δικτύων αναφέρεται στην δυνατότητα δύο ή περισσότερων δικτύων να λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή ή σε περιοχές που επικαλύπτονται μερικώς. Το πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί σε δίκτυα που ανήκουν στην

ίδια περιοχή είναι η εμφάνιση παρεμβολών και κατά επέκταση η υποβάθμιση της απόδοσης του δικτύου.

Δυναμική τοπολογία: Σε ένα WLAN δεν είναι εφικτό να θεωρηθούν πλήρως συνδεδεμένες τοπολογίες λόγω της παρουσία κρυφών και εκτεθειμένων τερματικών. Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με την όρος συνδιατεταγμένη λειτουργία δικτύων όπου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη για τον περιορισμό της αρνητικής απόδοσης του δικτύου.

Υποστήριξη μεταπομπής (handoff) και περιαγωγής (roaming): Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα κυψελικής διάταξης αν μία κινητή μονάδα βρεθεί έξω από την εμβέλεια μίας κυψέλης και εισέλθει μέσα στην εμβέλεια μίας άλλης κατά την διάρκεια της σύνδεσης το κανάλι κίνησης πρέπει να αλλάξει σε αυτό που είναι εκχωρημένο στο σταθμό βάσης, στη νέα κυψέλη. Το σύστημα κάνει αυτή την αλλαγή χωρίς να διακόψει την σύνδεση, χωρίς να υποβαθμιστεί η ποιότητα υπηρεσιών και χωρίς να ενημερώσει τον χρήστη. Τα WLAN πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η εφαρμογή γρήγορης και αξιόπιστης περιαγωγής. Η περιαγωγή υλοποιείται μέσω διαδικασιών μεταπομπής. Η μεταπομπή μπορεί να ενεργοποιείται από το δίκτυο όπου η απόφαση λαμβάνεται από μετρήσεις του δικτύου των λαμβανόμενων σημάτων από την κινητή μονάδα, ενώ σε άλλες περιπτώσεις μπορεί η κινητή μονάδα μπορεί να συμμετέχει στην απόφαση μεταπομπής παρέχοντας ανατροφοδότηση πληροφοριών στο δίκτυο σχετικά με τα σήματα που λαμβάνονται από την κινητή μονάδα. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται ένας αριθμός διαφορετικών μέτρων απόδοσης για την λήψη μίας απόφασης. Επιγραμματικά είναι οι εξής:

- Πιθανότητα φραγής κυψέλης
- Πιθανότητα διακοπής κλήσης
- Πιθανότητα ολοκλήρωσης κλήσης
- Πιθανότητα ανεπιτυχούς μεταπομπής
- Πιθανότητα φραγής μεταπομπής
- Ρυθμός μεταπομπής
- Διάρκεια διακοπής

➤ Καθυστέρηση μεταπομπής

Η βασικότερη παράμετρος που χρησιμοποιείται για την λήψη απόφασης μεταπομπής είναι η μετρούμενη ένταση του σήματος από την κινητή μονάδα από το σταθμό βάσης. [1,2]

Επίδραση της καθυστέρησης διάδοσης: Σε ένα WLAN η περιοχή κάλυψης είναι διαμέτρου έως και 300 μέτρων. Η επίδραση της καθυστέρησης διάδοσης μπορεί να είναι πολύ σημαντική όταν ο μηχανισμός πρόσβασης στο μέσο απαιτεί ακριβή συγχρονισμό μεταξύ των κινητών κόμβων. Η καθυστέρησης διάδοσης μπορεί να οδηγήσει σε πολλές συγκρούσεις και μειωμένη απόδοση δικτύου όταν για παράδειγμα χρησιμοποιείται η μέθοδος CSMA χωρίς χρονικές σχισμές.

Συμμόρφωση με τα πρότυπα:

Η συμμόρφωση με τα ισχύοντα πρότυπα αφορά τις νέες εφαρμογές σχεδίων και προϊόντων οι οποίες θα πρέπει να αποτελούν επεκτάσεις δεδομένων προτύπων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η διαλειτουργικότητα. [1]

Αναφορές - Κεφάλαιο 3

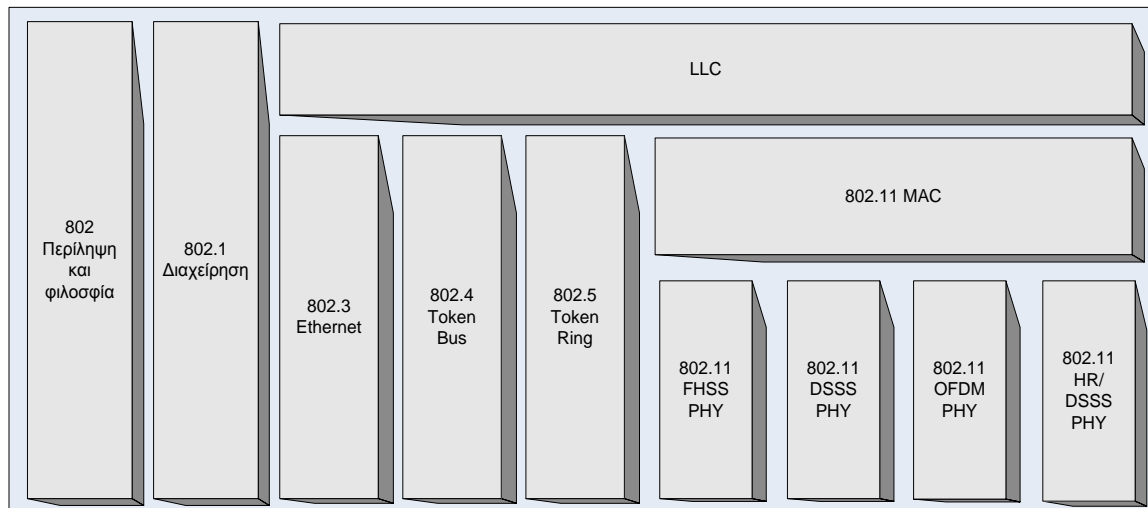
1. P.Nicopolidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, “Ασύρματα δίκτυα”, Κλειδάριθμος, 2006

2. William Stallings, “Ασύρματες επικοινωνίες και δίκτυα”, Τζιόλα, 2007
3. Αλεξιάδης Παναγιώτης, Ηλιάδης Ισαάκ, “Ασύρματα δίκτυα 802.11”, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Πτυχιακή εργασία, 2004
4. Σωτήριος Λεβέντης, “Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, Διπλωματική Εργασία, 2006
5. Παπαδόπουλος Νικόλαος , “Ασύρματο δίκτυο υπολογιστών”, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Πτυχιακή Εργασία, 2008
6. Δρ. Ε. Μάγκος, “Ασύρματα δίκτυα”, Ιόνιο Πανεπιστήμιο Τμήμα Αρχαιονομίας – Βιβλιοθηκονομίας
7. Πανουσίου Σωκράτης, “Πρακτικός οδηγός κεραιών WiFi”, 2002-2007
8. Στεργιάκης Αλέξανδρος, Παπαδόπουλος Γεώργιος, “Κατασκευή Ασφαλούς Ασύρματου Σημείου Πρόσβασης και εγκατάσταση στο τμήμα Πληροφορικής”, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Πτυχιακή Εργασία, 2006

4. Η οικογένεια των προτύπων 802.11

Το πρότυπο 802.11 δημιουργήθηκε το 1997 από τον Διεθνή Οργανισμό Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical & Electronic Engineers- IEEE). Μετά το γενικό πρότυπο 802.11, ακολούθησαν συμπληρωματικά πρότυπα όπως το 802.11a, 802.11b το 1999. Το πρωτόκολλο

802.11 ανήκει στην οικογένεια προτύπων IEEE 802.x που περιλαμβάνουν προδιαγραφές για τοπικά δίκτυα όπως το 802.3 (Ethernet) και το 802.5 (Token Ring). Η ιεράρχηση των πρωτοκόλλων μέσα στο μοντέλο OSI φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 4.1: Οικογένεια προτύπων 802

Όλα τα 802.x πρότυπα ασχολούνται με το υπόστρωμα μετάδοσης στο μέσο προσπέλασης (MAC layer) και το φυσικό στρώμα (PHY layer). Πάνω από τα 802.x πρότυπα βρίσκεται το πρωτόκολλο 802.2 Έλεγχος λογικής ζεύξης, LLC (Logical Link Control) το οποίο παρέχει υπηρεσίες στο επίπεδο δικτύου.

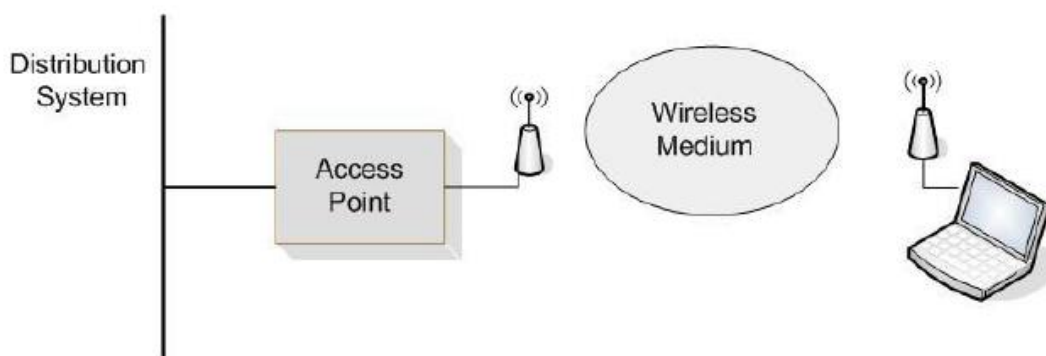
4.1. Διαλειτουργικότητα συσκευών

Στα πρώτα βήματα ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας μεγάλες εταιρίες κατασκεύαζαν υλικό με βάση δικά τους πρότυπα. Αυτό οδήγησε σε μια πλήρη ασυμβατότητα αφού θα έπρεπε να αγοραστεί εξοπλισμός της ίδιας εταιρίας αν κάποιος επιθυμούσε να στήσει ένα ασύρματο δίκτυο. Μία ενδεχόμενη αναβάθμιση του υλικού, και προτίμηση μίας άλλης εταιρίας λόγω ποιότητας ή ταχύτητας, θα οδηγούσε σε αλλαγή του υπάρχοντος υλικού. Αυτή η περίπτωση βέβαια θα ήταν ασύμφορη για τους χρήστες της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Οποιαδήποτε όμως τεχνολογία που θα ήταν συμβατή και συμμορφωμένη με τα πρότυπα 802.11 της IEEE θα έκανε δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών διαφόρων προμηθευτών και του επιλεγμένου ασύρματου τύπου δικτύων. Η συμμόρφωση

στην τυποποίηση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση στον ανταγωνισμό των τιμών ενώ ακόμα επιτρέπει και σε ποιο μικρές επιχειρήσεις να αναπτύξουν συσκευές ασύρματης δικτύωσης.

4.2. Βασικά Στοιχεία Ασύρματων Τοπικών Δικτύων IEEE 802.11

Η τοπολογία του 802.11 αποτελείται από συστατικά, που αλληλεπιδρούν για να παρέχεται δυνατότητα κίνησης σταθμών η οποία χαρακτηρίζεται από διαφάνεια έτσι ώστε να μη γίνεται αντιληπτή σε ένα υψηλό στρώμα πρωτοκόλλου, όπως είναι το Logical Link Control (LLC). Η μεταξύ τους διασύνδεση παρουσιάζεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 4.2: Βασικά Στοιχεία IEEE 802.11 LAN

Τα βασικά συστατικά από τα οποία αποτελείται ένα δίκτυο IEEE 802.11 είναι:

Συστήματα Διανομής (Distribution System DS): Τα συστήματα διανομής αποτελούν το λογικό συστατικό του 802.11 που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση και συνεργασία πολλών σημείων πρόσβασης AP, για την επέκταση του δικτύου.

Σημείο Πρόσβασης (Access Point AP): Οι λειτουργίες του σημείου πρόσβασης αποτελούν τη γέφυρα μεταξύ του ασύρματου και του ασύρματου ή ενσύρματου σταθμού.

Ασύρματο Μέσο (Wireless Medium WM): Στο ασύρματο μέσο γίνεται η μεταβίβαση δεδομένων μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου. Η αρχιτεκτονική του προτύπου IEEE 802.11 επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών φυσικών στρωμάτων για την υποστήριξη των λειτουργιών του στρώματος MAC.

Σταθμός (Station STA): Οι τερματικοί σταθμοί που ανταλλάσσουν πληροφορία μέσω του ασυρμάτου δικτύου είναι συνήθως υπολογιστικά συστήματα, όπως laptop με κάρτα-προσαρμογέα ασύρματου δικτύου (Network Adapter Card), PDAs και σταθεροί υπολογιστές.

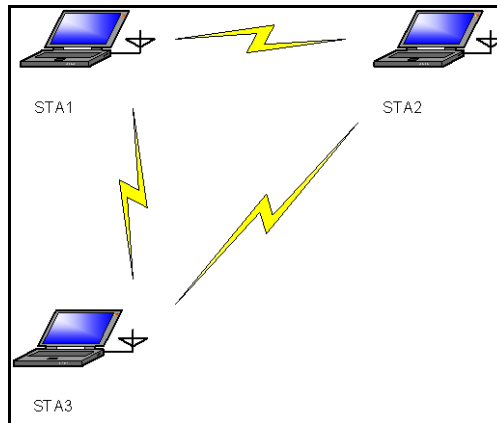
4.3. Τοπολογίες Δικτύων 802.11

4.3.1 Βασική Υπηρεσιακή Περιοχή (Basic Service Area)

Το βασικό δομικό στοιχείο του 802.11 καλείται βασική υπηρεσιακή ομάδα Basic Service Set (BSS). Κάθε BSS περιλαμβάνει ένα σύνολο σταθμών (Stations), οι οποίοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους άμεσα αλλά μέσω του σημείου πρόσβασης (Access Point), το οποίο συνδέεται στο ασύρματο μέσο. Η περιοχή εντός της οποίας μπορούν να επικοινωνούν οι σταθμοί καλείται βασική υπηρεσιακή περιοχή (Basic Service Area) και τα όρια της καθορίζονται από την περιοχή ραδιοκάλυψης. Υπάρχουν δύο διαφορετικές κατηγορίες BSS, τα ανεξάρτητα δίκτυα (Independent networks) και τα δομημένα δίκτυα (Infrastructure networks).

4.3.1.1. Ανεξάρτητα Δίκτυα (Independent Networks)

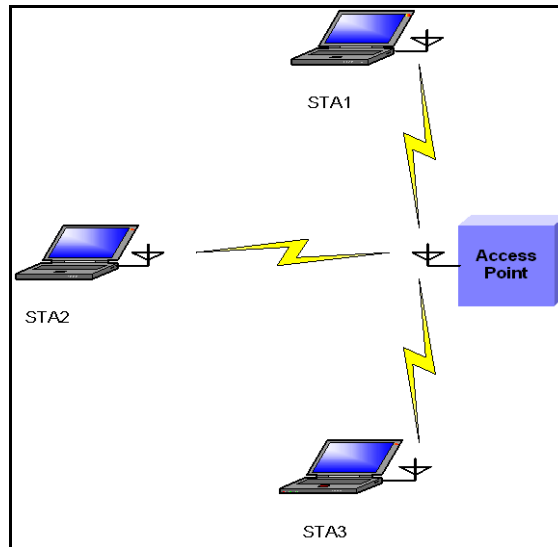
Σε ένα independent δίκτυο οι σταθμοί μπορούν να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους εφόσον βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψης του δικτύου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Το BSS σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται και IBSS (Independent BSS) ή ad hoc BSS ή ad hoc δίκτυο. Τα IBSS δίκτυα αποτελούνται από μικρό σχετικά αριθμό σταθμών το λιγότερο δύο και χρησιμοποιούνται κυρίως για προσωρινές συνδέσεις μικρής διάρκειας.



Σχήμα 4.3: Ανεξάρτητα Δίκτυα - Τοπολογία IBSS (ad-hoc)

4.3.1.2. Δομημένα Δίκτυα (Infrastructure Networks)

Αντίθετα από ότι συμβαίνει σε ένα IBSS, σε ένα Infrastructure BSS οι σταθμοί δεν μπορούν να επικοινωνήσουν άμεσα μεταξύ τους. Αν κάποιος σταθμός θέλει να αποστείλει το πλαίσιο δεδομένων σε κάποιον άλλο θα πρέπει πρώτα να προωθήσει το πλαίσιο στο σημείο πρόσβασης του δικτύου και αυτό με την σειρά του να το ξανά προωθήσει στον τελικό του προορισμό όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4. Ο ρόλος του σημείου πρόσβασης, AP είναι κεντρικός μέσα στο BSS γιατί όχι μόνο παίζει τον ρόλο διαμεσολαβητή στην επικοινωνία μεταξύ των σταθμών για την ανταλλαγή πλαισίων και γενικότερα για τον κεντρικό έλεγχο της λειτουργίας του αλλά συνάμα παρέχει δυνατότητες όπως εξουσιοδότηση χρηστών, συγχρονισμό και εξοικονόμηση ισχύος. Για να συμμετέχει ένας σταθμός στο BSS πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία του συσχετισμού (association) με το AP προκειμένου να είναι σε θέση να στείλει και να δεχτεί πλαίσια μέσω του ασυρμάτου δικτύου. Το AP αποφασίζει αν ο σταθμός θα γίνει δεκτός στο BSS.



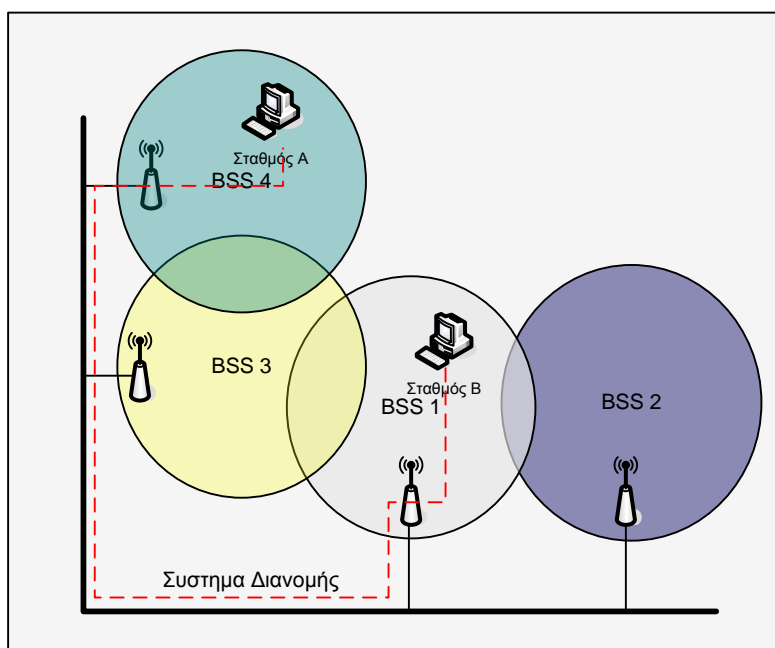
Σχήμα 4.4: Δομημένα Δίκτυα - Infrastructure Networks

Πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου δικτύου είναι :

- Η βασική υπηρεσιακή περιοχή στα δομημένα δίκτυα είναι η περιοχή όπου υπάρχει ραδιοκάλυψη από το AP. Έτσι σε αντίθεση με το IBSS, όπου όλοι οι σταθμοί πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης των υπολοίπων σταθμών, για να επικοινωνήσουν με αυτούς, εδώ αρκεί να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης του AP, χωρίς να τίθεται περιορισμός όσον αφορά την μεταξύ τους απευθείας απόσταση. [3, 5]
- Το σημείο πρόσβασης προσφέρει ενεργειακά αποδοτική κατάσταση αναμονής σε περιπτώσεις όπου οι χρήστες βρίσκονται μακριά ή τη νύχτα. Η λειτουργία τους βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση σε περίπτωση επικοινωνίας με εισερχόμενα τερματικά όπως επίσης και στην εκπομπή περιοδικών beacons πλαισίων έτσι ώστε να επισημάνουν την παρουσία τους. [9]

4.3.2 Εκτεταμένη Υπηρεσιακή Περιοχή (Extended Service Area)

Τα BSS δίκτυα παρέχουν κάλυψη σε μικρούς σχετικά χώρους και όχι σε κτήρια πολλών ορόφων. Όταν απαιτείται μεγαλύτερη εμβέλεια από εκείνη που προσφέρουν τα BSS δίκτυα γιατί οι απαιτήσεις κάλυψης μεγαλύτερων περιοχών αυξάνουν τότε για να μπορέσουμε να κατασκευάσουμε μεγαλύτερα ασύρματα δίκτυα διασύνδεουμε περισσότερα του ενός BSS μέσω ενός συστήματος διανομής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το νέο ασύρματο τοπικό δίκτυο ονομάζεται Εκτεταμένη Υπηρεσιακή Ομάδα (ESS-Extended Service Set).



Σχήμα 4.5: Εκτεταμένη Υπηρεσιακή Περιοχή (Extended Service Area)

Το σύστημα διανομής δίνει την δυνατότητα επικοινωνίας σε δύο σταθμούς εντός του ESS που ανήκουν σε διαφορετικά BSS. Στο σχήμα 4.5 βλέπουμε ότι τα Access Points λειτουργούν σαν γέφυρες (bridges) μεταξύ του ασύρματου δικτύου και του ενσύρματου μέσου (σύστημα διανομής DS) δημιουργώντας μία νοητή ζεύξη μεταξύ των σταθμών που ανταλλάζουν δεδομένα μέσω του συστήματος διανομής. Αν ο σταθμός B του BSS1 θέλει να στείλει ένα πλαίσιο στον σταθμό A του BSS4 αυτό πρέπει να πάει στο αντίστοιχο AP, να μετατραπεί σε πλαίσιο του μέσου μετάδοσης του συστήματος διανομής, να μεταδοθεί στο AP που εξυπηρετεί το σταθμό A, να μετατραπεί ξανά και τέλος να μεταδοθεί από το AP στον σταθμό A.

Σε περίπτωση που το σύστημα διανομής δεν είναι συμβατό με την οικογένεια πρωτοκόλλων 802 απαιτείται ένα είδος μετατροπής των πακέτων που διακινούνται μεταξύ των AP και του συστήματος διανομής. Η συσκευές που αναλαμβάνουν αυτή την τροποποίηση ονομάζονται *portals*.

Οι σταθμοί που ανήκουν σε ένα ESS είναι δυνατόν να κινηθούν μεταξύ των BSS διατηρώντας τις λογικές τους συνδέσεις, αυτή η διαδικασία ονομάζεται περιαγωγή (roaming). Στην περιαγωγή τα διαφορετικά BSS πρέπει να επικαλύπτονται καταλλήλως έτσι ώστε οι χρήστες να μην αντιμετωπίζουν διακοπές συνδέσεων. Αν δηλαδή ένας σταθμός του BSS1 στο παραπάνω σχήματος ενώ ανταλλάζει δεδομένα με έναν σταθμό του BSS4, κινείται και για κάποιο λόγο βρεθεί εντός των ορίων κάλυψης του BSS2 τότε δεν θα τερματιστεί η σύνδεση του με τον δίκτυο αλλά θα συνεχίζει να επικοινωνεί χωρίς καμία διακοπή. Η περιαγωγή υλοποιείται μέσω διαδικασιών μεταπομπής (handoff). Η μεταπομπή μπορεί να ελέγχεται πρώτον από μία κεντρική υπηρεσία μεταγωγής (switching), όπου το BSS παρακολουθεί την ισχύ των σημάτων των σταθμών και τους κατανέμει στα διαφορετικά BSS αναλόγως και δεύτερων από τους ίδιους τους σταθμούς, αποκεντρωμένη μεταπομπή όπου ο σταθμός αποφασίζει να ζητήσει μετάβαση σε διαφορετικό BSS σε περίπτωση που η ποιότητα σύνδεσης με το δικό του BSS είναι κατώτερη σε σύγκριση με το άλλο BSS. [1, 2]

4.4 Υπηρεσίες του IEEE 802.11

Το πρότυπο 802.11 καθορίζει τις υπηρεσίες που παρέχουν οι λειτουργίες που απαιτεί το επίπεδο LLC για την αποστολή MSDU (MAC service data units). Αυτές οι υπηρεσίες, που υλοποιεί το επίπεδο MAC χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

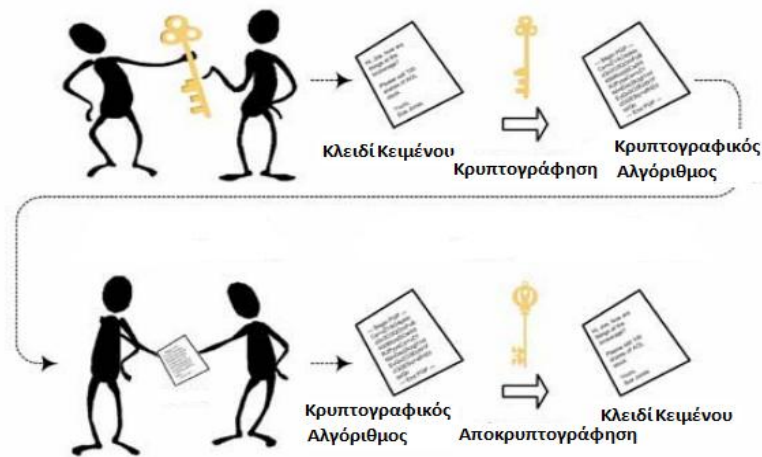
- Υπηρεσίες σταθμών (Station Services): Περιλαμβάνονται οι Authentication, Deauthentication, Privacy.
- Υπηρεσίες συστημάτων διανομής (Distribution System Services): Περιλαμβάνονται οι Association, Disassociation, Distribution, Integration, Reassociation.

4.4.1. Υπηρεσίες σταθμών

Το 802.11 παρέχει τις εξής υπηρεσίες στους σταθμούς του ασύρματου δικτύου.

1. Authentication (Εξουσιοδότηση): Κάθε σταθμός είτε αυτό είναι ανήκει σε ένα BSS είτε σε ένα ESS θα πρέπει πριν την διαδικασία του association να χρησιμοποιήσει την διαδικασία εξουσιοδότησης για να δημιουργήσει μία σύνδεση με το δίκτυο και να μπορέσει να επικοινωνήσει με άλλους σταθμούς. Το 802.11 ορίζει τις παρακάτω δύο διαδικασίες εξουσιοδότησης:
 - a. Open System Authentication (Επικύρωση ανοικτού συστήματος): Στην μέθοδο αυτή ο σταθμός για να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο πρέπει να στείλει ένα πλαίσιο ελέγχου εξουσιοδότησης (authentication management frame) που περιέχει την ταυτότητα του αποστολέα σταθμού. Ο σταθμός που λαμβάνει την αίτηση με τη σειρά του απαντάει με ένα πλαίσιο με το οποίο είτε αναγνωρίζει την ταυτότητα είτε όχι .
 - b. Shared key Authentication: Αυτός ο τρόπος εξουσιοδότησης προϋποθέτει ότι ο κάθε σταθμός έχει λάβει ένα κρυφό κοινό κλειδί μέσω ενός καναλιού ανεξάρτητο από το 802.11 δίκτυο. Οι σταθμοί εξουσιοδοτούνται μέσω αυτού του κλειδιού με την υλοποίηση του αλγόριθμου WEP (Wireless Equivalent Privacy).
2. De-authentication (Μη εξουσιοδότηση): Όταν ένας σταθμός θέλει να αποσυνδεθεί (disassociate) είτε από ένα άλλο σταθμό σε ένα ad-hoc δίκτυο είτε από ένα Infrastructure BSS δίκτυο στέλνει ένα πλαίσιο ελέγχου το οποίο δεν μπορεί να απορριφθεί από τον σταθμό που το λαμβάνει με το οποίο τερματίζει την επικοινωνία.
3. Privacy (Ασφάλεια): Επειδή σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι πιθανό κάποιος σταθμός να υποκλέψει δεδομένα του δικτύου γι' αυτό παρέχεται η υπηρεσία μυστικότητας που βελτιώνει το επίπεδο ασφάλειας του δικτύου. Το 802.11 εξασφαλίζει την ασφαλή μετάδοση πλαισίων δεδομένων χρησιμοποιώντας

τον αλγόριθμο WEP. Μόνο όλες οι επικεφαλίδες (headers) των πλαισίων δεδομένων του φυσικού στρώματος δεν κρυπτογραφούνται. Πριν αποσταλούν τα πακέτα κρυπτογραφούνται με την χρήση ενός κλειδιού. Δεδομένου ότι ο δέκτης γνωρίζει το κλειδί μπορεί να αποκρυπτογραφήσει τα πακέτα που λαμβάνει, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6.



Σχήμα 4.6: Κρυπτογράφηση, Encryption Key

4.4.2. Υπηρεσίες συστημάτων διανομής

Το 802.11 παρέχει τις παρακάτω υπηρεσίες για το σύστημα διανομής :

1. Association (Σύνδεση): Κάθε σταθμός θα πρέπει να εφαρμόζει την διαδικασία σύνδεσης με το AP του BSS πριν ανταλλάξει πλαίσια δεδομένων με το σύστημα διανομής, DS. Κάθε σταθμός μπορεί να συνδεθεί με ένα μόνο AP, ενώ ένα AP μπορεί να συνδεθεί με περισσότερους του ενός σταθμούς.
2. Disassociation (Αποσύνδεση): Κάθε σταθμός για να αποσυνδεθεί από το δίκτυο θα πρέπει να χρησιμοποιήσει την διαδικασία αποσύνδεσης μέσω της οποίας το DS διαγράφει την αντίστοιχη καταχώρηση που δημιουργήθηκε μέσω της διαδικασίας σύνδεσης στο δίκτυο.
3. Distribution (Διανομή): Κάθε σταθμός χρησιμοποιεί την υπηρεσία της διανομής για να στείλει MAC πλαίσια μέσω του DS. Δεν καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο το DS παραδίδει τα δεδομένα στα AP, αλλά η μόνη πληροφορία που παρέχει η υπηρεσία διανομής είναι ο καθορισμός του BSS για το οποίο προορίζεται το πλαίσιο.
4. Integration (Ενοποίηση): Η υπηρεσία της ενοποίησης κάνει εφικτή την διανομή των MAC πλαισίων μέσω μιας πύλης (portal) μεταξύ ενός DS και ενός τοπικού δικτύου μη συμβατού με την οικογένεια 802.11.
5. Reassociation (επανασύνδεση): Η διαδικασία της επανασύνδεσης χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς σε περίπτωση μετακίνησης από ένα BSS σε άλλο στο ίδιο ESS. Είναι μέρος του μηχανισμού μεταπομπής (handoff). [2, 3, 7]

4.5. Οικογένειες πρωτοκόλλων 802.11

802.11a

Το πρότυπο 802.11a βελτιώνει το φυσικό επίπεδο του 802.11 IEEE και λειτουργεί στη συχνότητα των 5GHz για μετάδοση, που είναι γενικά πολύ λιγότερο χρησιμοποιούμενη από αυτή των 2,4 GHz, γεγονός που ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο παρεμβολών. Οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνει κυμαίνονται μεταξύ 6 και 54Mbps, ενώ τα πρώτα προϊόντα που το υποστηρίζουν εμφανίστηκαν στο τέλος του 2001. Για να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης των ραδιοκυμάτων OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η OFDM ορίζει οκτώ μη επικαλυπτόμενα κανάλια των 20 MHz, κάθε ένα από τα οποία διαιρείται σε 52 υπό-φέροντα (narrowband carriers) εύρους 300KHz το κάθε ένα. Έτσι επιτυγχάνουμε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων συνδυάζοντας τα μικρότερης ταχύτητας υπό-φέροντα έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα κανάλι υψηλότερης ταχύτητας. Λόγω της μειωμένης πιθανότητας παρεμβολών και της υψηλής ταχύτητάς του, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο θεωρείται ιδανικό για την υποστήριξη multimedia εφαρμογών.

802.11b

Σε αντίθεση με ότι υποδηλώνει η ονομασία του, το πρωτόκολλο 802.11b αναπτύχθηκε πριν από το 802.11a και παρόλο που προσφέρει χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης, αποτελεί το σημαντικότερο πρότυπο ασύρματης δικτύωσης. Όπως το 802.11a έτσι και αυτό αφορά το φυσικό επίπεδο και λειτουργεί στην ελεύθερη ζώνη των 2,4 GHz. Το 802.11b προσφέρει χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης αλλά η μέγιστη ακτίνα κάλυψής του είναι 100 μέτρα, σε αντίθεση με το 802.11a που μπορεί να καλύψει μόλις 20 μέτρα. Επιπλέον προσφέρει φθηνότερες λύσεις για την δημιουργία ασυρμάτου δικτύου κατά 30% σε σχέση με το 802.11a. Για τον λόγο αυτό ακόμα και αν το 802.11b είναι κατώτερο του 802.11a από άποψη επίδοσης, προτιμάται από τους χρήστες λόγω χαμηλότερου κόστους.

802.11c

Ο σκοπός της ομάδας που ασχολήθηκε με αυτό το πρωτόκολλο ήταν να παρέχει μηχανισμούς για την “γεφύρωση” (bridging) πολλών ασύρματων τοπικών δικτύων για τον σχηματισμό ενός ενιαίου δικτύου. Τα χαρακτηριστικά αυτού του πρωτοκόλλου ενσωματώθηκαν μέσα στο 802.11d.

802.11d

Στόχος της ομάδας εργασίας d είναι να ορίσει τις προδιαγραφές του φυσικού στρώματος και να καταγράψει το νομικό πλαίσιο που ισχύει για την χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων σε διάφορες χώρες ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν προϊόντα που θα λειτουργούν σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ζώνη των 5GHz γιατί οι περιορισμοί στην χρήση αυτών των συχνοτήτων διαφέρουν από χώρα σε χώρα.

802.11e

Στόχος της ομάδας εργασίας e είναι να τροποποιήσει το υποεπίπεδο MAC, να βελτιώσει το Quality of Service (QoS) του πρωτόκολλου 802.11 και να βελτιστοποιήσει μεταδώσεις με εφαρμογές πραγματικού χρόνου υψηλών απαιτήσεων όπως μεταδόσεις φωνής και video.

802.11f

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αντιμετωπίζει δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι η έλλειψη συμβατότητας ότι δηλαδή τα AP διαφορετικών κατασκευαστών δεν μπορούν να λειτουργούν ομαλά μεταξύ τους όταν υποστηρίζουν λειτουργίες περιαγωγής (roaming). Ένα δεύτερο πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι οι ορισμένοι σταθμοί δεν επιτελούν ποτέ την λειτουργία της επανασύνδεσης (reassociation) παρά μόνο της σύνδεσης (association) και καθιστούν δύσκολη την διαδικασία της ανταλλαγής πληροφοριών. Το 802.11f επιβάλλει στα AP να παρακολουθούν τις δύο αυτές συγκεκριμένες λειτουργίες των κινητών σταθμών.

Όταν επιτελείται η λειτουργία της σύνδεσης ενός σταθμού με κάποιο AP, τότε το AP αποστέλλει ένα πακέτο IAPP Add – notify για να πληροφορήσει τα άλλα APs για τον σταθμό που συσχετίστηκε μαζί του. Ταυτόχρονα αποστέλλεται από το AP

ένα πλαίσιο 802.2 ΧΙD στο DS που περιέχει την MAC διεύθυνση του κινητού σταθμού. Κατά την διάρκεια της επανασύνδεσης ενός σταθμού με κάποιο άλλο AP, το νέο AP στέλνει στο παλιό AP ένα πακέτο IAPP MOVE-notify και το παλιό AP απαντά στο καινούργιο με ένα MOVE-response. Ταυτόχρονα αποστέλλεται από το νέο AP ένα πλαίσιο 802.2 ΧΙD στο DS.

802.11g

Το 802.11g αποτελεί μία προέκταση του 802.11b για την επίτευξη μεγαλύτερων επιδόσεων. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι στα 2.4GHz, όπως και με το 802.11b. Η τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί όμως είναι OFDM προσφέροντας μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της τάξης των 54Mbps με υποστηριζόμενους ρυθμούς στα 24, 36, 48, 54 Mbps. Υποστηρίζει μεγαλύτερη εμβέλεια σε σχέση με το 802.11a, ενώ είναι συμβατό μόνο με το 802.11b υποστηρίζοντας διαμόρφωση CCK.

Το 802.11g περιλαμβάνει δύο προαιρετικά στοιχεία, την τεχνική CCK/ OFDM και την δυαδική συνελικτική κωδικοποίηση πακέτου (Packet Binary Convolutional Coding). Παρόλα αυτά πολλά προϊόντα του προτύπου 802.11g θα υλοποιούν μόνο τις υποχρεωτικές ρυθμίσεις που αναφέραμε παραπάνω.

- Η τεχνική CCK/OFDM είναι μία υβριδική τεχνική της CCK και της OFDM με σκοπό να διευκολύνει την χρήση της κυματομορφής OFDM. Η τεχνική CCK χρησιμοποιείται για την μετάδοση της κεφαλίδας του πακέτου και η OFDM για τη μετάδοση του ωφέλιμου φορτίου. Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 54 Mbps.
- Η τεχνική δυαδικής συνελικτικής κωδικοποίησης πακέτου της εταιρίας Texas Instruments, χαρακτηρίζεται επίσης υβριδική και χρησιμοποιεί την τεχνική CCK για την μετάδοση της κεφαλίδας του πακέτου και τη συμπληρωματική μεταλλαγή κωδικών για τη μετάδοση του ωφέλιμου φορτίου. Υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι και 33 Mbps.

802.11h

Στόχος αυτής της ομάδας είναι να ενισχύσει τα επίπεδα MAC του 802.11 και του φυσικού επιπέδου 802.11a στην ζώνη συχνοτήτων 5 GHz. Το πρότυπο 802.11h ορίζει τους μηχανισμούς που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι συσκευές 802.11a για να συμμορφωθούν με τις απαιτήσεις της Διεθνούς Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) για την χρήση του φάσματος. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η Δυναμική Επιλογή Καναλιού (Dynamic Channel Selection - DFS) και ο Έλεγχος Μετάδοσης Ισχύος (Transmit Power Control - TPC).

- Ο DFS μηχανισμός ανιχνεύει αν άλλες συσκευές χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι και αλλάζει την λειτουργία του ασύρματου δικτύου σε κάποιο άλλο κανάλι αν αυτό είναι απαραίτητο. Σε γενικές γραμμές θα πρέπει να διασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή του επικοινωνιακού φόρτου σε όλο το εύρος του διατιθέμενου φάσματος.
- Ο TPC μηχανισμός προορίζεται στο να μειώσει τις παρεμβολές από ασύρματα δίκτυα σε δορυφορικές επικοινωνίες μειώνοντας την ισχύ εκπομπής. Το TPC χρησιμοποιείται επιπλέον για να μειώσει την κατανάλωση ισχύος των ασύρματων συσκευών και να ελέγξει την εμβέλεια εκπομπής τους για την αποφυγή παρεμβολών.

802.11i

Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφάλειας που βρέθηκαν στο πρωτόκολλο WEP του 802.11. Το WEP κρίθηκε αναξιόπιστο και ανεπαρκές με πολλά σφάλματα και παραλήψεις κάνοντας τα ασύρματα δίκτυα εύκολο στόχο σε διάφορα είδη επιθέσεων. Με αυτή την νέα προδιαγραφή καθορίζονται πρωτόκολλα για τα κλειδιά κρυπτογράφησης όπως Temporal Key Integrity Protocol (TKIP) και Advanced Encryption Standard (AES).

Πέρα από τα πρότυπα 802.11 που έχουμε ήδη αναφέρει υπάρχουν και άλλες ομάδες εργασίες που τις αναφέρουμε επιγραμματικά:

- **802.11 j** Extensions for Japan (2004)
- **802.11 m** Maintenance of the standard
- **802.11 k** Radio resource measurements enhancements
- **802.11 n** Higher throughput improvements
- **802.11 p** Wireless Access for the vehicular environment
- **802.11 r** Fast roaming
- **802.11 s** ESS Mesh Networking
- **802.11 T** Wireless Performance Prediction (WPP)
- **802.11 u** Interworking with external networks
- **802.11 v** Wireless network management
- **802.11 w** Protects management frames
- **802.11 y** Contention based protocol [4, 8, 6]

Αναφορές - Κεφάλαιο 4

1. P.Nicopolidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, “Ασύρματα δίκτυα”, Κλειδάριθμος, 2006
2. Αμπατζής Π. Χρήστος, Γουλιέλμος Γ. Αλέξανδρος, “Ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11 (WLANs) και εξομοίωση επίδοσης τους σε διαφορετικές τοπολογίες”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2005
3. Αλεξιάδης Παναγιώτης, Ηλιάδης Ισαάκ, “Ασύρματα δίκτυα 802.11”, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Πτυχιακή εργασία, 2004
4. Πρασά Διονυσία, “Υλοποίηση Κρυπτογραφικού Συστήματος σε υλικού για ασύρματες επικοινωνίες”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών, Διπλωματική Εργασία, 2008
5. Παπαφιλίππου Α. Δημήτρης, “Υποστήριξη παραλλήλων μεταδόσεων πακέτων σε “Multi – hop” Ασύρματα Δίκτυα”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2005
6. Καρακούση Α.Βασίλη, Κουτσέλλη Π. Θεμιστοκλή, “Εκτίμηση της ποιότητας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε περιβάλλον παρεμβολών από WLAN δίκτυα”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική Εργασία, 2010
7. Σωτήριος Λεβέντης, “Ασύρματα δίκτυα υπολογιστών που κάνουν χρήση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων, Διπλωματική Εργασία, 2006
8. Βάσσης Νικόλαος, Μπουρδουβάλης Παρασκευάς, “Ασύρματη δικτύωση με τεχνολογία IEEE 802.11g Ανάλυση-Υλοποίηση-Ασφάλεια-Διαχείριση”,

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Παράρτημα Χανίων, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Πτυχιακή εργασία, 2006

9. Ivaylo Haratcherev, Carine Balageas and Michele Fiorito “Low-power sleep mode Bell Labs and out-of-band wake-up for indoor Access Points”, 2nd International Workshop on Green Communications, 2009

5. Το υπόστρωμα MAC του IEEE 802.11

Όπως όλα τα 802.x πρωτόκολλα, έτσι και το πρωτόκολλο 802.11 καλύπτει το φυσικό στρώμα και το στρώμα MAC. Το στρώμα MAC λόγω του ότι παρέχει αξιόπιστη παράδοση δεδομένων, έλεγχο πρόσβασης και ασφάλειας στα ανώτερα στρώματα θεωρείται το πιο σημαντικό κομμάτι της προτυποποίησης.

Ως μηχανισμός πρόσβασης έχει επιλεγεί το πρωτόκολλο CSMA (Carrier Sense Multiple Access), Πολλαπλής Προσπέλασης Ανίχνευσης Φέροντος. Για να αποφευχθούν όσο το δυνατό περισσότερο οι συγκρούσεις αντί για το μηχανισμό CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) που χρησιμοποιείται στο IEEE 802.3 (Ethernet) επιλέχτηκε ο μηχανισμός CSMA/CA (Collision Avoidance – Αποφυγή Σύγκρουσης). Η ανίχνευση φέροντος (Carrier Sensing) συνδυάζεται με μηνύματα σηματοδότησης για την αποφυγή σύγκρουσης και την επίτευξη πιο 'δίκαιου' τρόπου κατανομής του μέσου μεταξύ των τερματικών. Αιτία για την επιλογή αυτή είναι ότι η ισχύς του σήματος μειώνεται σημαντικά βάσει του τετραγώνου της απόστασης. Ποιο συγκεκριμένα κάποιος χρήστης μπορεί να μην ακούει το μέσο επειδή το τερματικό του είναι 'κρυμμένο' (Hidden Terminal Problem) ή κάποιος χρήστης μπορεί να ακούει το μέσο το οποίο είναι κατειλημμένο και για τον λόγο αυτόν δεν εκπέμπει προς κάποιον τρίτο αν και στην ουσία θα μπορούσε χωρίς να δημιουργήσει σύγκρουση, γνωστό ως πρόβλημα του Εκτεθειμένου Τερματικού (Exposed Terminal Problem).

5.1 Αξιόπιστη Παράδοση Δεδομένων

Όπως κάθε ασύρματο δίκτυο, έτσι και το 802.11 μπορεί να εμφανίσει μεγάλο βαθμό αναξιοπιστίας. Προβλήματα όπως η κακή ποιότητα ασύρματης ζεύξης λόγω θορύβου που μπορεί να οφείλεται σε έντονες καιρικές συνθήκες (για παράδειγμα, υγρασία, βροχή ή χιονόπτωση) καθώς και οι αυξομειώσεις τις θερμοκρασίας, παρεμβολές και άλλα φαινόμενα διάδοσης μπορούν να οδηγήσουν στην απώλεια ενός μεγάλου αριθμού πλαισίων. Όταν μιλάμε για απώλεια πλαισίων αναφερόμαστε στην καταστροφή τους ή στην παραμόρφωσή τους. Επειδή σε ένα ασύρματο δίκτυο υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ένας αριθμός πλαισίων MAC να μην ληφθεί επιτυχώς οι κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων δεν επαρκούν. Για να αντιμετωπιστεί η παραπάνω κατάσταση το 802.11 περιλαμβάνει ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων που αναφέρετε παρακάτω.

5.2 Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο

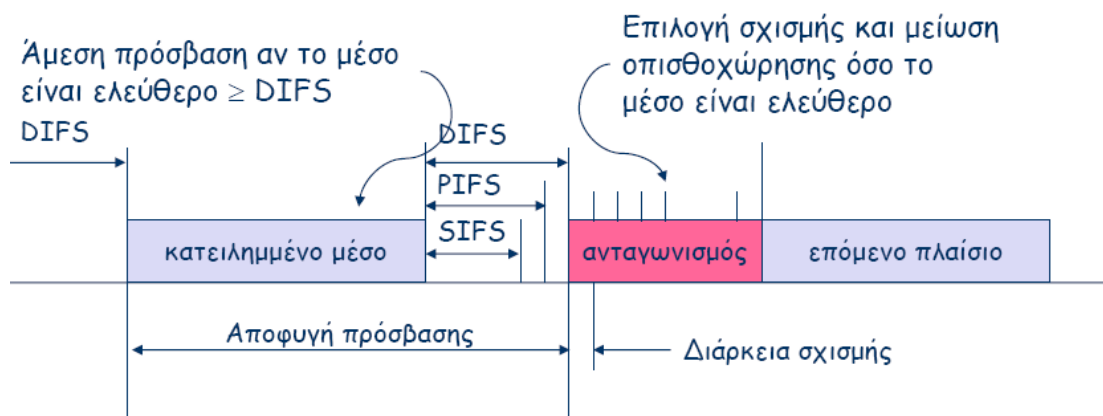
Το στρώμα MAC ορίζει τρεις διαφορετικούς τρόπους προσπέλασης:

- Την Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (Distributed Coordination Function - DCF)
- Την Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (Point Coordination Function – PCF)
- Την Λειτουργία Enhanced DCF (EDCF)

Η μέθοδος πρόσβασης Distributed Coordination Function(DCF) θεωρείται υποχρεωτική ως βασική μέθοδος πρόσβασης που βασίζεται στον ανταγωνισμό για το μέσο. Σε αντίθεση η Point Coordination Function(PCF) είναι προαιρετική αφού αποτελεί προέκταση του DCF για να παρέχει εξυπηρέτηση χωρίς ανταγωνισμό, δηλαδή υπάρχει ένας κόμβος- αφέντης που ελέγχει την πρόσβαση μεταξύ ενός ή περισσότερων κόμβων- σκλάβων ενώ η χρήση της μειώνει τις μεταβολές στις καθυστερήσεις μετάδοσης και εκτελείται μόνο σε Access Point όποτε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε δίκτυα υποδομής (infrastructure networks). Παρόλα αυτά και οι δύο μέθοδοι πρόσβασης (DCF, PCF) δεν υποστηρίζουν μηχανισμούς Quality of Service – QoS. Η λύση έρχεται στο πρότυπο IEEE 802.11e όπου ορίζονται δύο νέες συναρτήσεις πρόσβασης: η Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF) και η Hybrid Coordination Function (HCF) που είναι εξαιρετικά χρήσιμες για εφαρμογές όπως multimedia streaming και Voice over IP (VoIP).

5.2.1. Χρονικά Διαστήματα Πρόσβασης - Interframe Spacing

Κάθε σταθμός που επιθυμεί να μεταδώσει κάποιο πλαίσιο πρέπει αρχικά να περιμένει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα και αν δεν ανιχνεύσει άλλη μετάδοση δηλαδή αν το μέσο είναι ελεύθερο να προχωρήσει στην απόκτηση του μέσου. Το χρονικό αυτό διάστημα IFS (interframe space) διαφέρει ανάλογα με τον τρόπο προσπέλασης που χρησιμοποιούμε DCF ή PCF. Το 802.11 χρησιμοποιεί 4 διαφορετικά interframe spaces μεταξύ των πλαισίων. Τα τρία από αυτά χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την πρόσβαση του μέσου. Η σχέση μεταξύ τους φαίνεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Χρονικά Διαστήματα Πρόσβασης

Διακρίνουμε διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας για τους διαφορετικούς τύπους της κίνησης. Εάν περιμένει κάποια υψηλής προτεραιότητας κίνηση, τότε αυτή καταλαμβάνει το κανάλι πριν από ένα πλαίσιο χαμηλής προτεραιότητας. Το interframe space είναι μια σταθερή τιμή του χρόνου, ανεξάρτητο από την ταχύτητα μετάδοσης που βοηθάει στην ανταλλαγή και χρήση πληροφοριών μεταξύ κόμβων με διαφορετικούς ρυθμούς δεδομένων,.

Short interframe space – SIFS (Σύντομο Μεσοδιάστημα μεταξύ πλαισίων):

Το SIFS χρησιμοποιείται για τις υψηλότερης προτεραιότητας μεταδόσεις (highest-priority transmissions), όπως τα RTS/CTS πλαίσια, πλαίσια θετικής επιβεβαίωσης ACK ή τμήμα (fragment) μεγαλύτερου πλαισίου. Οι υψηλής προτεραιότητας μεταδόσεις μπορούν να ξεκινήσουν όταν λήξει το SIFS. Όταν ξεκινήσουν αυτές οι υψηλής προτεραιότητας μεταδόσεις το μέσο γίνεται κατειλημμένο και έτσι τα πλαίσια μετάδοσης μετά τη λήξη του SIFS έχουν προτεραιότητα πριν από τα πλαίσια που μπορούν να μεταδοθούν μετά από μεγαλύτερης διάρκειας χρόνους. Το πλαίσιο αυτό είναι το πιο μικρό από τα τέσσερα πλαίσια και χρησιμοποιείται σε όλες τις λειτουργίες άμεσης απάντησης.

Point Coordination interframe space (PCF interframe space) – PIFS (Σημειακός Συντονιστής):

Τα PIFS είναι μεγαλύτερη διάρκειας χρόνου σε σχέση με το SIFS και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο PCF κατά τη διάρκεια της λειτουργίας χωρίς ανταγωνισμό. Σταθμοί που έχουν δεδομένα να μεταδώσουν σε

περίοδο χωρίς ανταγωνισμό μπορούν να τα μεταδώσουν μετά από την λήξη του PIFS. Η τιμή του ισούται με SIFS συν μια Χρονοσχισμή, δηλαδή: $PIFS = SIFS + Slot\ Time$

DCF interframe space (Distribute IFS) - DIFS (Κατανεμημένο IFS):

Το DIFS είναι ο μικρότερος χρόνος αναμονής με βάση τον αλγόριθμο DCF. Μεγαλύτερος σε διάρκεια από τους προηγούμενους δύο χρόνους. Οι σταθμοί έχουν άμεση πρόσβαση στο μέσο αν αυτό μείνει ελεύθερο για περίοδο μεγαλύτερη από την DIFS. Η τιμή του ισούται με PIFS συν μια Χρονοσχισμή, δηλαδή: $DIFS = PIFS + Slot\ Time$

Extended interframe space – EIFS (Εκτεταμένος IFS):

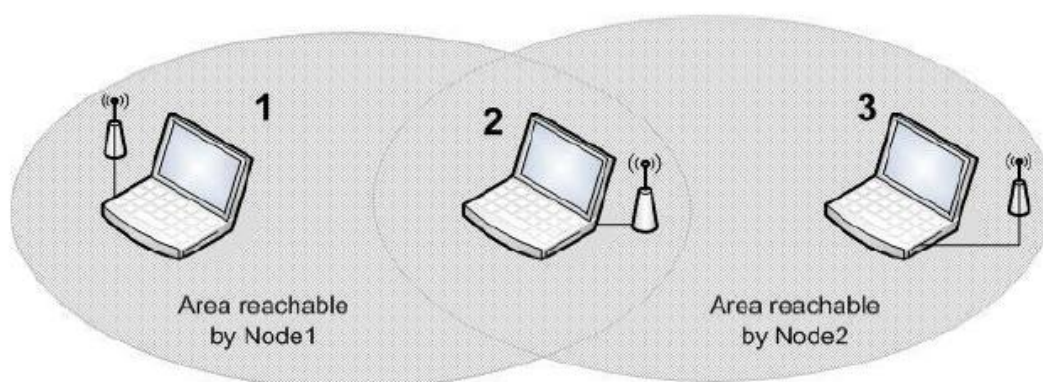
Το EIFS δε φαίνεται στο σχήμα 3.1 γιατί η χρονική διάρκεια δεν είναι καθορισμένη. Χρησιμοποιείται μόνο όταν συμβούν σφάλματα στη μετάδοση του πλαισίου. Πιο συγκεκριμένα αφού ο παραλήπτης μπορεί να μην έχει ιδέα για το τι συμβαίνει θα πρέπει να περιμένει αρκετό χρόνο έτσι ώστε να αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ των σταθμών σε μία συνδιάλεξη.

5.2.2. Ανίχνευση τυχόν υπάρχουσας μετάδοσης στο κανάλι - Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος

Στα Ethernet δίκτυα, οι σταθμοί εξαρτώνται από τη λήψη της μετάδοσης για να εκτελέσουν τη συνάρτηση carrier sensing του CSMA/CD. Ο μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος θεωρείται απλός. Αν ένας κόμβος ακούσει μετάδοση μηνύματος στο κανάλι, την στιγμή που είναι έτοιμος να ξεκινήσει την μετάδοση, περιμένει μέχρι να γίνει αδρανές το μέσο και στη συνέχεια μεταδίδει. Όσο λαμβάνει χώρα η μετάδοση, ο κόμβος κάνει ακρόαση στο μέσο. Αν ανιχνεύσει σύγκρουση μεταδίδει ένα σήμα παρεμβολής για να γνωρίζουν όλοι οι σταθμοί ότι έγινε σύγκρουση και σταματά τη μετάδοση. Μετά τη μετάδοση του σήματος παρεμβολής περιμένει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και προσπαθεί να μεταδώσει ξανά. Αυτό το τυχαίο χρονικό διάστημα αναμονής καθορίζεται από τον αλγόριθμο Δυαδικής Εκθετικής Υποχώρησης (Binary exponential back off). Μετά από κάθε αποτυχημένη απόπειρα μετάδοσης, ο μέσος χρόνος αναμονής διπλασιάζεται.

Μετά από 16 ανεπιτυχείς προσπάθειες ο σταθμός εγκαταλείπει και αναφέρει σφάλμα μετάδοσης.

Στα ασύρματα δίκτυα όμως δεν υπάρχουν ξεκάθαρα όρια, μερικές φορές μπορεί ένας κόμβος να μην είναι δυνατό να επικοινωνήσει με κανένα άλλο κόμβο στο ασύρματο δίκτυο γνωστό ως Πρόβλημα Κρυμμένου Τερματικού (Hidden Terminal Problem), όπως για παράδειγμα στο σχήμα 3.2.

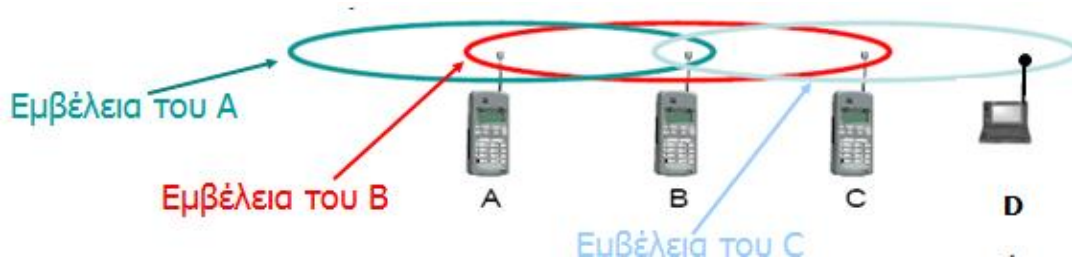


Σχήμα 3.2 : Ο κόμβος C είναι κρυμμένος

Σε αυτό το σχήμα, ο κόμβος 2 μπορεί να επικοινωνήσει και με τον κόμβο 1 και με τον κόμβο 3 αφού βρίσκετε στα όρια μετάδοσης του, όμως οι κόμβοι 1 και 3 δεν μπορούν να μεταδώσουν ταυτόχρονα. Για τον κόμβο 1, ο κόμβος 3 είναι ένας κρυμμένος κόμβος, αφού βρίσκεται στα όρια του παραλήπτη του κόμβου 2, αλλά όχι στα δικά του όρια μετάδοσης. Αν γινόταν χρήση ενός πρωτοκόλλου χωρίς εγγύηση επιβεβαίωσης, θα ήταν εύκολο για τους κόμβους 1 και 3 να μεταδώσουν ταυτόχρονα, καθιστώντας έτσι τον κόμβο 2 ανίκανο να ανιχνεύσει οτιδήποτε. Επιπλέον οι κόμβοι 1 και 3 δε θα είχαν κάποια ένδειξη λάθους γιατί η σύγκρουση θα γινόταν τοπικά στον κόμβο 2.

Είτε εξαιτίας των κρυμμένων κόμβων είτε εξαιτίας της κατάστασης στην οποία δύο κομβοί επιλέγουν τον ίδιο μετρητή χρόνου αποχής προκύπτουν συγκρούσεις. Τα αποτελέσματα των συγκρούσεων από τους κρυμμένους κόμβους είναι δύσκολο να ανιχνευθούν στα ασύρματα δίκτυα γιατί οι μεταδότες-παραλήπτες είναι γενικά half-duplex, δηλαδή δεν μπορούν να μεταδίδουν και να λαμβάνουν την ίδια χρονική στιγμή.

Μία ακόμα αδυναμία για τον καθορισμό της πρόσβασης στο μέσο είναι το πρόβλημα Εκτεθειμένου Τερματικού (Exposed Terminal Problem), το οποίο φαίνεται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Εκτεθειμένο Τερματικό

Σε αυτό το σχήμα, ο κόμβος B μπορεί να επικοινωνήσει και με τον κόμβο A και C ενώ ο C μπορεί να επικοινωνήσει και με τον κόμβο B και D. Έστω ότι ο κόμβος C θέλει να μεταδώσει στον κόμβο D. Ο κόμβος C πρέπει να περιμένει, αφού 'ακούει' (λόγω του Carrier Sense) ότι γίνεται χρήση του μέσου (αφού βρίσκεται στην εμβέλεια του B, ο οποίος εκπέμπει). Όμως ο A είναι εκτός εμβέλειας του C, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται στην πράξη αναμονή για εκπομπή (για να μεταδώσει στον D). Καταλήγουμε λοιπόν να λέμε ότι ο κόμβος C δεν εκπέμπει προς κάποιον τρίτο που σημαίνει ότι είναι «εκτεθειμένος» στον κόμβο B.

Το γενικό συμπέρασμα μας μαρτυράει ότι είναι δύσκολο να δημιουργηθεί ένας αξιόπιστος μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος που να λειτουργεί μόνο στο φυσικό επίπεδο. Οι Physical carrier-sensing συναρτήσεις παρέχονται από το φυσικό επίπεδο με ερώτηση και εξαρτώνται από το μέσο και τη διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Με τους κρυμμένους κόμβους να παραμονεύουν δυναμικά, το physical carrier-sensing δεν μπορεί να περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες.

Γι' αυτό το λόγο αλλά και για την αποτροπή συγκρούσεων, το πρότυπο 802.11 προβλέπει και ένα δεύτερο μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος που λειτουργεί στο MAC επίπεδο γνωστός ως εικονικός μηχανισμός ανίχνευσης φέροντος (virtual carrier-sensing function). Γενικά οι μηχανισμοί ανίχνευσης φέροντος (carrier sensing functions) χρησιμοποιούνται για να διαπιστώσουν αν το μέσο είναι ελεύθερο. Υπάρχουν δυο τύποι carrier sensing συναρτήσεων του 802.11 που διαχειρίζονται αυτή τη διαδικασία: η physical carrier-sensing και η virtual carrier-sensing function. Αν κάποια carrier sensing functions δείξει ότι το μέσο είναι

απασχολημένο αυτό αναφέρεται από το Logical Link Control (LLC) στο ανώτερο επίπεδο.

Οι Virtual carrier-sensing χρησιμοποιούν ένα μετρητή χρόνου που ονομάζεται Network Allocation Vector (NAV). Τα περισσότερα 802.11 πλαίσια μεταφέρουν ένα πεδίο χρονικής διάρκειας, το οποίο χρησιμοποιείται για να κρατάει το μέσο για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Το NAV είναι ένα χρονόμετρο που δείχνει για πόσο χρονικό διάστημα το μέσο θα είναι κατειλημμένο. Οι σταθμοί θέτουν το NAV τους για χρονική περίοδο ίση με αυτήν που υπολογίζουν ότι θα χρησιμοποιήσουν το μέσο έως ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία. Οι υπόλοιποι σταθμοί μετρούν αντίστροφα από το NAV μέχρι το 0. Όταν το NAV δεν είναι μηδέν, η carrier-sensing function δείχνει ότι το μέσο είναι κατειλημμένο, ενώ όταν το NAV φτάσει στο μηδέν, η virtual carrier-sensing function δείχνει ότι το μέσο είναι ελεύθερο. Η χρήση του NAV επιτρέπει στους σταθμούς να επιτελέσουν συγκεκριμένες ενέργειες χωρίς να χάσουν τον έλεγχο του μέσου μετάδοσης, όπως για παράδειγμα η αποστολή ενός πλαισίου με τη χρήση του μηχανισμού RTS/CTS. Για να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία οι δύο σταθμοί θα πρέπει να ανταλλάξουν τέσσερα πλαίσια, αλγόριθμος τετραπλής χειραψίας. Αφού πάρουν τον έλεγχο με τη χρήση του NAV μπορούν να το κάνουν χωρίς να διακοπούν ενώ οι άλλοι σταθμοί αναβάλλουν την προσπάθεια πρόσβασης τους στο μέσο μέχρι να τελειώσει το NAV.

5.2.3. Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (Distributed Coordination Function - DCF)

Για να ξεκινήσει η μετάδοση ενός πλαισίου θα πρέπει πρώτα ένας σταθμός να επιτύχει την πρόσβαση στο μέσο. Πιο συγκεκριμένα ένας σταθμός ο οποίος θέλει να μεταδώσει ένα πακέτο σε έναν άλλο σταθμό, παρακολουθεί αρχικά τη κατάσταση του καναλιού και λαμβάνει τα ακόλουθα μέτρα:

- Αν το μέσο φανεί ότι είναι αδρανές (idle) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ίσο με ένα DIFS, τότε ο σταθμός μπορεί να ξεκινήσει την μετάδοση αμέσως.
- Αν το μέσο φανεί δεσμευμένο (busy) ή αν το μέσο καταστεί απασχολημένο κατά τη διάρκεια του διαστήματος DIFS, ο σταθμός αναβάλλει τη μετάδοση

και συνεχίζει να ελέγχει το ασύρματο μέσο περιοδικά μέχρι να τελειώσει η τρέχουσα μετάδοση.

- Όταν τελειώσει η τρέχουσα μετάδοση, ο σταθμός καθυστερεί για άλλο ένα DIFS, ενώ ανιχνεύει το μέσο. Αν το μέσο παραμείνει αδρανές σε αυτή την περίοδο τότε ο σταθμός υπαναχωρεί (backoff) για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας μία τεχνική γνωστή ως δυαδική εκθετική υποχώρηση (binary exponential backoff) για να καθορίσει πόσο θα είναι το επιπλέον χρονικό διάστημα αναμονής και ανιχνεύει ξανά το μέσο. Αν αυτό παραμείνει αδρανές ο σταθμός μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση.

- Αν η μετάδοση είναι αποτυχημένη δηλαδή αν δεν ληφθεί έγκαιρα επιβεβαίωση ή αν ο σταθμός δεν καταφέρει να πάρει τον έλεγχο του μέσου για να μεταδώσει το πλαίσιο, θεωρείται ότι έχει συμβεί σύγκρουση (collision). Τότε ο σταθμός επιλέγει πάλι τυχαία μια σχισμή του contention window και επιχειρεί ξανά να μεταδώσει. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να υπάρξει επιτυχής μετάδοση του πλαισίου ή να απορριφθεί το πλαίσιο μέσο του retry counter.

Αυτός είναι ο βασικός μηχανισμός για να μπορέσει ένας σταθμός να αποκτήσει τον έλεγχο του μέσου και να αποφεύγονται οι συγκρούσεις σε αυτό.

Ο μηχανισμός DCF περιγράφει τις παρακάτω δύο τεχνικές για την μετάδοση των πακέτων :

1. Βασικής Πρόσβασης (Basic Access) και
2. Λειτουργία Request To Send / Clear To Send (RTS/CTS).

5.2.3.1. Βασικής Πρόσβασης (Basic Access)

Η τεχνική Basic Access χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό ο οποίος χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο διπλής χειραψίας του CSMA/CA (DATA-ACK). Κάθε φορά που ένας σταθμός έχει στείλει ένα πακέτο το οποίο έχει παραληφθεί σωστά από τον σταθμό προορισμού, ο σταθμός προορισμού στέλνει μία θετική επιβεβαίωση ACK στον

αποστολέα για να τον ενημερώσει για την ορθή παραλαβή του πακέτου. Η μετάδοση ενός πακέτου επιβεβαίωσης θεωρείται υψηλής προτεραιότητας και αρχίζει μετά από μια περίοδο SIFS. Δεδομένου ότι το SIFS είναι μικρότερο από ένα DIFS, κανένας άλλος σταθμός δεν είναι σε θέση να ανιχνεύσει το κανάλι σε κατάσταση αδρανής για ένα DIFS, παρά μόνο μετά το τέλος της θετικής επιβεβαίωσης ACK. Ως αποτέλεσμα ο σταθμός που προτίθεται να στείλει την επιβεβαίωση ευνοείται στην απόκτηση πρόσβασης στο μέσο.

Εάν ο σταθμός αποστολέας δεν λάβει το σήμα θετικής επιβεβαίωσης ACK μέσα σε έναν προκαθορισμένο χρόνο ACK-Timeout, ή ανιχνεύσει την μετάδοση ενός άλλου διαφορετικού πακέτου στο κανάλι, διεκδικεί ξανά το κανάλι και ξανά-προγραμματίζει τη μετάδοση του πακέτου σύμφωνα με τους backoff κανόνες. Όλα τα πλαίσια unicast πρέπει να επιβεβαιώνονται από τον παραλήπτη ενώ τα πλαίσια broadcast δεν απαιτούν επιβεβαίωση.

5.2.3.2. Εντοπισμός και διόρθωση λαθών

Ο σταθμός που στέλνει ένα πλαίσιο είναι υπεύθυνος για την ανίχνευση λαθών και την διόρθωση τους. Η διόρθωση των λαθών γίνεται αφού ο αποστολέας σταθμός ξαναστείλει το πλαίσιο. Για τον έλεγχο της διαδικασίας αυτής, κάθε πλαίσιο έχει ένα μοναδικό μετρητή επανάληψης αποστολής (retry counter) συνδεδεμένο μαζί του. Κάθε φορά που ένα πλαίσιο επανεκπέμπεται διότι απέτυχε η μετάδοσή του, ο retry counter αυξάνεται κατά 1 μέχρις ότου φτάσει σε ένα προκαθορισμένο όριο, όπου το πλαίσιο απορρίπτεται.

Κάθε σταθμός διακρίνει τα πλαίσια σε short και long και διατηρεί αντίστοιχα δυο retry counters: τον short retry count και τον long retry count. Όταν ένας σταθμός μεταδίδει ένα πλαίσιο πρέπει να λάβει μια επιβεβαίωση από τον παραλήπτη αλλιώς θα θεωρήσει ότι η μετάδοση απέτυχε. Κάθε φορά που η μετάδοση ενός πλαισίου αποτυγχάνει ο αντίστοιχος μετρητής αυξάνεται. Οι μετρητές αυτοί μηδενίζονται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

Για τον short retry count αυτές είναι:

- Λήψη ενός CTS πλαισίου σαν απάντηση του εκπεμπόμενου RTS.
- Λήψη πλαισίου ACK που λαμβάνεται μετά από μια μη-τεμαχισμένη (non-fragmented) μετάδοση.
- Λήψη broadcast ή multicast πλαισίου.

Ο long retry count μηδενίζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Λήψη πλαισίου ACK για πλαίσιο μεγαλύτερο του RTS threshold.
- Λήψη broadcast ή multicast πλαισίου.

5.2.3.3. Αλγόριθμος Δυαδικής Εκθετικής Υποχώρησης (Binary Exponential Backoff)

Το πρωτόκολλο CSMA/CA ελαττώνει την πιθανότητα συγκρούσεων μεταξύ των σταθμών με την χρησιμοποίηση του αλγορίθμου εκθετική οπισθοχώρησης (Exponential Back Off Algorithm). Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται στις παρακάτω περιπτώσεις :

- Όταν ο σταθμός ανιχνεύει το μέσο πριν από την πρώτη μετάδοση του πακέτου και διαπιστώνει ότι το μέσο είναι κατειλημμένο.
- Μετά από κάθε αναμετάδοση (retransmission).
- Μετά από την πρώτη επιτυχή μετάδοση.

Στο πρότυπο IEEE 802.11, ο χρόνος διαιρείται σε χρονοσχισμές (Slot Times). Η χρονοσχισμή ισούται με το χρόνο που απαιτείται από οποιοδήποτε σταθμό ώστε να ανιχνεύσει τη μετάδοση ενός πακέτου από κάποιον άλλο σταθμό. Η διάρκεια της χρονοσχισμής είναι διαφορετική για κάθε τύπο φυσικού στρώματος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.4.

SLOT TIME, MINIMUM AND MAXIMUM CONTENTION WINDOW
VALUES FOR THREE PHY SPECIFIED BY THE 802.11 STANDARD:
FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM(FHSS),
DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM(DSSS), AND INFRARED(IR)

PHY	Slot Time(σ)	CWmin	CWmax
FHSS	50 μς	16	1024
DSSS	20 μς	32	1024
IR	8 μς	64	1024

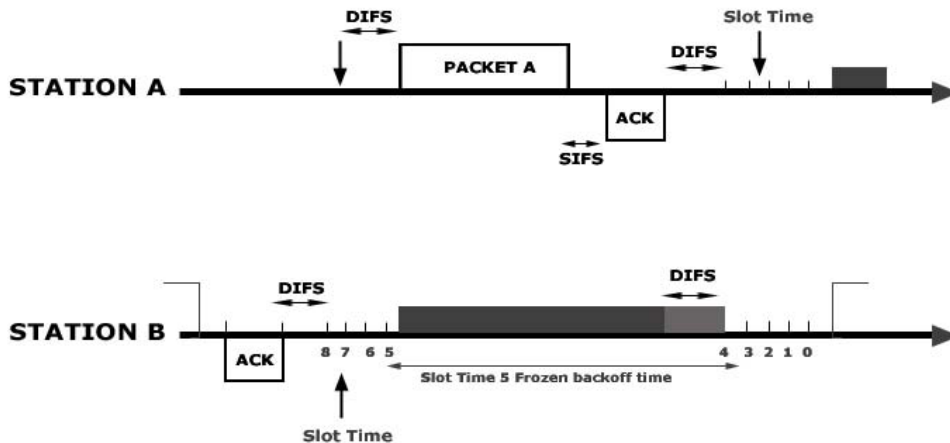
Πίνακας 3.4: Προδιαγραφές Φυσικού Επιπέδου IEEE 802.11

Το χρονικό διάστημα αναμονής ορίζεται **Back off Timer = Random() • Slot Time**

Όπου Slot Time είναι η χρονική διάρκεια μίας χρονοσχισμής και Random() είναι ένας ψευδοτυχαίος αριθμός ο οποίος επιλέγεται ομοιόμορφα από το διάστημα (0, CW -1). Η τιμή CW καλείται contention window (παράθυρο σύγκρουσης) και στην πρώτη προσπάθεια μετάδοσης του πακέτου το CW τίθεται ίσο με την τιμή CWmin (minimum contention window). Το CW θα διπλασιαστεί κάθε φορά που μία ανεπιτυχής προσπάθεια για μετάδοση ενός πλαισίου γίνει η αιτία να αυξηθεί ο μετρητής επανάληψης (retry counter) του σταθμού, μέχρι το CW να φτάσει την τιμή CWmax (maximum contention window).

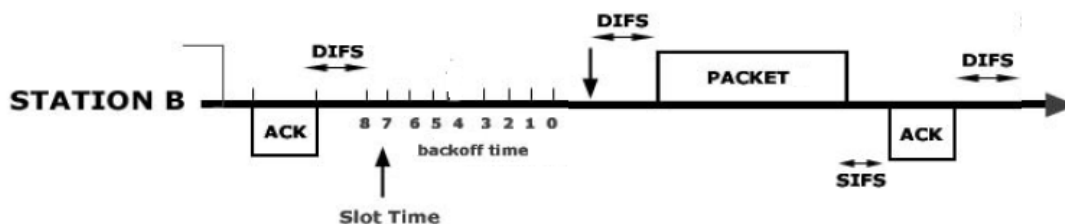
Ο μετρητής backoff timer μειώνεται εφόσον το κανάλι ανιχνεύεται σε κατάσταση αδράνειας ενώ σταματάει να μειώνεται, όταν ανιχνεύεται μια μετάδοση. Η μείωση του μετρητή ξανά ενεργοποιείται όταν το κανάλι είναι αδρανές για περισσότερο από ένα DIFS. Η μετάδοση του πλαισίου θα ξεκινήσει όταν ο backoff timer φτάσει στο μηδέν. Μετά από μία επιτυχημένη μετάδοση ή από απόρριψη του προς μετάδοση πλαισίου ο μετρητής επανέρχεται στην ελάχιστη τιμή CW_{min}.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την διαδικασία παρακάτω αναφέρουμε ένα παράδειγμα, σχήμα 3.5:



Σχήμα 3.5: Backoff time

- Ανίχνευση μετάδοσης – Παγώνει ο backoff timer:
 - Το μέσο είναι διαθέσιμο, ο σταθμός B περιμένει ένα χρονικό διάστημα DIFS και ελέγχει ξανά το μέσο.
 - Για να καθορίσει πόσο θα είναι το επιπλέον χρονικό διάστημα αναμονής, ο σταθμός B επιλέγει τυχαία μια σχισμή του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window) εδώ επιλέχτηκε backoff time = 8.
 - Ο σταθμός A στέλνει το πρώτο πακέτο του, όπως φαίνεται στο σχήμα 3, STATION A αφού πρώτα έχει περιμένει ένα χρονικό διάστημα DIFS για να μεταδώσει το πακέτο στη συνέχεια.
 - Το μέσο έχει καταστεί απασχολημένο, ο σταθμός B σταματά τον μετρητή του στην τιμή 5, μέχρι να ελευθερωθεί το μέσο ξανά.
 - Ο backoff counter συνεχίζει να μειώνεται ξανά μόνο όταν το κανάλι ανιχνευθεί αδρανές μετά από ένα χρονικό διάστημα DIFS.



Σχήμα 3.6: Backoff time

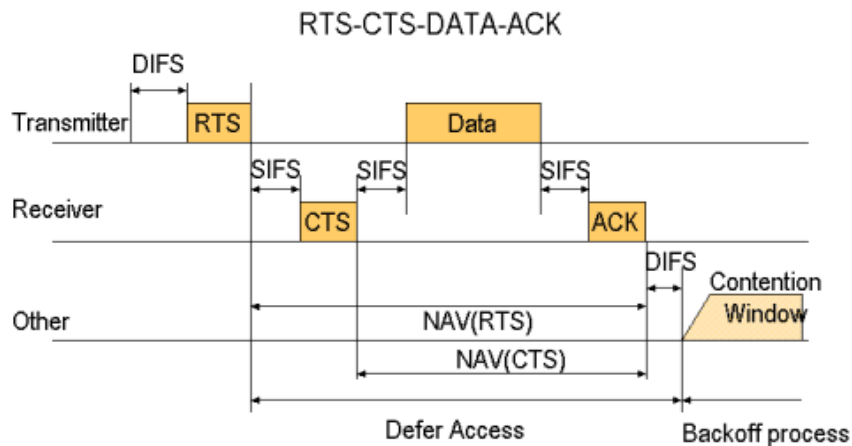
- Χωρίς ανίχνευση μετάδοσης σχήμα 3.6:
 - Το μέσο είναι διαθέσιμο, ο σταθμός Β περιμένει ένα χρονικό διάστημα DIFS και ελέγχει ξανά το μέσο.
 - Για να καθορίσει πόσο θα είναι το επιπλέον χρονικό διάστημα αναμονής, ο σταθμός Β επιλέγει τυχαία μια σχισμή του παραθύρου ανταγωνισμού (contention window) εδώ επιλέχτηκε backoff time = 8.
 - Το μέσο παραμένει αδρανές, με το τέλος του backoff time ο σταθμός μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση.

5.2.3.4. Λειτουργία Request To Send / Clear To Send (RTS/CTS)

Η λειτουργία χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό ο οποίος αναβαθμίζει τον αλγόριθμο διπλής χειραψίας CSMA/CA (DATA-ACK) που αναφέραμε παραπάνω σε ένα αλγόριθμο τετραπλής χειραψίας four way handshaking (RTS-CTS-DATA-ACK). Τα δύο επιπλέον πλαίσια που εισάγονται είναι τα RTS (Ready To Sent) και CTS (Clear To Sent).

Σκοπός του μηχανισμού αυτού είναι να διασφαλιστεί ότι μία συγκεκριμένη ανταλλαγή πλαισίου θα γίνει χωρίς την διακοπή από τη μετάδοση κάποιου τρίτου σταθμού δηλαδή την αύξηση της απόδοσης ενός συστήματος. Επιπλέον το RTS/CTS επιχειρεί να αντιμετωπίσει και το πρόβλημα των κρυμμένων τερματικών.

Η βασική ιδέα που φαίνεται στο σχήμα 3.7, είναι ότι όταν ένας σταθμός επιθυμεί να μεταδώσει ένα πακέτο στέλνει στον προορισμό ένα πακέτο αίτησης αποστολής RTS το οποίο δεν περιέχει δεδομένα. Ο σταθμός προορισμού αν είναι έτοιμος να λάβει το πακέτο αποκρίνεται μετά από ένα διάστημα SIFS με ένα πακέτο ετοιμότητας για αποστολή CTS επιτρέποντας στον σταθμό αποστολέα να ξεκινήσει τη μετάδοση δεδομένων μετά από διάστημα SIFS αφού έχει λάβει το πλαίσιο CTS. Στη συνέχεια ο σταθμός αποστολέας στέλνει το πλαίσιο δεδομένων και περιμένει την ορθή επιβεβαίωση λήψης ACK από τον παραλήπτη-σταθμό. Για να ολοκληρωθεί σωστά η διαδικασία απαιτείται η ανταλλαγή τεσσάρων πλαισίων.



Σχήμα 3.7: Λειτουργία RTS/CTS

Το RTS/CTS έχει σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσει και το πρόβλημα των κρυμμένων τερματικών όπως προείπαμε. Τα πακέτα RTS και CTS ενημερώνουν τους γείτονες των δύο επικοινωνούντων κόμβων για το μήκος του προς μετάδοση πακέτου. Οι σταθμοί που ακούν είτε το πακέτο RTS είτε το πακέτο CTS αποσύρονται μέχρι να ολοκληρωθεί η μετάδοση, μέχρι δηλαδή να παραδοθεί και το πακέτο ACK. Έτσι ενημερώνεται και το network allocation vector (NAV) του σταθμού, το οποίο περιέχει πληροφορίες για τη χρονική περίοδο στην οποία το κανάλι θα παραμείνει απασχολημένο. Επομένως όταν ένας σταθμός είναι κρυμμένος από τον αποστολέα σταθμό δεν θα λάβει το πλαίσιο RTS του αποστολέα, αλλά θα ακούσει το πλαίσιο CTS με αποτέλεσμα να θεωρήσει στο διάστημα που υποδεικνύει το CTS κατειλημμένο τον δίαυλο και έτσι θα καθυστερήσει την περαιτέρω μετάδοση για να αποφύγει τη σύγκρουση.

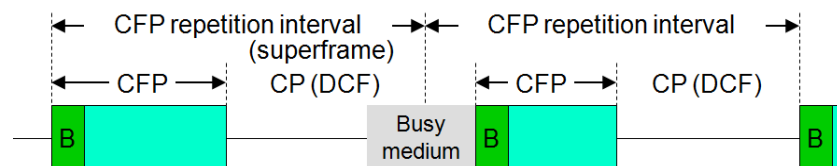
Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι το μικρό μέγεθος των πακέτων RTS και CTS (20 και 14 byte αντίστοιχα) συγκριτικά με το μέγιστο μέγεθος πλαισίου δεδομένων (2346 byte). Στην περίπτωση που θα έχουμε σύγκρουση μεταξύ των πακέτων RTS/CTS θα δαπανηθεί μικρότερο εύρος ζώνης σε σχέση με τα μεγαλύτερα πλαίσια δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση ο μηχανισμός RTS/CTS θεωρείται αποτελεσματικός αφού προσφέρει καλύτερη απόδοση του συστήματος. Ας μην ξεχνάμε όμως και την περίπτωση που έχουμε αποστολή και λήψη μικρών πακέτων δεδομένων και συνθήκες μέσου φορτίου όπου θα έχουμε πρόσθετη καθυστέρηση λόγω της συνολικής επιβάρυνσης του συστήματος.

Τέλος, η χρήση του μηχανισμού RTS/CTS θεωρείται προαιρετική. Ένα υποσύνολο κόμβων μπορεί να αποφασίσει να τον χρησιμοποιήσει ενώ ένα άλλο όχι και για αυτό το λόγο η εφαρμογή του χαρακτηρίζεται ασύμμετρη.

5.2.4. Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF)

Το IEEE 802.11 MAC μπορεί επίσης να ενσωματώσει μία προαιρετική τεχνική πρόσβασης που καλείται Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού, η οποία υλοποιείται πάνω στην DCF και η λειτουργία της συνίσταται στη διαδικασία ερωταπόκρισης (rolling) των σταθμών από το σημειακό συντονιστή σχετικά με την πρόθεσή τους να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο. Αυτή η τεχνική πρόσβασης χρησιμοποιεί ένα σημείο συντονισμού το οποίο θα λειτουργεί στο σημείο πρόσβασης (AP) της βασικής ομάδας εξυπηρέτησης (BSS) για να καθορίζει ποιος σταθμός έχει το δικαίωμα εκπομπής. Η PCF ελέγχει τις μεταφορές πακέτων κατά τη διάρκεια μιας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό.

Στην αρχή της λειτουργίας PCF το AP στέλνει ένα πλαίσιο Beacon το οποίο υποδεικνύει τη μέγιστη διάρκεια της περιόδου άνευ ανταγωνισμού (Contention Free Period, CFP). Οι σταθμοί θέτουν επίσης το NAV με τιμή τη μέγιστη διάρκεια της περιόδου CFP, αποτρέποντας την πρόσβαση μέσω του DCF γι' αυτήν την περίοδο. Για να αποφευχθεί η πλήρης κατάληψη του μέσου από το AP καθορίζεται ένα διάστημα γνωστό ως υπερπλαίσιο (superframe). Το πρώτο τμήμα αυτού του διαστήματος εξυπηρετεί την κυκλοφορία άνευ ανταγωνισμού, ενώ στο δεύτερο τμήμα το AP παραμένει ανενεργό προκειμένου να δώσει στους σταθμούς την δυνατότητα να ανταγωνιστούν για την πρόσβαση στο μέσο μέσω της κατανεμημένης λειτουργίας συντονισμού (DCF), όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα 3.8.



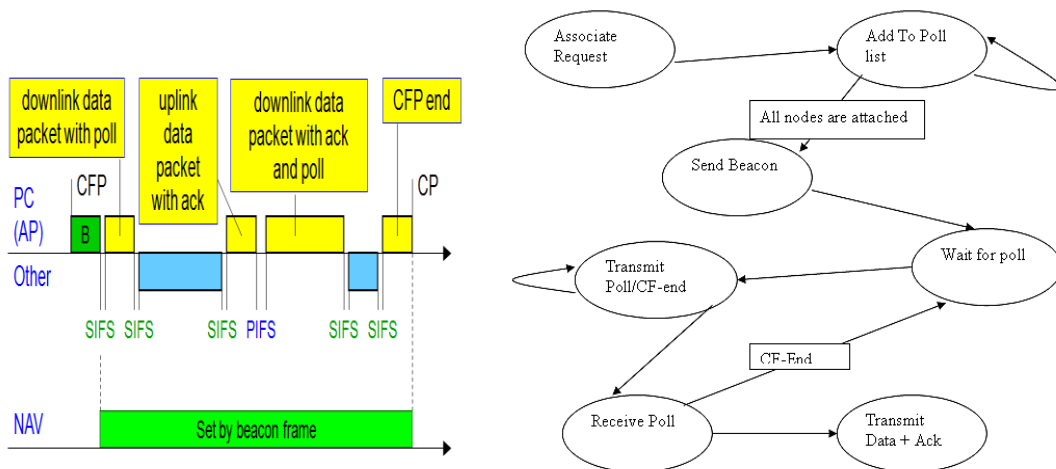
Σχήμα 3.8: Λειτουργία PCF

B = πλαίσιο Beacon (αποστέλλεται από το AP για να δείξει έναρξη της CFP)

CPF = Contention-Free Period

CP = Contention Period (DCF λειτουργία)

Αφού ο AP έχει στείλει ένα Beacon πλαίσιο εκχωρεί δικαίωμα μετάδοσης σε κάθε σταθμό διαδοχικά να μεταδώσει στέλνοντάς του ένα polling πλαίσιο (CF – POLL) και ο σταθμός αποκρίνεται εκπέμποντας είτε ένα πλαίσιο CF – ACK είτε ένα πλαίσιο CF – ACK + DATA. Αν κάποιος σταθμός δεν στείλει ACK αφού λάβει το polling πλαίσιο το AP προχωράει στον επόμενο σταθμό. Όλοι οι σταθμοί κατά τη διαδικασία του association με το AP μπαίνουν σε μία λίστα (rolling list) ώστε το AP να τους δίνει το δικαίωμα μετάδοσης κατά την contention - free period. Σημειώνεται ότι κάθε πλαίσιο polling δίνει στο σταθμό που το έλαβε δικαίωμα μετάδοσης ενός μόνο πλαισίου.



Σχήμα 3.9: Διαδικασία Polling

Στη πρώτη περίπτωση CF – ACK ο AP λαμβάνει μία επιβεβαίωση της παραλαβής του πλαισίου CF – POLL καθώς ο σταθμός δεν διαθέτει δεδομένα. Οι χρήστες που είναι συνέχεια ανενεργοί απομακρύνονται από τον κύκλο polling μετά από κάποιες προσπάθειες και εισέρχονται πάλι στην αρχή της επόμενης περιόδου CFP. Στη δεύτερη περίπτωση ο AP λαμβάνει ένα πακέτο που περιέχει τόσο δεδομένα όσο και επιβεβαίωση οπότε μπορεί να επαναλάβει την διαδικασία polling με τη μετάδοση ενός πλαισίου CF – ACK + DATA + CF – POLL είτε ενός πλαισίου CF –

ACK + CF – POLL. Το CF – ACK του συγκεκριμένου πλαισίου επιβεβαιώνει την παραλαβή του προηγούμενου πλαισίου δεδομένων που στάλθηκε, ενώ το CF – POLL εκχωρεί δικαίωμα μετάδοσης στον επόμενο σταθμό.

Για να διασφαλιστεί περισσότερο ότι ο έλεγχος του μέσου θα μείνει στο AP κατά την Contention Free Period όλοι οι χρόνοι αναμονής που χρησιμοποιούνται είναι SIFS ή PIFS. Ο χρόνος αναμονής από το AP για να επιβεβαιωθεί το rolling πλαίσιο που έστειλε είναι ίσος με τον PIFS ενώ όλοι οι υπόλοιποι χρόνοι αναμονής είναι ίσοι με SIFS.

Η συγκεκριμένη λειτουργία PCF ποτέ δεν έγινε δημοφιλής στη βιομηχανία τόσο γιατί οι κατασκευαστές δεν είναι υποχρεωμένοι να την χρησιμοποιήσουν όσο και γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε infrastructure δίκτυα αφού απαιτεί κεντρικό έλεγχο από κάποιο AP.

5.2.5. Λειτουργία Enhanced DCF (EDCF)

Η αυξανόμενη ζήτηση για τις εφαρμογές πολυμέσων όπως τις υψηλές υπηρεσίες βίντεο, ήχου και φωνής απαιτεί την υποστήριξη QOS. Βασικά, το DCF παρέχει την πρόσβαση καναλιών με ίσες πιθανότητες σε όλους τους σταθμούς υποστηρίζοντας την πρόσβαση καναλιών με έναν διανεμημένο τρόπο. Παρόλα αυτά, οι πιθανότητες ίσης πρόσβασης δεν είναι επιθυμητές μεταξύ των σταθμών όταν έχουμε διαφορετικά πλαίσια προτεραιότητας.

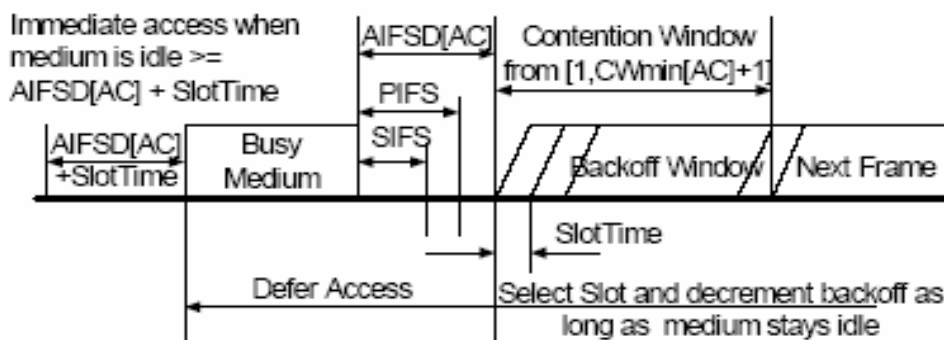
Κατά τη λειτουργία του EDCF ορίζονται κάποιες κατηγορίες πρόσβασης (Access Categories – ACs) και οι αντίστοιχοι μηχανισμοί πρόσβασης. Κάθε AC αντιστοιχίζεται με ροές πληροφορίας συγκεκριμένης προτεραιότητας (για παράδειγμα βέλτιστης προσπάθειας, video, φωνής). Σκοπός του EDCF είναι να παρέχει τις διαφοροποιημένες, διανεμημένες προσβάσεις καναλιών για τα πλαίσια με 8 διαφορετικές προτεραιότητες (από 0 έως 7), βλέπε πινάκας 3.10.

Priority	Access Category (AC)	Designation (Informative)
1	0	Best Effort
2	0	Best Effort
0	0	Best Effort
3	1	Video Probe
4	2	Video
5	2	Video
6	3	Voice
7	3	Voice

Πίνακας 3.10: Προτεραιότητες στο Access Category Mapping

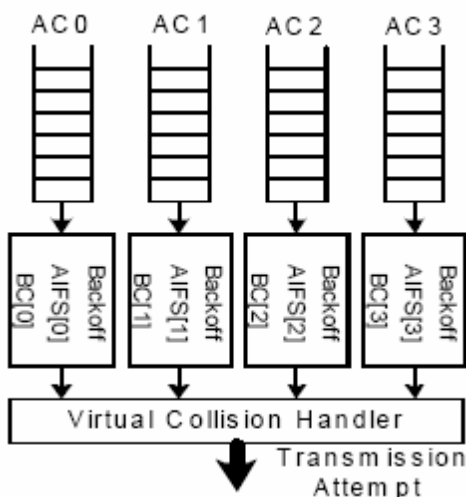
Κάθε AC έχει ένα διαφορετικό σύνολο παραμέτρων ισχυρισμού ως CW_{Min} , CW_{Max} , δηλαδή $CW_{Min}[AC]$, $CW_{Max}[AC]$. Ένας EDCF σταθμός μπορεί να έχει μέχρι 4 ACs και να διατηρεί μια χωριστή ουρά αναμονής για κάθε AC, ενώ το DCF υπάρχει μόνο μια ουρά αναμονής ανά σταθμό. Τα πακέτα δεδομένων από διαφορετικές εφαρμογές χαρτογραφούνται (mapping) σε διαφορετικά ACs και τροφοδοτούν τις διαφορετικές ουρές μετάδοσης. Το AC με την πιο υψηλή προτεραιότητα ορίζεται ως $CW_{Min}[AC]$ έτσι ώστε να της δώσει μεγαλύτερη πιθανότητα να πάρει το ασύρματο κανάλι και το AC με την πιο χαμηλότερη προτεραιότητα ως $CW_{Max}[AC]$. Κάθε ουρά αναμονής AC σε έναν σταθμό συμπεριφέρεται ως εικονικός σταθμός (virtual station) προσπαθώντας να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο με τις δικές της παραμέτρους. Για την κεντρικά ελεγχόμενη λειτουργία του αλγορίθμου χρειάζεται, ένα AP στο οποίο θα τρέχει ο αλγόριθμος ελέγχου HC (Hybrid Coordinator).

Η μέθοδος πρόσβασης στο μέσο του EDCF είναι η ίδια με την μέθοδο DCF εκτός του ότι κάθε AC χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό σύνολο τιμών CW και DIFS. Κάθε AC που έχει το πλαίσιο δεδομένων έτοιμο προς μετάδοση πρέπει να περιμένει το μέσο να είναι αδρανές για μια περίοδο ίση με $AIFS[AC]$ και έπειτα πρέπει να αρχίσει μια random backoff διαδικασία με το δικό του $CW[AC]$. Η μέθοδος πρόσβασης στο μέσο του EDCF φαίνεται στο σχήμα 3.11.



Σχήμα 3.11: IEEE 802.11e EDCF Channel Access

Το σχήμα 3.12 παρουσιάζει MAC 802.11e με τέσσερις ουρές αναμονής μετάδοσης, όπου κάθε ουρά αναμονής συμπεριφέρεται ως ενιαία ενισχυμένη οντότητα ισχυρισμού DCF, δηλαδή ένα AC όπου κάθε ουρά αναμονής έχει το δικό της AIFS της και διατηρεί το δικό της backoff. Όταν υπάρχουν περισσότερα από ένα AC και τα backoff τους τελειώνουν συγχρόνως, η σύγκρουση αντιμετωπίζεται κατά τρόπο εικονικό. Δηλαδή το πλαίσιο με την πιο υψηλή προτεραιότητα μεταξύ των συγκρουόμενων πλαισίων επιλέγεται και διαβιβάζεται, ενώ οι άλλοι εκτελούν backoff με αύξηση στις τιμές του contention window.

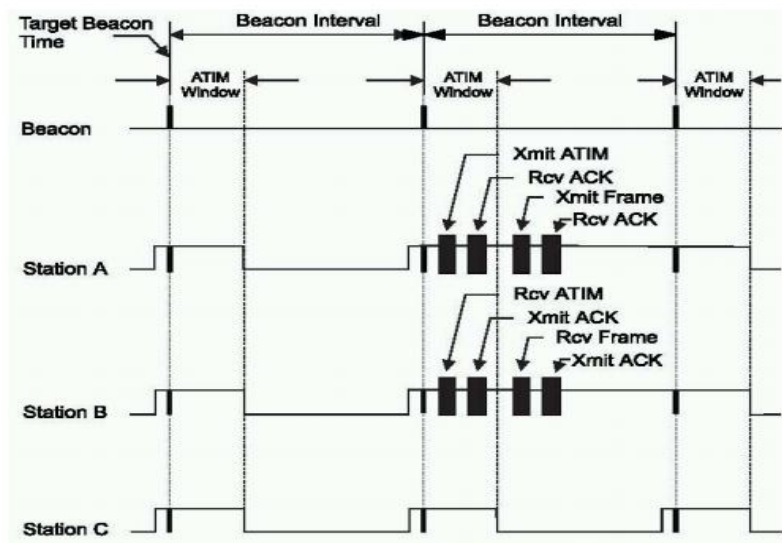


Σχήμα 3.12: Four Access Categories (ACs) for EDCF

5.3 Εξοικονόμηση Ενέργειας

Οι σταθμοί που χρησιμοποιούν το ασύρματο δίκτυο είναι κινητοί γι αυτό το λόγο θέλουμε όσο το δυνατό περισσότερη εξοικονόμηση ενέργειας. Οι κόμβοι λοιπόν επιλέγουν τη λειτουργία χαμηλής ισχύος όταν αυτοί δεν είναι σε χρήση, μια σημαντική τεχνική για να διατηρηθεί η διάρκεια ζωής των μπαταριών στις ασύρματες συσκευές.

Ένας κόμβος μπορεί να είναι σε μία από τις δύο διαφορετικές καταστάσεις ενέργειας, δηλαδή είτε ενεργός κατάσταση (active mode) που σημαίνει ότι ένας κόμβος μπορεί να λαμβάνει τα πλαίσια οποιαδήποτε στιγμή είτε να είναι σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας (power-save mode, PS) που σημαίνει ότι ο κόμβος είναι χαμηλής ισχύος και μετατρέπεται σε υψηλής ισχύος όταν ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες που θα αναφέρουμε παρακάτω. Στην power-save mode όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο υποδομής είναι συγχρονισμένοι να ξυπνούν περιοδικά και να ακούν τα μηνύματα beacon. Broadcast/multicast μηνύματα ή unicast μηνύματα για έναν power-saving σταθμό πρώτα αποθηκεύονται από τον μεταδότη και ανακοινώνονται την περίοδο που όλοι οι σταθμοί είναι ξύπνιοι. Η ανακοίνωση γίνεται μέσω μιας ειδικής ένδειξης ad hoc traffic indication message (ATIM) μέσα σε ένα μικρό διάστημα στην αρχή του beacon διαστήματος το οποίο αποκαλείτο παράθυρο window ATIM. Εάν ένας κόμβος λάβει ένα κατευθυνόμενο πλαίσιο ATIM στο window ATIM τότε στέλνει μια αναγνώριση ACK και μένει άγρυπνος για ολόκληρο το διάστημα beacon περιμένοντας να λάβει πακέτα δεδομένων. Αμέσως μετά από το ATIM window, ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει αποθηκευμένα broadcast/multicast πλαίσια, πλαίσια δεδομένων και management πλαίσια που απευθύνονται στους κόμβους που είναι ενεργοί. Διαφορετικά, ο κόμβος μπορεί να γίνει χαμηλής ισχύος για να διατηρήσει την ενέργεια.



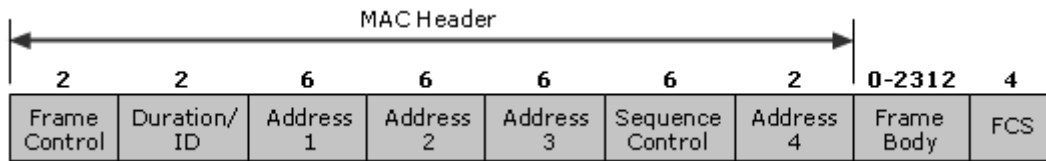
Σχήμα 3.13: Basic Operation of the IEEE 802.11 PSM

Στο IEEE 802.11 Power Saving Mode, το μήκος ενός διαστήματος beacon και το μέγεθος ενός παραθύρου ATIM ρυθμίζεται από τον πρώτο . Ένας κινητός σταθμός μπορεί επιλέξει να ξυπνάει κάθε πολλαπλάσια των διαστημάτων beacon για περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας.

5.4 Πλαίσιο MAC

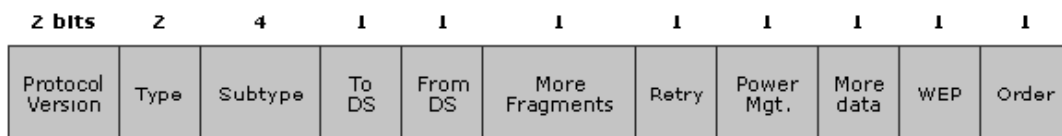
Τα πεδία του MAC πλαισίου αφορούν κυρίως τη διάκριση των μεταδιδόμενων πλαισίων σε πλαίσια δεδομένων, διαχείρισης (αιτήσεις και απαντήσεις συσχέτισης, επανασυσχέτισης, αποσυσχέτισης, πιστοποίησης, αποπιστοποίησης, Beacon) ή ελέγχου (Poll, RTS, CTS, επιβεβαιώσεις, τέλος περιόδου χωρίς ανταγωνισμό), καθώς και την υποστήριξη των λειτουργιών που προδιαγράφει το πρωτόκολλο (WEP, κατακερματισμός πλαισίων σε μικρά θραύσματα όταν υπάρχει θόρυβος στο κανάλι, μετάβαση κόμβου σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας όταν μένει αδρανής κλπ).

Η 802.11 πλαίσιο MAC, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, αποτελείται από μια κεφαλίδα MAC, το σώμα πλαίσιο, και μια ακολουθία ελέγχου πλαισίου (FCS). Οι αριθμοί στο παρακάτω σχήμα αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των bytes για κάθε πεδίο.



Σχήμα 3.14: Γενική μορφή πλαισίου υποστρώματος MAC του 802.11

Το πλαίσιο ελέγχου πεδίου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, περιλαμβάνει πληροφορίες ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό του είδους του 802.11 MAC πλαισίου και παρέχει πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τα ακόλουθα πεδία έτσι ώστε να καταλάβουμε πώς τα πεδία θα επεξεργαστούν το πλαίσιο MAC. Οι αριθμοί στο παρακάτω σχήμα αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των bits για κάθε πεδίο.



Σχήμα 3.15: Πεδίο Frame Control του πλαισίου MAC του 802.11

Protocol Version: Έκδοση του πρωτοκόλλου MAC που χρησιμοποιείται.

Type and Subtype: Τύπος, καθορίζει τη λειτουργία του πλαισίου. Υπάρχουν τρία διαφορετικά πεδία τύπων πλαισίου: τα πλαίσια ελέγχου Control, τα πλαίσια δεδομένων Data, και τα πλαίσια διαχείρισης Management. Για κάθε ένα από αυτά τα πλαίσια περιλαμβάνονται διαφορετικά πλαίσια.

Πεδίο Subtype	Είδος Πλαισίου
Πλαίσια Management – Type = 00	
0000	Association Request
0001	Association Response
0010	Reassociation Request
0011	Reassociation Response
0100	Probe Request
0101	Probe Response
1000	Beacon
1001	Announcement Traffic Indication Message

1010	Disassociation
1011	Authentication
1100	Deauthentication
Πλαίσια Control – Type = 01	
1010	Power Save Poll (PS-Poll)
1011	RTS
1100	CTS
1101	ACK
1110	Contention Free End (CF-End)
1111	CF-End + CF-Ack
Πλαίσια Data – Type = 10	
0000	Data
0001	Data + CF-Ack
0010	Data + CF-Poll
0011	Data + CF-Ack + CF-Poll
0100	Null
0101	CF-Ack
0110	CF-Poll
0111	CF-Ack + CF-Poll

Πίνακας 3.16: Σημασία πεδίων Type και Subtype

To DS and From DS: Η τιμή τίθεται ίση με 1 όταν το πλαίσιο στέλνεται στο AP για προώθηση προς το σύστημα διανομής (DS, Distribution System) μέσω του AP. Περιλαμβανομένης και της περίπτωσης όπου ο προορισμός βρίσκεται στο ίδιο BSS . Το From DS (1 bit) η τιμή τίθεται ίση με 1 όταν το πλαίσιο προέρχεται από το σύστημα διανομής (DS).

More Fragments: Το πεδίο αυτό δείχνει εάν περισσότερα κομμάτια (fragments) του πλαισίου, είτε τα δεδομένα ή τον τύπο της διαχείρισης, πρόκειται να ακολουθήσουν.

Retry: Το πεδίο αυτό γίνεται ίσο με ένα για να δείξει ότι το πλαίσιο είναι αναμετάδοση έτσι ώστε να αναγνωρίζονται αντίγραφα πλαισίων, για παράδειγμα σε περίπτωση απώλειας του ACK.

Power Management: Δείχνει την κατάσταση ισχύος που θα τεθεί στον σταθμό μετά τη μετάδοση του τρέχοντος πλαισίου, λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας (power save mode).

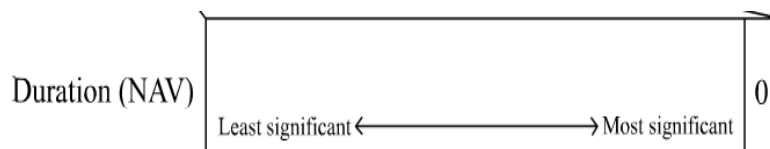
More Data: Χρησιμοποιείται για διαχείριση της ενέργειας: ο AP δείχνει ότι υπάρχουν και άλλα πλαίσια στην ουρά για τον συγκεκριμένο σταθμό. Αυτό το πεδίο το αλλάζει ο AP.

WEP: Τα δεδομένα κρυπτογραφούνται με WEP (Wired Equivalent Privacy).

Order: Τα πλαίσια ή τα τμήματα πλαισίων μεταδίδονται με τη σειρά.

Duration/ID Field: Το πεδίο Duration/ID έχει τρεις διαφορετικές χρήσεις:

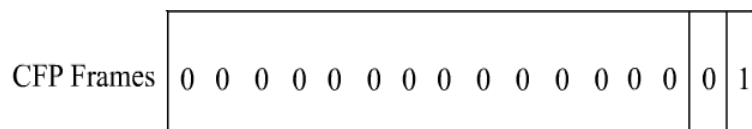
- Duration (NAV):



Σχήμα 3.17: Duration (NAV)

Όταν το τελευταίο bit του είναι ίσο με «0» το πεδίο χρησιμοποιείται για να ενημερώσει την τιμή του NAV. Το περιεχόμενό του είναι ο χρόνος σε microseconds που το μέσο θα είναι δεσμευμένο. Όλοι οι σταθμοί θα πρέπει να παρακολουθούν τα headers όλων των πλαισίων που λαμβάνουν και να ενημερώνουν την τιμή του NAV.

- CFP Frames:

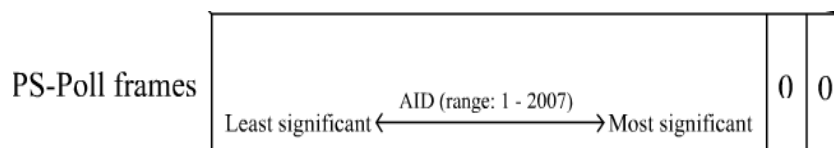


Σχήμα 3.18: CFP Frames

Κατά τη διάρκεια των contention free περιόδων τα δύο τελευταία bit είναι διαδοχικά 0 και 1 ενώ όλα τα προηγούμενα είναι μηδενικά με τιμή πεδίου

32768 που χρησιμεύει ως NAV. Αυτή η τιμή μπλοκάρει την πρόσβαση στο μέσο στους σταθμούς που δεν έλαβαν το Beacon πλαίσιο.

➤ PS-Poll frames:



Σχήμα 3.19: PS-Poll frames

Στα PS-Poll πλαίσια τα τελευταία δύο bits έχουν την τιμή μηδέν. Το πεδίο αυτό περιέχει το Association ID (AID) του σταθμού που στέλνει το PS-Poll πλαίσιο προκειμένου να λάβει αποθηκευμένα στο AP πλαίσια που προορίζονται για αυτόν. Οι τιμές για το AID είναι από 1 έως 2007.

Address Fields: Το πλαίσιο μπορεί να περιέχει μέχρι 4 πεδία διευθύνσεων. Οι τιμές των πεδίων αριθμούνται γιατί διαφορετικά πεδία χρησιμοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς εξαρτώμενα από το είδος του πλαισίου. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η πρώτη διεύθυνση είναι του παραλήπτη, η δεύτερη του αποστολέα και η τρίτη χρησιμοποιείται για φιλτράρισμα. Όλες οι διευθύνσεις είναι 48 bits. Εάν το πρώτο bit που αποστέλλεται στο φυσικό μέσο είναι μηδέν τότε η διεύθυνση αντιπροσωπεύει έναν μεμονωμένο αποστολέα ή παραλήπτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για αποστολή όσο και παραλαβή (unicast διεύθυνση), ενώ εάν το πρώτο bit είναι ίσο με ένα έχουμε μια multicast διεύθυνση που αντιστοιχίζεται με ένα group από ενδιαφερόμενους χρήστες. Τέλος εάν όλα τα bits είναι ένα τότε το πλαίσιο στέλνεται σε όλους τις πιθανούς προορισμούς (broadcast).

Sequence Control: Το πεδίο αυτό χρησιμεύει τόσο για την επανένωση κατατμημένων πλαισίων όσο και για την απόρριψη αντιγράφων. Αποτελείται από δύο υπό-πεδία, το Fragment Number μήκους 4 bits και το Sequence Number μήκους 12 bits.

Frame Body: Το πεδίο αυτό περιέχει το ωφέλιμο φορτίο του πλαισίου (payload), δηλαδή το πακέτο ανωτέρου στρώματος που πρέπει να μεταφερθεί. Το μέγιστο μέγεθος του πεδίου είναι 2304 bytes.

Frame Check Sequence: Το πεδίο αυτό συχνά αναφέρεται και ως Cyclic Redundancy Check-CRC. Το FCS επιτρέπει στους σταθμούς να ελέγχουν τα πλαίσια που λαμβάνουν και αναφέρεται στους πρόσθετους checksum χαρακτήρες που προστίθενται σε ένα πλαίσιο σε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για την ανίχνευση και τη διόρθωση λάθους.

Αναφορές - Κεφάλαιο 5

1. P.Nicopolidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, “Ασύρματα δίκτυα”, Κλειδάριθμος, 2006
2. Ιωάννου Νίκος, “Ανάλυση της επίδοσης βιντεορών Windows Media και Quick Time μέσα από ασύρματα τοπικά δίκτυα 802.11b”, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2007
3. Αμπατζής Π. Χρήστος, Γουλιέλμος Γ. Αλέξανδρος, “Ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11 (WLANs) και εξομοίωση επίδοσης τους σε διαφορετικές τοπολογίες”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2005
4. Κουιμτζή Λ. Μαρία, “Μελέτη και Προσομοίωση Ασύρματων Τοπικών Δικτύων Υπολογιστικών Συστημάτων (WLAN): Εφαρμογές σε δίκτυα IEEE 802.11”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική Εργασία, 2006
5. Γκέκα Θ. Χρυσάνθη, “Μελέτη ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης WLAN και WiMAX”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική Εργασία, 2007
6. Αλεξιάδης Παναγιώτης, Ηλιάδης Ισαάκ, “Ασύρματα δίκτυα 802.11”, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Πτυχιακή εργασία, 2004
7. Robin Kravets, “Media Access Protocols For wireless networks”, UIUC, 2007
8. Κρυπάρης Γεώργιος “Θέματα Ασφάλειας σε 802.11b Ασύρματα Δίκτυα”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2005
9. Xin XIA, *Non Member*, Zhisheng NIU, *Senior Member*, IEEE, “Enhanced DCF MAC Scheme for Providing Differentiated QoS in ITS”

10. Apichan Kanjanavapastit , Bjorn Landfeldt, “A Modified Point Coordination Function in IEEE 802.11 Wireless LAN”, School of Electrical Engineering and Telecommunications, School of Information Technologies and School of Electrical and Information Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia
11. Μπουράς Χρήστος, “Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα IEEE 802.11” Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής
12. “802.11 Technical Section”, WiFi Virtual Laboratory, URL:<http://wifi.cs.st-andrews.ac.uk/wififrame.html>

6. Φυσικό Στρώμα ΤΟΥ IEEE 802.11

6.1 Εισαγωγή στο φυσικό στρώμα 802.11

Το πρώτο πρότυπο 802.11 εκδόθηκε το 1997 από την IEEE το οποίο όρισε πρώτον ένα εύρος ζώνης των 2 Mbps, με πτώση στο 1 Mbps σε περιβάλλον θορύβου χρησιμοποιώντας διαμόρφωση Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), δεύτερον ένα εύρος ζώνης του ενός 1 Mbps με πιθανή λειτουργία στα 2 Mbps σε περιβάλλον στο οποίο υπάρχει απουσία θορύβου χρησιμοποιώντας διαμόρφωση Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), και τρίτον ένα εύρος ζώνης των 1 και 2 Mbps με διαμόρφωση υπέρυθρων ακτινών (Infrared). Το 1999 η IEEE συμπλήρωσε τα διαθέσιμα φυσικά στρώματα προδιαγράφοντας άλλα δύο πρότυπα, τα 802.11b και 802.11a.

Και οι δύο μέθοδοι διαμόρφωσης DSSS και FHSS λειτουργούν στην χρησιμοποιήσιμη ζώνη των 2.4 GHz που είναι περισσότερο γνωστή ως ISM (Industrial Scientific and Medical). Υπάρχουν κάποιες ζώνες συχνοτήτων για τις οποίες δεν απαιτείται άδεια λειτουργίας (ISM) όπως προδιαγράφονται από τον οργανισμό ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Οι σχετικές ISM ζώνες συχνοτήτων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την Ευρώπη είναι: [8]

- 902 – 928 MHz
- 2.400 - 2.483 GHz
- 5,725 - 5,875 GHz

Στην Ευρώπη το παγκόσμιο σύστημα για κινητές επικοινωνίες (GSM) λειτουργεί στη ζώνη των 900 MHz με συνολικό εύρος ζώνης 50MHz. Οι συσκευές που υποστηρίζουν το πρότυπο IEEE 802.11b λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων 2,400 – 2,483 GHz.

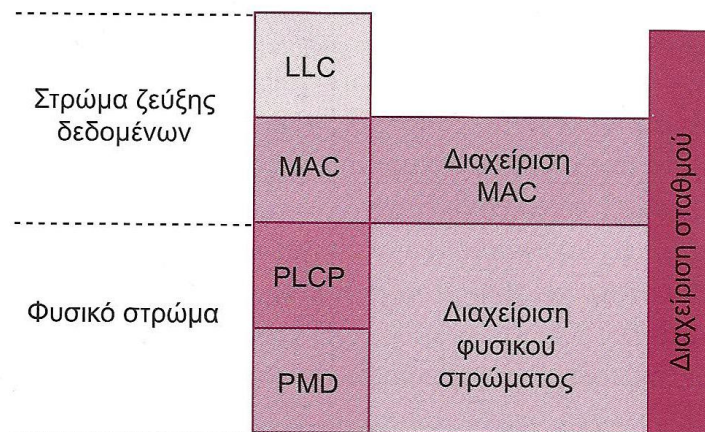
Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι το 802.11 προβλέπει την χρησιμοποίηση τριών διαφορετικών τύπων φυσικού στρώματος:

- Απλωμένο Φάσμα Ευθείας ακολουθίας (DSSS), στην περιοχή ISM των 2,4 GHz.

- Απλωμένο Φάσμα και μεταπήδηση συχνότητας (FHSS), στην περιοχή ISM των 2,4 GHz.
- Υπέρυθρες Ακτίνες (Infrared) σε μήκη κύματος μεταξύ 850 και 950 nm. [4]

6.1.1 Αρχιτεκτονική φυσικού στρώματος

Το physical layer χωρίζεται στο πρωτόκολλο σύγκλισης φυσικού επιπέδου (physical layer convergence protocol - PLCP), στο πρωτόκολλο εξαρτώμενο από το φυσικό μέσο (physical medium dependent sublayer - PMD) και το υπόστρωμα διαχείρισης φυσικού στρώματος.



Σχήμα 6.1: Αρχιτεκτονική φυσικού στρώματος

Physical Layer Convergence Procedure (PLCP) sublayer: Το MAC επίπεδο επικοινωνεί με το φυσικό επίπεδο μέσω του PLCP. Πιο συγκεκριμένα μέσω στοιχείων υπηρεσίας (service primitives) με τη βοήθεια των SAPs (Service Access Points) του φυσικού στρώματος. Όταν το επίπεδο MAC δώσει εντολή για την μετάδοση ενός πλαισίου MPDU (MAC Protocol Data Unit), το PLCP προετοιμάζει τα πλαίσια MPDU για μετάδοση, ενθυλακώνοντας μια επικεφαλίδα με δεδομένα αναγκαία για τους πομπούς και τους δέκτες. Το πλαίσιο, που δημιουργείται με την προσθήκη των πεδίων, αποκαλείται, στο πρότυπο IEEE 802.11, PLCP Protocol Data Unit (PPDU) και η δομή του προσφέρεται για ασύγχρονη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ σταθμών του ασύρματου δικτύου. Παράλληλα, το PLCP αναλαμβάνει να παραδώσει τα εισερχόμενα πλαίσια στο επίπεδο MAC.

Physical Medium Depended (PMD) sublayer: Με την καθοδήγηση του PLCP το PMD παρέχει τη μετάδοση και λήψη των PPDU's μεταξύ σταθμών του ασυρμάτου δικτύου. Αλληλεπιδρά κατευθείαν με το μέσο και πραγματοποιεί την διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση των λαμβανόμενων πλαισίων.

Υπόστρωμα Διαχείρισης Φυσικού Στρώματος: Το υπόστρωμα διαχείρισης αποφασίζει για τον συντονισμό του διαύλου για τις διάφορες παραλλαγές του κάθε φυσικού μέσου.

Υπόστρωμα Διαχείρισης Σταθμού: Το υπόστρωμα αυτό είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ MAC και φυσικού στρώματος. [1,7]

6.1.2 Λειτουργίες φυσικού στρώματος

Για την εκτέλεση των λειτουργιών του υποστρώματος PLCP, χρησιμοποιούνται τρεις μηχανές κατάστασης (state machines). Κάθε μηχανή κατάστασης εκτελεί μία από τις παρακάτω λειτουργίες:

Ανίχνευση φέροντος (Carrier Sense): Η λειτουργία αυτή αφορά τον καθορισμό της κατάστασης του μέσου. Το φυσικό επίπεδο υλοποιεί την λειτουργία της ανίχνευσης φέροντος (carrier sense) κατευθύνοντας το PMD να ελέγξει αν το μέσο είναι απασχολημένο ή ελεύθερο. Το PLCP εκτελεί τις παρακάτω λειτουργίες όταν ο σταθμός δεν βρίσκεται σε διαδικασία εκπομπής ή λήψης ενός πλαισίου:

Ανίχνευση των εισερχόμενων σημάτων: Το PLCP μέσα στον σταθμό θα ανιχνεύει διαρκώς το μέσο. Όταν το μέσο γίνει απασχολημένο, το PLCP θα διαβάσει τα πεδία 'preamble' και 'header' του πλαισίου PLCP και θα επιχειρήσει συγχρονισμό του δέκτη στον ρυθμό μετάδοσης του σήματος.

Καθορισμός ελεύθερου καναλιού (CCA: Clear Channel Assessment): Με τη λειτουργία αυτή καθορίζεται αν το μέσο είναι απασχολημένο ή όχι. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος λειτουργίας του CCA είναι η μέτρηση, από το PMD, της ενέργειας στο μέσο. Ο καθορισμός του μέσου προκύπτει ανάλογα με το αν η μετρούμενη τιμή ξεπερνάει ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο αναφέρεται ως κατώφλι ανίχνευσης ενέργειας (ED: Energy Detection)

Σε κατάσταση ανίχνευση ενέργειας ED (Energy Detection mode), το μέσο θεωρείται κατειλημμένο αν ανιχνευθεί επίπεδο ενέργειας πάνω από ένα προκαθορισμένο κατώφλι (threshold).

Το πρώτο από τα δύο στάδια, είναι η λειτουργία Καθορισμού Ελεύθερου Καναλιού (Clear Channel Assessment), η οποία διαπιστώνει αν το μέσο είναι απασχολημένο ή όχι, με το να μετρά την ενέργεια στο μέσο και να τη συγκρίνει με το κατώφλι ανίχνευσης ενέργειας. Στη συνέχεια, το PLCP λαμβάνει σήμα από το PMD ότι το μέσο είναι απασχολημένο και «διαβάζει» τα πεδία “Preamble” και “Header” επιχειρώντας συγχρονισμό του δέκτη στον ρυθμό μετάδοσης του σήματος.

Μετάδοση (Transmit): Το PLCP θα αλλάξει το PMD σε κατάσταση λειτουργίας μετάδοσης (transmit mode) αφού λάβει από το υπόστρωμα MAC την εντολή PHY_TXSTART.request. Το στρώμα MAC στέλνει στο PLCP το μέγεθος και τον ρυθμό εκπομπής του πλαισίου. Το PMD ανταποκρίνεται αποστέλλοντας το προοίμιο του πλαισίου στην κεραία του AP μέσα σε 20 msec. Ο πομπός μεταδίδει το προοίμιο και την επικεφαλίδα του πλαισίου πάντα με ρυθμό 1Mbps ((802.11 or 802.11b DSSS)) ανεξάρτητα από τον ρυθμό μετάδοσης του υπόλοιπου πλαισίου. Η ολοκλήρωση της μετάδοσης ακολουθείται από την μετάδοση της πληροφορίας (primitive) PHY-TXSEND.confirm από το PLCP στο MAC. Το PLCP θα αλλάξει το PMD σε κατάσταση λειτουργίας λήψης (receive mode).

Λήψη (Receive): Μόλις το PLCP ανιχνεύσει κυκλοφορία στο ασύρματο μέσο θα παρακολουθήσει την επικεφαλίδα του λαμβανόμενου πλαισίου. Το PMD θα ανιχνεύσει κυκλοφορία όταν το σήμα θα έχει επίπεδο ισχύος τουλάχιστον -85 dBm. Αν το PLCP εξακριβώσει ότι η επικεφαλίδα δεν έχει σφάλματα θα στείλει στο MAC την εντολή PHY_RXSTART.indicate με την οποία γνωστοποιεί για την παρουσία ενός εισερχόμενου πλαισίου.

Το PLCP είναι υποχρεωμένο να ενημερώσει το MAC για το μέγεθος και τον ρυθμό εκπομπής του πλαισίου. Μόλις ληφθεί η επικεφαλίδα το PLCP αρχικοποιεί ένα μετρητή στην τιμή του πεδίου PSDU Length Word (που αντιπροσωπεύει το μέγεθος του πλαισίου σε byte). Ο μετρητής αυτός μειώνεται όσο λαμβάνονται

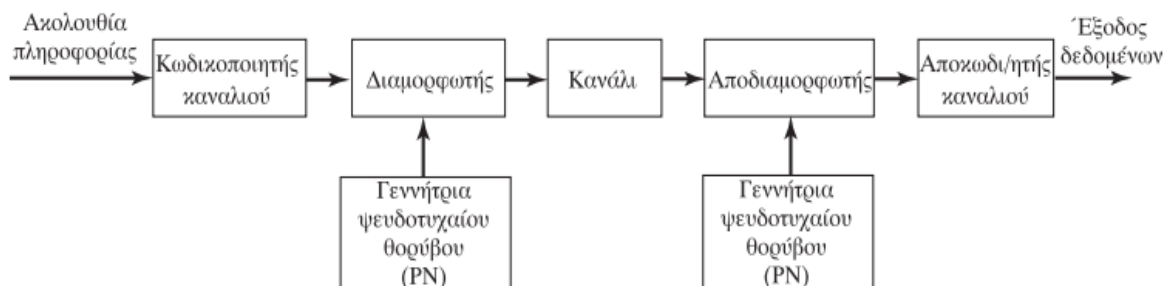
δεδομένα (μειώνεται κατά ένα για κάθε byte που λαμβάνει) επιτρέποντας στο PLCP να γνωρίζει πότε θα είναι το τέλος του πλαισίου. Καθώς το PLCP λαμβάνει δεδομένα, στέλνει οκτάδες από το πεδίο PSDU στο MAC μέσω των μηνυμάτων PHY-DATA.indicate. Αφού λάβει και την τελευταία οκτάδα bites τη στέλνει στο MAC και το ειδοποιεί ότι είναι η τελευταία οκτάδα bites μέσω του μηνύματος PHY-RXEND.indicate. [11,12]

6.2 Τεχνολογία Spread Spectrum

Η τεχνολογία Διάχυτου-Απλωμένου Φάσματος (Spread spectrum) αναπτύχθηκε περίπου πριν από 50 χρόνια και χρησιμοποιήθηκε σε στρατιωτικούς ασυρμάτους για την ασφαλή επικοινωνία τους. Είχε σχεδιαστεί με σκοπό να αντιστέκεται στις παρεμβολές και σε προσπάθειες παράνομης ανίχνευσης.

Οι τεχνικές διαμόρφωσης απλωμένου φάσματος στοχεύουν να μεγιστοποιήσουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης μετάδοσης έτσι ώστε να ξεπεραστούν τα προβλήματα παρεμβολών. Το εύρος ζώνης του προς μετάδοση σήματος B_s διαχέεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης σήματος B_c και ο λόγος τους καλείται παράγοντας διάχυσης: $N = B_c / B_s$

Ψευδό-τυχαίες Ακολουθίες: Για την διαμόρφωση του αρχικού σήματος χρησιμοποιείται μία ψευδό-τυχαία ακολουθία (pseudo-noise sequence) ή κώδικας (pseudo-noise code) που είναι ανεξάρτητος της πληροφορίας. Αυτή η ακολουθία έχει την ιδιότητα να είναι ψευδό-τυχαία δηλαδή φαίνεται σαν μία τυχαία ακολουθία για όλους τους άλλους δέκτες εκτός από τον δέκτη προορισμού.



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα συστήματος επικοινωνίας απλωμένου φάσματος

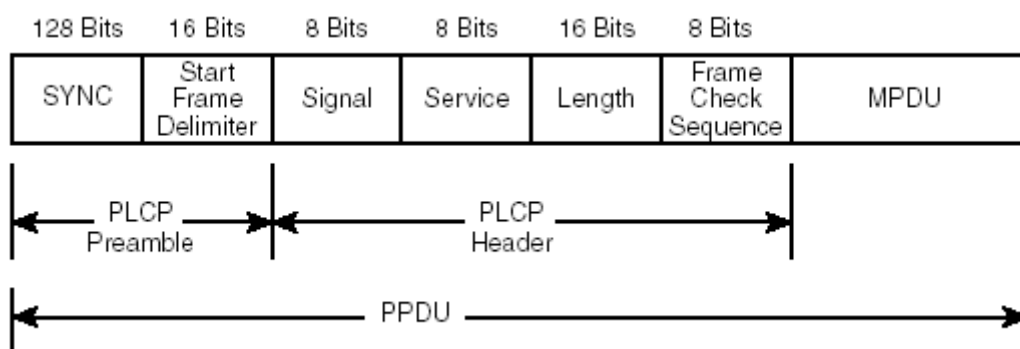
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στο σχήμα ένα σύστημα απλωμένου φάσματος περιλαμβάνει δύο γεννήτριες της ψευδοτυχαίας ακολουθίας μία στον πομπό και μία στον δέκτη. Η ψευδοτυχαία ακολουθία χρησιμοποιείται για να διαχύσει και να αποδιαχύσει το φάσμα του σήματος στον διαμορφωτή και αποδιαμορφωτή αντίστοιχα. Για την ορθή αποδιάχυση του λαμβανόμενου σήματος απαιτείται ο κατάλληλος συγχρονισμός της τοπικής παραγόμενης ψευδοτυχαίας ακολουθίας του δέκτη με αυτή την PN ακολουθία που περιέχεται στο λαμβανόμενο σήμα. Ο σωστός συγχρονισμός επαναφέρει το σήμα διάχυτου φάσματος και αποκαθιστά το αρχικό σήμα πληροφορίας στο αρχικό του εύρος ζώνης ,ενώ αν δεν πετύχει ο συγχρονισμός καταλήγει σε μικρή ποσότητα θορύβου στην έξοδο του δέκτη. [9]

6.2.1 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Η τεχνική μετάδοσης Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) επίσης γνωστή και ως direct sequence code division multiple access (DS-CDMA) είναι μία από τις δύο προσεγγίσεις της τεχνολογίας spread spectrum για την ψηφιακή μετάδοση του σήματος με ραδιοκύματα.

6.2.1.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP):

Παρακάτω φαίνεται η γενική μορφή του πλαισίου DSSS PPDU. Γενικά, το προοίμιο δίνει στον σταθμό δέκτη την δυνατότητα να προετοιμάσει λειτουργίες χρονισμού πριν φτάσει το υπόλοιπο πλαίσιο. Η επικεφαλίδα δίνει πληροφορίες για το πλαίσιο που ακολουθεί όπως μέγεθος, ρυθμό μετάδοσης κτλ.



Σχήμα 6.3: Γενική δομή του πλαισίου DSSS PPDU

Στην συνέχεια περιγράφουμε το κάθε ένα από τα στοιχεία του πλαισίου PPDU:

Preamble: Το τμήμα αυτό χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει πομπό και με δέκτη αλλά και για να δηλώσει την αρχή του πλαισίου. Αποτελείται όπως φαίνεται και στο σχήμα 1, από τα παρακάτω δύο πεδία.

SYNC: Το πεδίο αυτό αποτελείται από εναλλασσόμενους άσσους ή μηδενικά και προειδοποιήσει τον δέκτη ότι μεταδίδεται ένα εισερχόμενο σήμα αυτή την στιγμή. Μόλις ο δέκτης ανιχνεύσει το SYNC , συγχρονίζεται με το εισερχόμενο σήμα.

Start Frame Delimiter: Το πεδίο αυτό υποδεικνύει την αρχή του πλαισίου και περιέχει πάντα την ακολουθία 1111001110100000.

Header: Η επικεφαλίδα του αποτελείται από τα πεδία, Signal, Service, Length και Frame Check Sequence.

Signal: Το πεδίο αυτό υποδεικνύει την τεχνική που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την αποδιαμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος. Η τιμή του πεδίου αυτού ισούται με ρυθμό μετάδοσης δια 100Kbps. Οι μοναδικές τιμές που μπορεί να έχει αυτό το πεδίο φαίνονται στο σχήμα 2.

Ρυθμός Μετάδοσης	Signal Field Value
1Mbps	00001010
2Mbps	00010100

Service: Το 802.11 δεσμεύει αυτό το πεδίο για μελλοντική χρήση, συνεπώς για τις παρούσες εκδόσεις του πρωτοκόλλου έχει όλα τα bits ίσα με 0.

Length: Το πεδίο αυτό περιέχει τον αριθμό των microseconds που χρειάζονται για την μετάδοση του MPDU. Ο σταθμός-δέκτης , χρησιμοποιεί αυτό το πεδίο για να γνωρίζει πότε τελειώνει το πλαίσιο.

Frame Check Sequence: Το πεδίο αυτό περιέχει ένα κώδικα ελέγχου ο οποίος βασίζεται στο αλγόριθμο ανίχνευσης σφαλμάτων CRC-16bits. Ο κυκλικός κώδικας

πλεονασμού (CRC) προστατεύει τα πεδία του header έτσι ώστε να μην έχουν υποστεί καμία καταστροφή κατά την μεταφορά.

MPDU: Είναι το πλαίσιο που μεταφέρει το MAC στο PLCP. [11, 13]

6.2.1.2 PMD Φυσικού στρώματος

Το υπόστρωμα καθορίζει την τεχνική διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για την σηματοδότηση στο φυσικό μέσο. Ειδικότερος σκοπός του DSSS PPDU είναι να μετατρέπει την δυαδική αναπαράσταση του PPDU σε σήμα κατάλληλο για μετάδοση.

6.2.1.2.1 Η τεχνική της διασποράς φάσματος

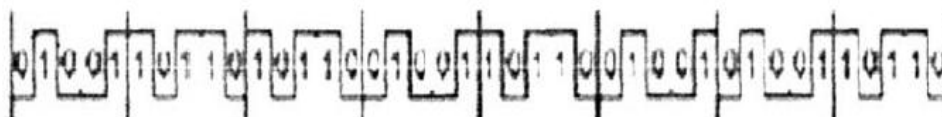
Η κεντρική ιδέα της τεχνικής μετάδοσης Direct Sequence Spread Spectrum είναι, αρχικά, να εξαπλωθεί ψηφιακά το PPDU και στη συνέχεια να διαμορφωθούν τα εξαπλωμένα πλέον δεδομένα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Στο σχήμα 4 φαίνονται τα βασικά στοιχεία του πομπού DSSS.

Για κάθε bit του μηνύματος προς εκπομπή το φέρον σήμα διαμορφώνεται με τη βοήθεια ενός κωδικού που είναι γνωστός ως κώδικας εξάπλωσης (spreading code). Τα bits του κωδικού αυτού είναι γνωστά σαν chips. Έτσι το «0» παριστάνεται ως «01001» και το «1» ως «10110», όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα την αντικατάσταση καθενός bit του μηνύματος προς εκπομπή με μία αλληλουχία 5 bits. Βλέπουμε δηλαδή ότι το φάσμα του μεταδιδόμενου σήματος απλώνεται.

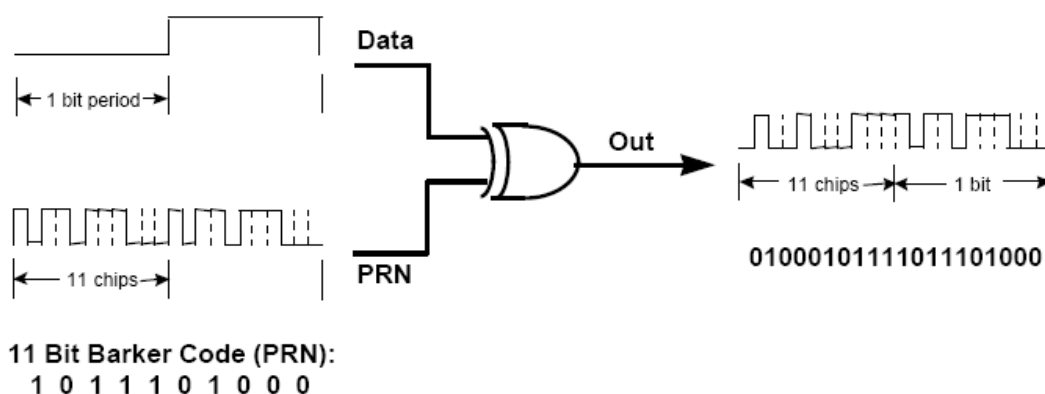
Αρχικό μήνυμα προς εκπομπή



Σήμα με DSSS



Στη διαμόρφωση μηνύματος, η διαδικασία που λαμβάνει χώρα είναι η αντιστροφή του κωδικού εξάπλωσης αν πρόκειται να εκπνεμφθεί το «1», ενώ στη περίπτωση του «0» εκπέμπεται ο κωδικός διασποράς χωρίς να υποστεί άρνηση (negation). Ουσιαστικά γίνεται XOR (αποκλειστική διάζευξη) ανάμεσα στο μήνυμα προς εκπομπή και στον κωδικό εξάπλωσης. Τέλος, ο διαμορφωτής ('Carrier modulator') διαμορφώνει το σήμα της βασικής ζώνης (baseband) σε ένα αναλογικό σήμα στην συχνότητα λειτουργίας της μετάδοσης του επιλεγμένου καναλιού. Στο παρακάτω σχήμα παριστάνεται το λογικό διάγραμμα αυτής της μεθόδου διαμόρφωσης, κάνοντας χρήση κωδικού μήκους 11 bits.

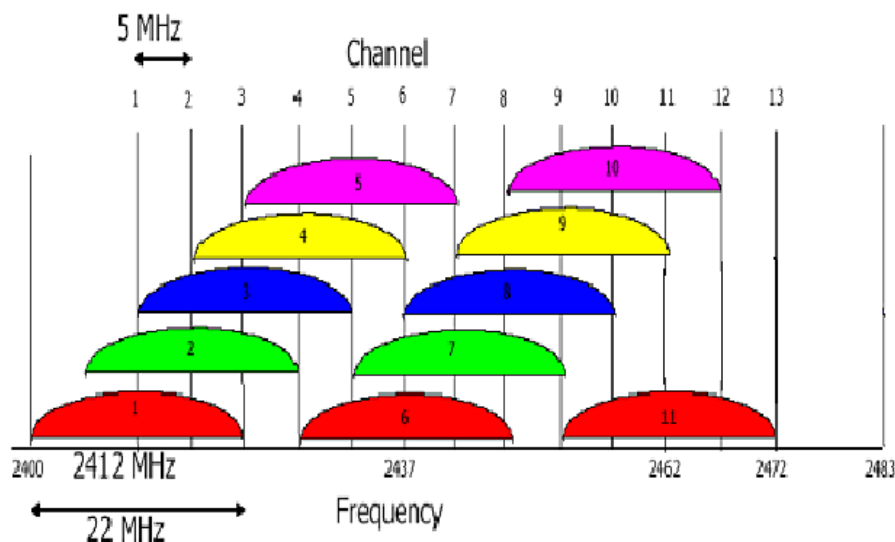


Σχήμα 6.4: Βασικά στοιχεία του πομπού DSSS

Η αρχική DSSS τεχνική που εισήχθηκε στα 802.11 αφορά μια 11 στο πλήθος ακολουθία από chips, που λέγεται Barker Sequence, για την κωδικοποίηση όλων

των δεδομένων που στέλνονται ασύρματα. Κάθε τέτοια ακολουθία των 11 chips αναπαριστά ένα ψηφίο 0 ή 1, ενώ κάθε ακολουθία “11 αλλαγών φάσης” του φέροντος κύματος ορίζει τη μεταφορά ενός συμβόλου. [8]

Στο DSSS ορίζονται 11 κανάλια, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5. Τα κανάλια αυτά έχουν εύρος 22 Mhz το καθένα στο συνολικό εύρος ζώνης της μπάντας ISM των 83 Mhz (2400-2483 Mhz) και η απόσταση ανάμεσα στις κεντρικές συχνότητες τους είναι 5 Mhz. Τα κανάλια αυτά χαρακτηρίζονται ως μερικώς επικαλυπτόμενα. Τα μη επικαλυπτόμενα κανάλια είναι μόνο τρία, τα 1,6,11 του σήματος 6.5. Το πλεονέκτημα με τη χρήση των μερικώς επικαλυπτόμενων καναλιών είναι ότι μπορούν δύο κόμβοι που οι εμβέλεις τους καλύπτονται, να εκπέμπουν ταυτόχρονα σε διαφορετικά κανάλια χωρίς να έχουμε σύγκρουση πακέτων. [5]



Σχήμα 6.5: Διαθέσιμα κανάλια στο DSSS

6.2.1.2.2 DSSS Frequency Modulation Function

Ένας ισορροπημένος διαμορφωτής, διαμορφώνει το απλωμένο PPDU συνδυάζοντας το με ένα φέρον το οποίο έχει συχνότητα ίση με την συχνότητα μετάδοσης. Το DSSS PMD μεταδίδει το τελικό σήμα με ρυθμό 1 Mbps ή 2Mbps χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης.

Για ρυθμό 1Mbps, το PMD χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK). Κάθε bit κωδικοποιείται από μία ακολουθία των 11 chips. Αυτή η ακολουθία μεταδίδεται με ρυθμό 11 Mbps όπου κάθε μεταδιδόμενο σύμβολο μεταφέρει 1 chip, αρά συμπεραίνουμε ότι ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης bit είναι 1Mbps.

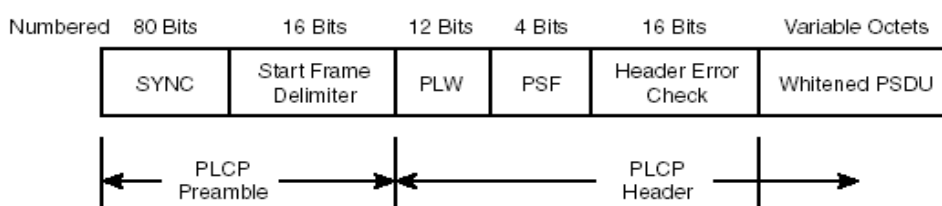
Για ρυθμό 2Mbps, το PMD χρησιμοποιεί διαμόρφωση Differential Quadratic Phase Shift Keying (DQPSK). Κάθε σύμβολο μεταφέρει 2 chips . Έτσι, η τεχνική αυτή διπλασιάζει το ρυθμό δεδομένων ενώ διατηρεί το ίδιο baud rate με αυτό ενός bit με ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps. Εξαιρούνται τα τμήματα Preamble και Header του PLCP όπου χρησιμοποιούν την τεχνική DBPSK η οποία είναι πιο ανθεκτική στον θόρυβο και γι αυτό έχει μικρότερη πιθανότητα λανθασμένης λήψης.

6.2.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) Φυσικό στρώμα

Η δεύτερη τεχνική διασποράς φάσματος είναι η διασπορά φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) που χρησιμοποιεί το φυσικό στρώμα για να παραδώσει ρυθμούς δεδομένων 1Mbps και 2Mbps στην ζώνη των 2.4GHz. Στην συνέχεια εξετάζουμε τα δύο στοιχεία του φυσικού στρώματος, το PLCP και το PMD.

6.2.2.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

Παρακάτω φαίνεται η γενική μορφή του πλαισίου FHSS PPDU. Το προοίμιο χρησιμεύει για τον συγχρονισμό πομπού και δέκτη και για τον ορισμό της αρχής του πλαισίου. Η κεφαλίδα δίνει πληροφορίες για το πλαίσιο και περιέχει τα πεδία PLW, PSF και HEC. Τόσο το προοίμιο όσο και η κεφαλίδα μεταδίδονται με ρυθμό 1 Mbps, ενώ η μονάδα MPDU στέλνεται με ρυθμό 2Mbps.



Εικόνα 6.6: Γενική μορφή του πλαισίου FHSS PPDU

Στην συνέχεια περιγράφουμε το κάθε ένα από τα στοιχεία του πλαισίου PPDU:

SYNC: Το πεδίο αυτό αποτελείται από 80 εναλλασσόμενους άσσους και μηδενικά και χρησιμεύει για την επίτευξη συγχρονισμού μεταξύ πομπού και δέκτη. Μόλις ο δέκτης ανιχνεύσει το SYNC , συγχρονίζεται με το εισερχόμενο σήμα.

Start Frame Delimiter (SFD): Το πεδίο οριοθέτης έναρξης πλαισίου υποδεικνύει την αρχή του πλαισίου και το τέλος του preamble ενώ περιέχει πάντα την ακολουθία των 16 bits που λαμβάνει ως τιμή το μοτίβο 0000110010111101.

PLW (PSDU Length Word): Το πεδίο αυτό των 12 bits περιέχει το μήκος του MAC πλαισίου που κουβαλάει το PLCP πλαίσιο και χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του τέλους του πλαισίου.

PSF (PLCP Signaling): Στο πεδίο αυτό των 4 bits το πρώτο bit είναι δεσμευμένο για μελλοντική χρήση και τίθεται πάντα 0. Στα υπόλοιπα τρία κωδικοποιείται ο χρησιμοποιούμενος ρυθμός μετάδοσης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι δυνατές τιμές του πεδίου αυτού :

Bits 1-3	Ρυθμός δεδομένων
000	1.0 Mbps
001	1.5 Mbps
010	2.0 Mbps
011	2.5 Mbps
100	3.0 Mbps
101	3.5 Mbps
110	4.0 Mbps
111	4.5 Mbps

Πίνακας 6.7: Δυνατές τιμές του πεδίου PSF

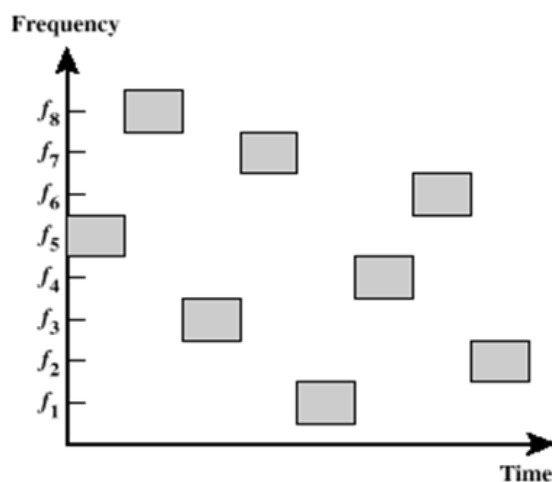
Header Error Check: Το πεδίο αυτό των 16 bits χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σφαλμάτων στην κεφαλίδα του πλαισίου.

Whitened PSDU: Το μέγεθος αυτού του πεδίου κυμαίνεται από 0-4096 bytes. Πριν την μετάδοση το φυσικό στρώμα ενσωματώνει ειδικά σύμβολα κάθε 4 byte ώστε να ελαχιστοποιήσει την DC πόλωση του ληφθέντος σήματος. Η διαδικασία αυτή ανακατώματος περιλαμβάνει την χρήση ενός σύγχρονου scrambler και ενός αλγόριθμου καταπίεσης (suppression encoding algorithm). Σε αντίθεση με την τεχνική Direct Sequence, μόνο το τμήμα Data υπόκειται σε αυτήν την διαδικασία και όχι ολόκληρο το PLCP πλαίσιο.

6.2.2.2 PMD Φυσικού στρώματος

6.2.2.2.1 Λειτουργία Εναλλαγής Συχνοτήτων (Frequency hopping)

Με την τεχνική FHSS η πληροφορία του σήματος εκπέμπεται κατά μικρά χρονικά διαστήματα. Κάθε επόμενη χρονική περίοδο μεταπηδά και εκπέμπει τα δεδομένα σε διαφορετική συχνότητα σύμφωνα με μια συγκεκριμένη ψευδο-τυχαία ακολουθία μεταπήδησης (hopping sequences) η οποία κατανέμει ομοιόμορφα το σήμα κατά μήκος της μπάντας συχνοτήτων. Για κάθε βήμα μεταπήδησης (hop) στην ακολουθία μεταπήδησης ο πομπός μεταδίδει σε μια συγκεκριμένη κεντρική συχνότητα λειτουργίας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο καλείται dwell time. Ο ρυθμός μεταπήδησης (hop rate) είναι ρυθμιζόμενη παράμετρος, παρ' όλα αυτά υπάρχει ένας ελάχιστος ρυθμός που καθορίζεται από τους αρμόδιους οργανισμούς κάθε χώρας (π.χ. στις Ηνωμένες Πολιτείες ο ελάχιστος ρυθμός είναι 2.5 hops/sec δηλαδή το dwell time θα πρέπει να είναι μικρότερο από 400 msec). Ο δέκτης ακολουθεί την ίδια διαδικασία μεταπήδησης ενώ διατηρείται σε συγχρονισμό με τον πομπό έτσι ώστε να λαμβάνει τα δεδομένα που μεταδίδονται.



Σχήμα 6.8: Σχέση συχνότητας - χρόνου

Στα συστήματα FHSS το πρωτόκολλο 802.11 ορίζει 79 διαφορετικά κανάλια για τη συχνότητα του φέροντος κύματος. Χρησιμοποιώντας αυτές τις 79 συχνότητες το πρωτόκολλο ορίζει 78 αλληλουχίες συχνοτήτων (hopping sequences), οι οποίες διαχωρίζονται σε τρία διαφορετικά σετ των 26 hopping sequences. Τα σύνολα αυτά είναι γνωστά ως hopping sets. Τα συστήματα που είναι ρυθμισμένα να λειτουργούν έχοντας το ίδιο hopping set αντιμετωπίζουν περιορισμένο αριθμό συγκρούσεων (collisions), για το λόγο αυτό οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατή η συνύπαρξη συστημάτων 26 στον αριθμό που έχουν το ίδιο hopping set και διαφορετικό hopping sequence. Μία σύγκρουση συμβαίνει όταν δύο σήματα συμπέσουν στην ίδια συχνότητα, την ίδια χρονική στιγμή. Όταν σε κάθε χρονική στιγμή κάθε σύστημα μεταδίδει σε διαφορετική συχνότητα τότε τα hopping sequences ονομάζονται ορθογώνια και η συνολική διέλευση μεγιστοποιείται.

Θεωρητικά, τα 26 συστήματα μπορούν να συνυπάρχουν αλλά οι συγκρούσεις θα εξακολουθούν να υπάρχουν σε σημαντικά επίπεδα. Για να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό των συγκρούσεων σε αποδεκτά επίπεδα, ο αριθμός των συστημάτων που συνυπάρχουν θα πρέπει να είναι γύρω στο 15. Τα παραπάνω ισχύουν στην περίπτωση που τα συνυπάρχοντα συστήματα FHSS λειτουργούν ανεξάρτητα, χωρίς δηλαδή να επιτρέπεται ο συγχρονισμός ανάμεσα στις αλληλουχίες συχνοτήτων που χρησιμοποιούν. Αν επιτραπεί ο συγχρονισμός, τότε θεωρητικά θα μπορούσαν να συνυπάρχουν 79 συστήματα, χρησιμοποιώντας έτσι όλη τη ζώνη συχνοτήτων ISM. Κάτι τέτοιο όμως εκτός του ότι απαγορεύεται, θα είχε σαν

προϋπόθεση τη χρήση ακριβών φίλτρων. Στην πραγματικότητα απαιτείται η απόσταση των 6 MHz περίπου ανάμεσα στα συνυπάρχοντα συστήματα

Μια διάκριση ανάμεσα σε παρεμβολές ευρείας ζώνης (wide-band) και σε παρεμβολές στενής ζώνης (narrow-band). Οι μεν πρώτες αναπτύσσονται σε ένα σχετικά ευρύ φάσμα συχνοτήτων, ενώ οι δεύτερες συνήθως εμφανίζονται σε συγκεκριμένες συχνότητες. Τα συστήματα FHSS αντιμετωπίζουν με αποτελεσματικό τρόπο της παρεμβολές στενής ζώνη λόγο του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιούν το κανάλι. Για παράδειγμα ένα ασύρματο δίκτυο στην ζώνη των 2,4GHz λειτουργεί με παρεμβολές στενής ζώνης 2 MHz οι οποίες μπλοκάρουν μόνο συγκεκριμένες περιοχές της ζώνης των 2,4GHz με εύρος 83,5 MHz. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι ο συνολικός ρυθμός σφαλμάτων είναι πολύ μικρός. [5]

6.2.2.2.2 Λειτουργία Διαμόρφωσης Συχνοτήτων (Frequency Modulation)

Το PMD στρώμα του FHSS υποστηρίζει δύο ρυθμούς μετάδοσης , 1 και 2 Mbps χρησιμοποιώντας ένα δεδομένο τύπο διαμόρφωσης για καθένα από αυτούς .

Για ρυθμούς μετάδοσης της τάξης του 1 Mbps το PMD χρησιμοποιεί Γκαουσιανή διαμόρφωση μετατόπιση συχνότητας δύο επιπέδων GFSK (two level Gaussian Frequency Shift Key). Η φιλοσοφία του GFSK είναι να μεταβάλλει την συχνότητα του φέροντος για να αναπαριστά διαφορετικά δυαδικά σύμβολα. Το ψηφιακό σήμα εισάγεται σε έναν διαμορφωτή GFSK, ο οποίος παράγει ένα αναλογικό σήμα γύρο από μία συγκεκριμένη συχνότητα. Το αναλογικό σήμα με τη σειρά του εισάγεται σε ένα διασπορέα μεταπήδησης συχνότητας, ο οποίος χρησιμοποιεί μία ακολουθία ψευδοτυχαίων αριθμών ως δείκτη σε έναν πίνακα συχνοτήτων. Ο διασπορέας επιλέγει μία συχνότητα η οποία διαμορφώνεται από το αναλογικό σήμα που παρήχθη από τον διαμορφωτή GFSK. Το πλεονέκτημα του GFSK είναι ότι παρουσιάζει μεγάλη ανοχή στις παρεμβολές γιατί ο θόρυβος επηρεάζει το πλάτος και όχι την συχνότητα του σήματος.

Ανάλογα με το ψηφίο του σήματος που δέχεται σαν είσοδο το GFSK ολισθαίνει την συχνότητα μετάδοσης κάτω ή πάνω από την κεντρική συχνότητα f_c . Έτσι το GFSK υπακούει στον παρακάτω κανόνα:

$$\text{Συχνότητα μετάδοσης} = \begin{cases} f_c + f_d & \text{για την αποστολή 1} \\ f_c - f_d & \text{για την αποστολή 0} \end{cases}$$

όπου f_c είναι η κεντρική συχνότητα και f_d είναι το εύρος ολίσθησης γύρω από αυτή. Τυπική τιμή για την f_d είναι τα 160KHz.

Για ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 2Mbps το PMD χρησιμοποιεί Γκαουσιανή διαμόρφωση τεσσάρων επιπέδων GFSK (two level Gaussian Frequency Shift Key). Η φιλοσοφία είναι ίδια με παραπάνω με την διαφορά ότι η είσοδος του διαμορφωτή είναι ένας συνδυασμός 2 bit (00, 01, 10, ή 11). Ανάλογα με ποια από τις τέσσερις 2-bites ακολουθίες λαμβάνει, ο διαμορφωτής ολισθαίνει ανάλογα την κεντρική συχνότητα, μόνο που σε αυτή την περίπτωση έχουμε 4 δυνατές συχνότητες εκπομπής μία για κάθε περίπτωση. Έτσι έχουμε το παρακάτω σχήμα:

[11]

$$\text{Συχνότητα Μετάδοσης} = \begin{cases} f_c + 2 \cdot f_d & \text{για την ακολουθία 10} \\ f_c + f_d & \text{για την ακολουθία 11} \\ f_c - f_d & \text{για την ακολουθία 01} \\ f_c - 2 \cdot f_d & \text{για την ακολουθία 00} \end{cases}$$

6.3 Infrared (Υπέρυθρο – IR) Φυσικό στρώμα

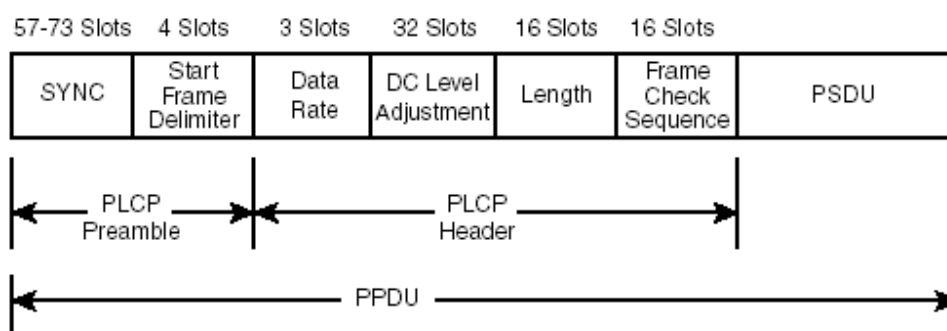
Το Υπέρυθρο-IR είναι εκπομπή ηλεκτρο-μαγνητικής ακτινοβολίας σε μήκη κύματος από 750nm έως 100 μm. Η ακτίνα επικοινωνίας του IR μεταξύ πομπού και δέκτη δεν ξεπερνάει τα 20m σε μία καθαρή (δηλ. χωρίς εμπόδια) ευθεία σκόπευση, ενώ έχει μικρή διάχυση δεν μπορεί δηλαδή να διαπεράσει τοίχους και γι' αυτό το λόγο επικρατέστερα είναι τα ραδιοκύματα. Εξαιτίας του τρόπου με το οποίο λειτουργεί το IR δεν καθίσταται δυνατή η λειτουργία του εκτός κλειστού χώρου, εξαιτίας των σημαντικών πηγών θορύβου, για παράδειγμα ο ήλιος. Όπως έχουμε αναφέρει η εξασθένιση που προκαλείται από τις ανακλάσεις του σήματος περιορίζουν την ακτίνα εκπομπής έως 20 μέτρα. Η μέγιστη τιμή που αγγίζει η ισχύς του μεταδιδόμενου σήματος δεν ξεπερνάει τα 2 Watt λόγω ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού, με μία μέση τιμή ίση με 125 ή 250 mWatt, το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται έχει οριστεί στα 850 με 950 nm, ενώ δεν υπάρχει κανένας περιορισμός στην συχνότητα που μπορεί να εκπέμψει ένας σταθμός.

Υπέρυθρες IR	Ραδιοκύματα RF
Δεν διαπερνούν τοίχους, περιορισμένες εφαρμογές σε δωμάτια	Διαπερνούν τοίχους, ακτίνα επικοινωνίας σε εσωτερικούς χώρους 30-50 m
Απαραίτητη η ύπαρξη σημείου πρόσβασης κάθε δωμάτιο, επιπρόσθετο κόστος	Αρκεί ένα σημείο πρόσβασης για πολλά δωμάτια
Σημείο πρόσβασης στην οροφή	Μη απαραίτητη οπτική επαφή με το σημείο πρόσβασης
Λίγα προβλήματα ασφάλειας	Αρκετά προβλήματα ασφάλειας
Φτηνός εξοπλισμός	Ακριβώς εξοπλισμός

Πίνακας 6.9: Υπέρυθρες IR vs Ραδιοκύματα RF

6.3.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

Παρακάτω φαίνεται η γενική μορφή του πλαισίου IR PPDU. Το προοίμιο δίνει στον δέκτη την δυνατότητα να προετοιμάσει λειτουργίες χρονισμού πριν φτάσει το υπόλοιπο πλαίσιο, ενώ η επικεφαλίδα δίνει πληροφορίες για το πλαίσιο. Το μήκος του πλαισίου μετριέται σε χρονοσχισμές (time slots) των 250 nsec.



Εικόνα 6.10: Γενική μορφή του πλαισίου IR PPDU

Στην συνέχεια περιγράφουμε το κάθε ένα από τα στοιχεία του πλαισίου IR.

Sync: Σε αντίθεση με τις άλλες κατηγορίες των φυσικών στρωμάτων (DSSS, FHSS) το πεδίο αυτό στην περίπτωση του IR είναι μεταβλητό. Μπορεί να έχει μήκος από 57 ως και 73 χρονοσχισμές και χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό του δέκτη.

Start Frame Delimiter: Το πεδίο αυτό των τεσσάρων bits σηματοδοτεί την έναρξη του πλαισίου. Η ακολουθία αυτού του πεδίου είναι πάντα 1001 και είναι μοναδική. Το ένα αντιπροσωπεύει την παρουσία παλμού ενώ το μηδέν την απουσία του.

Data Rate: Το πεδίο αυτό των τριών bits περιέχει τον ρυθμό μετάδοσης του πλαισίου. Οι μοναδικοί ρυθμοί που προσφέρει το IR είναι 1 και 2Mbps , οπότε το πεδίο αυτό είναι 000 και 001 αντίστοιχα. Το προοίμιο και η επικεφαλίδα στέλνονται πάντα με ρυθμό 1 Mbps.

DC Level Adjustment: Το πεδίο αυτό περιέχει μία ακολουθία 16 χρονοσχισμών η οποία δίνει στον δέκτη την δυνατότητα να θέσει το κατώφλι ισχύος για την λήψη απόφασης της τιμής του κάθε bit.

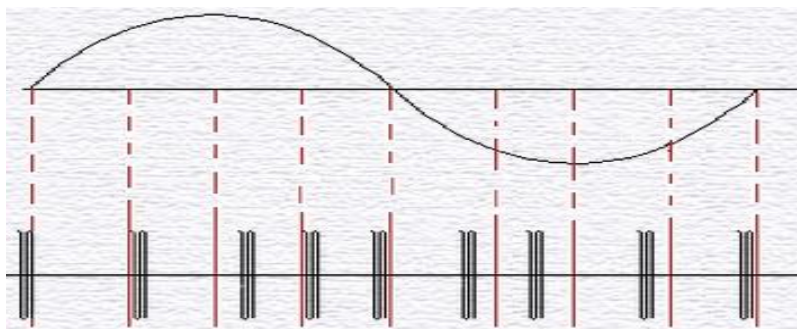
Length: Το πεδίο αυτό των 16 bits περιέχει το μήκος του πακέτου σε χιλοστά του δευτερολέπτου.

Frame Check Sequence: Το πεδίο αυτό των 16 bits χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σφαλμάτων στην κεφαλίδα του πλαισίου.

PSDU: Περιέχει το MAC πλαίσιο προς μετάδοση. Το μέγεθός του κυμαίνεται από 0 έως 4096 οκτάδες.

6.3.2 PMD

Το PMD του IR μεταδίδει δεδομένα με ρυθμούς 1 και 2Mbps χρησιμοποιώντας ξεχωριστό τύπο διαμόρφωσης για το καθένα. Για ρυθμό μετάδοσης 1Mbps το PMD χρησιμοποιεί διαμόρφωση θέσης παλμού (Pulse Position Modulation - PPM). Η φιλοσοφία του PPM είναι να αλλάζει την θέση του παλμού που αντιπροσωπεύει διαφορετικά δυαδικά σύμβολα.



Σχήμα 6.11: Pulse Position Modulation

Ο θόρυβος επηρεάζει το πλάτος και όχι την συχνότητα του παλμού. Επομένως η χρήση του PPM περιορίζει τις παρεμβολές που προκαλούνται από τον θόρυβο. Στη διαμόρφωση PPM κάθε 4 bits πληροφορίας αντιστοιχεί σε μία αναπαράσταση 16 bit που περιέχει ένα μοναδικό bit ίσο με 1 και 15 μηδενικά όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Bits πληροφορίας	16 PPM Σύμβολο
0000	0000000000000001
0001	0000000000000010
0011	0000000000000100
0010	0000000000001000
0110	0000000000010000
0111	0000000000100000
0101	0000000001000000
0100	0000000010000000
1100	0000000100000000
1101	0000001000000000
1111	0000010000000000
1110	0000100000000000
1010	0001000000000000
1011	0010000000000000
1001	0100000000000000
1000	1000000000000000

Πίνακας 6.12: Διαμόρφωση 16 bit PPM

Για ρυθμούς μετάδοσης 2 Mbps το PMD χρησιμοποιεί διαμόρφωση 4 PPM αντιστοιχίζοντας ένα ζεύγος bit σε τέσσερα σύμβολα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :

bits δεδομένων	4 PPM σύμβολο
00	0001
01	0010
11	0100
10	1000

Πίνακας 6.13: Διαμόρφωση 4 bit PPM

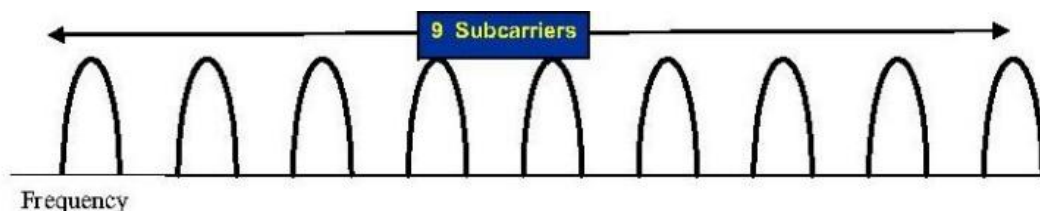
6.4 OFDM – Υπόστρωμα PLCP

Το 802.11a χρησιμοποιεί ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (OFDM) για να παραδώσει ρυθμούς δεδομένων μέχρι και 54Mbps στην ζώνη των 5GHz. Πρόκειται για μια μορφή μετάδοσης πολλαπλών φορέων (multicarrier μετάδοση) όπου μία σειριακή ροή δεδομένων υψηλού ρυθμού χωρίζεται σε ένα σύνολο ροών μικρότερου ρυθμού, κάθε μία εκ των οποίων διαμορφώνεται σε ένα ξεχωριστό φέρον (SC – SubCarrier) χρησιμοποιώντας FDM (Frequency Division Multiplex – Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το εύρος ζώνης των SCs να είναι μικρό σε σχέση με το εύρος ζώνης του διαύλου. Ένας λοιπόν από τους βασικότερους λόγους χρήσης της OFDM διαμόρφωσης είναι ο αποδοτικός τρόπος που διαχειρίζεται τη διάδοση μέσω πολλών “μονοπατιών”. Επιπλέον αυξάνει την ανθεκτικότητα απέναντι σε φαινόμενα εξασθένησης επιλεκτικής συχνότητας καθώς και σε φαινόμενα παρεμβολής μεταξύ γειτονικών υπό-καναλιών μετάδοσης (ICI –Inter Carrier Interference).

Η τεχνική OFDM μοιάζει με την τεχνική FDMA στο ότι η πρόσβαση πολλών χρηστών επιτυγχάνεται με την υποδιαίρεση του εύρους ζώνης σε πολλά κανάλια τα οποία στη συνέχεια ανατίθενται στους χρήστες. Οι χρήστες δηλαδή, χρησιμοποιούν ταυτόχρονα το κοινό μέσο, αλλά διαχωρίζονται μεταξύ τους στο πεδίο της συχνότητας.

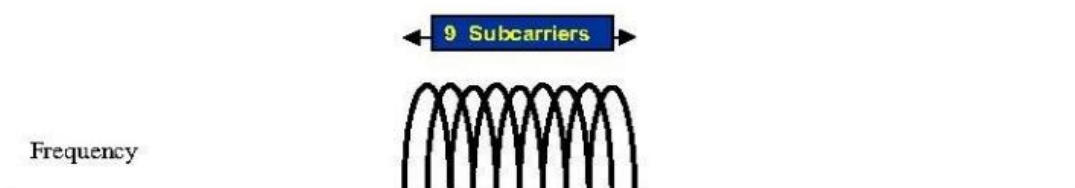
Η ορθογωνιότητα μεταξύ σημάτων ισχύει όταν αυτά είναι αμοιβαία ανεξάρτητα και εξασφαλίζει τη μετάδοση πολλαπλών σημάτων σε ένα κοινό κανάλι και την ανίχνευσή τους χωρίς παρεμβολές. Τυχόν απώλειά της οδηγεί σε ανεπιθύμητη μίξη των σημάτων και συνεπώς σε υποβιβασμό της ποιότητας του συστήματος, γεγονός που την καθιστά βασική επιδίωξη σε κάθε τεχνική μετάδοσης. Οι FDM

τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στα παλιά αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας επιτυγχάνουν την ορθογωνιότητα με το να αφήνουν μεγάλα διαστήματα ασφαλείας μεταξύ των καναλιών



Σχήμα 6.14: Τεχνική FDM εννιά φερόντων

Η διαφοροποίηση του OFDM έγκειται στο ότι τα subcarriers κάθε σήματος τοποθετούνται έχοντας τη μικρότερη θεωρητικά δυνατή απόσταση μεταξύ τους γεγονός που συντελεί στην αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος ενώ ταυτόχρονα διατηρείται η ορθογωνιότητα τους. Κάθε subcarrier είναι πολύ στενού εύρους ζώνης που συνεπάγεται στο ότι ο ρυθμός μετάδοσης είναι αργός.

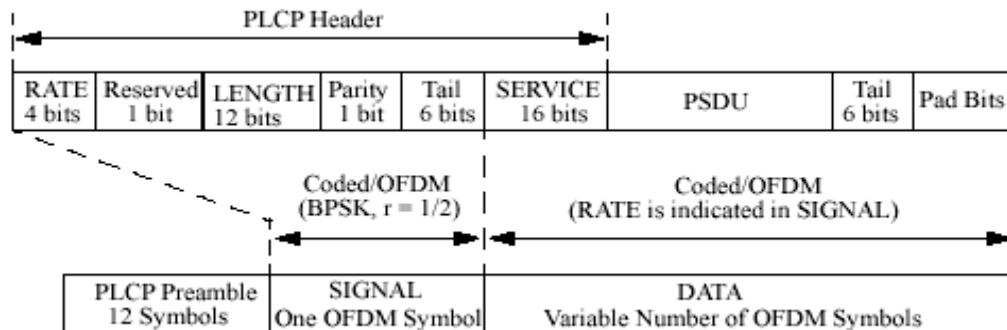


Σχήμα 6.15: Τεχνική OFDM εννιά φερόντων

Μία από τις βασικές επινοήσεις της διαμόρφωσης OFDM για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι διασυμβολικές παρεμβολές είναι η εισαγωγή ενός κυκλικού προθέματος, γνωστού ως διαστήματος φύλαξης (guard interval), το μήκος του οποίου επιλέγεται έτσι ώστε να υπερβαίνει τη μέγιστη χρονική καθυστέρηση του καναλιού αλλά θα πρέπει να είναι και αρκετά μικρό έτσι ώστε να μην χάνεται μεγάλο μέρος από τη διάρκεια συμβόλου. Κατά τη διάρκεια του guard time τα φέροντα σήματα υφίστανται κυκλικής επέκταση (cyclic extension), ώστε να εξασφαλιστεί ότι και οι καθυστερημένες χρονικά εκδοχές τους θα έχουν ακέραιο αριθμό περιόδων κατά το μέρος της διάρκειας συμβόλου που θα υποστεί επεξεργασία. Στο τελικό σήμα αυτό που φαίνεται είναι μία διαφορά φάσης, αλλά διατηρείται η ορθογωνιότητα. [10]

6.4.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

Παρακάτω φαίνεται η γενική μορφή του πλαισίου OFDM PPDU.



Σχήμα 6.16: Γενική μορφή του πλαισίου PPDU

Στην συνέχεια περιγράφουμε το κάθε ένα από τα στοιχεία του πλαισίου PPDU:

PLCP preamble: Το πεδίο αυτό χρησιμοποιείται από τον δέκτη για να συγχρονίσει τον OFDM αποδιαμορφωτή του. Το προοίμιο αποτελείται από 12 σύμβολα. Τα πρώτα 10 από αυτά (που χαρακτηρίζονται ως «μικρές ακολουθίες κατάρτισης – «short training sequence») χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση του AGC (Automatic Gain Control), για την επιλογή κεραίας (αριστερή, δεξιά ή και τα δύο-diversity) κτλ. Τα επόμενα 2 (αυτά (που χαρακτηρίζονται ως «μεγάλες ακολουθίες κατάρτισης – «long training sequence») χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση καναλιών και την ρύθμιση της κεντρικής συχνότητας.

Rate: Το πεδίο αυτό προσδιορίζει τον ρυθμό μετάδοσης του κυρίως πλαισίου δεδομένων (PSDU). Υπάρχουν 8 διαθέσιμοι ρυθμοί μετάδοσης που κωδικοποιούνται κατάλληλα στα 4 bits του πεδίου αυτού.

Bits 1-4	Ρυθμός δεδομένων (σε Mbps)
1101	6
1111	9
0101	12
0111	18
1001	24
1011	36
0001	48
0011	54

Πίνακας 6.17: Bit 1-4 του πεδίου rate

Reserved: Το πεδίο αυτό θα χρησιμοποιηθεί σε επόμενες εκδόσεις του πρωτοκόλλου. Για την τρέχουσα έκδοση είναι πάντα 0.

Length: Το πεδίο αυτό περιέχει τον αριθμό των bytes του ενσωματωμένου MAC πλαισίου.

Parity: Το πεδίο αυτό του ενός bit, βασίζεται στα 17 πρώτα bit της επικεφαλίδας του PPDU (πεδία Rate, Reserved και Length). Αν ο αριθμός των άσων είναι περιττός το πεδίο αυτό είναι 1 ενώ σε αντίθετη περίπτωση είναι 0.

Tail: Όλα τα πεδία του πεδίου αυτού τίθενται πάντα στο μηδέν.

Service: Το πεδίο αυτό αποτελείται από 16 bit τα οποία είναι όλα μηδέν. Από τα 16 αυτά bits τα πρώτα 7 χρησιμοποιούνται για το scrambling των bits του πλαισίου MAC ενώ τα υπόλοιπα 9 είναι δεσμευμένα για μελλοντική χρήση.

Pad bits: Το πεδίο αυτό έχει μεταβλητό μήκος αλλά αποτελείται από τουλάχιστον 6 bits και χρησιμεύει στο να κάνει το μήκος του τμήματος Data κατάλληλο για μεταφορά, όπως απαιτεί η εφαρμογή της OFDM στο 802.11a.

6.4.2 PMD

Το PMD υπόστρωμα υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων οι οποίοι κυμαίνονται από 6 μέχρι και 54 Mbps. Το προοίμιο PLCP και το πεδίο σήματος μεταδίδονται πάντα με σταθερό ρυθμό ίσο με 6Mbps χρησιμοποιώντας διαμόρφωση BPSK ανεξάρτητα από τον ρυθμό μετάδοσης του υπόλοιπου πλαισίου (έτσι όπως υποδεικνύει το πεδίο Rate). Για να επιτύχει το OFDM διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιεί συνδυασμό ρυθμών διαμόρφωσης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :

Ρυθμός δεδομένων	Διαμόρφωση	Ρυθμός κωδικοποίησης	Κωδ. bits ανά φέρον	Κωδ. bit ανά σύμβολο OFDM	Bit δεδομένων ανά σύμβολο OFDM
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	1/2	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

Πίνακας 6.18: Ρυθμοί διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί το OFDM

Για ρυθμό δεδομένων 6 Mbps, κάθε σύμβολο συμπεριλαμβάνει τα 48 υπό-κανάλια (subcarriers) κάθε καναλιού που μεταφέρουν δεδομένα. Αυτό, σε συνδυασμό με τα bits που χρησιμοποιούνται για διόρθωση λαθών, δίνει τελικά το πλήθος 24, των bits δεδομένων που μεταφέρει κάθε σύμβολο.

6.5 Φυσικό στρώμα 802.11b

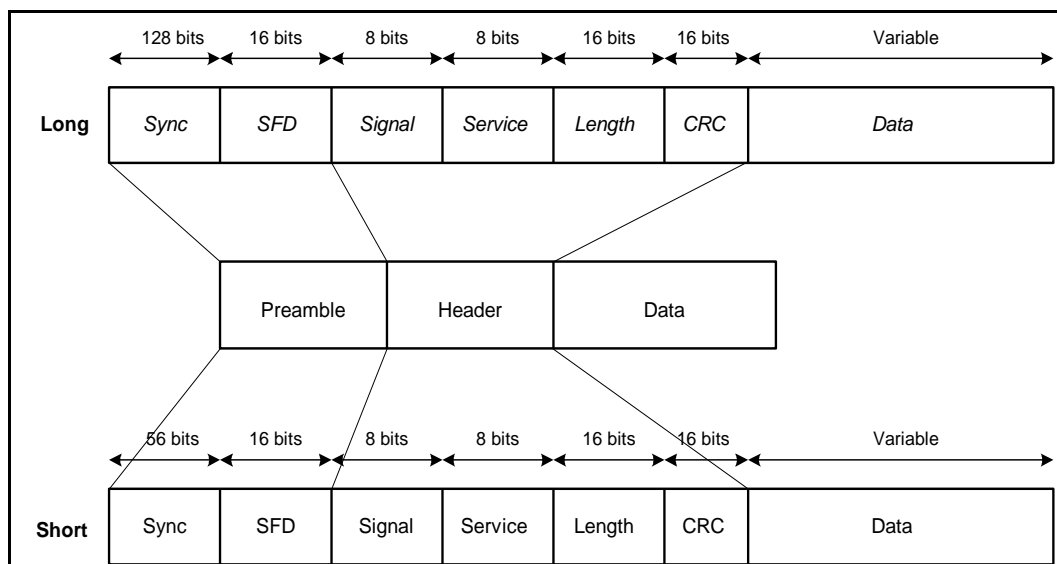
Το 802.11b αναπτύχθηκε από την IEEE το 1999 και αποτελεί μια επέκταση στο αρχικό πρότυπο. Η συμβολή του 802.11b στα ασύρματα τοπικά δίκτυα, ήταν να προσφέρει 2 νέες για την εποχή του ταχύτητες, αυτές των 5.5 και 11Mbps, καθώς η FHSS δεν μπορούσε να υπερβεί το όριο των 2Mbps. Η μετάδοση γίνεται στην μπάντα συχνοτήτων των 2,4 GHz. Είναι το πιο δημοφιλές από όλα τα πρότυπα παρόλο που το 802.11a προσφέρει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Χρησιμοποιεί την τεχνική HR/DSSS (High Rate/ Direct Sequence Spread Spectrum) και την διαμόρφωση CCK (Complementary Code Keying). [3]

6.5.1 Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

Το PLCP του 802.11b, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα υποστρώματα των άλλων φυσικών στρωμάτων του προτύπου 802.11, χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές μορφές πλαισίου, το σύντομο (Short) και το κανονικό (Long). Η μορφή Long είναι ίδια με τη μορφή του κλασσικού πλαισίου του φυσικού στρώματος DSSS του

802.11 που περιγράψαμε παραπάνω. Η υποστήριξη της Short μορφής είναι προαιρετική και γίνεται για επίτευξη αυξημένης διέλευσης

Στο Σχήμα φαίνονται και οι δύο μορφές PLCP πλαισίου. Επειδή η δομή τους είναι ίδια με αυτήν του PLCP πλαισίου του 802.11 DSSS φυσικού στρώματος θα τονιστούν μόνο τα σημεία στα οποία παρατηρούνται διαφορές.



Σχήμα 6.19: Πλαίσιο PLCP υποστρώματος του φυσικού στρώματος 802.11b

Πριν τη μετάδοση όλα τα bits του πλαισίου υφίστανται τη διαδικασία του scrambling, να “ανακατέψει” δηλαδή τα δεδομένα έτσι ώστε να αποφευχθούν οι μεγάλες ακολουθίες άσων και μηδενικών όπως και στην περίπτωση του 802.11 DSSS.

Preamble: Το προίμιο αποτελείται από τα πεδία Sync και SFD. Το Long Sync πεδίο είναι μεγαλύτερου μήκους 128 bits από το Short Sync 56 bits. Το Long SFD πεδίο περιέχει την ακολουθία «1111 0011 1010 0000» ενώ το Short SFD περιέχει την αντίστροφη ακολουθία «0000 0101 1100 1111». Το προίμιο μεταδίδεται πάντα σε ρυθμό 1 Mbps με χρήση DBPSK διαμόρφωσης.

Header: Το επικεφαλίδα περιέχει τα πεδία Signal, Service, Length και CRC. Το μήκος τους είναι ίδιο και στην Long και στην Short μορφή πλαισίου. Το πεδίο Signal κωδικοποιεί το ρυθμό μετάδοσης. Στη μορφή Long είναι διαθέσιμοι οι ρυθμοί 1, 2, 5,5 και 11 Mbps ενώ στη μορφή Short δεν είναι διαθέσιμος ο ρυθμός του 1 Mbps. Το πεδίο Length περιέχει το χρόνο σε msec που απαιτείται για τη

μετάδοση του ενσωματωμένου MAC πλαισίου. Από το πεδίο Service χρησιμοποιούνται τρία bits, ενώ τα υπόλοιπα παραμένουν δεσμευμένα και έχουν τιμή 0. Το bit 8 χρησιμεύει ως συμπληρωματικό bit του πεδίου Length. Το bit 3 δηλώνει το αν η συχνότητα μετάδοσης και το ρολόι συμβόλων χρησιμοποιούν τον ίδιο ταλαντωτή. Το bit 4 δηλώνει το είδος της κωδικοποίησης και είναι «1» για PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) και «0» για CCK. Τέλος, το πεδίο CRC περιέχει τον κυκλικό κώδικα που προστατεύει την επικεφαλίδα. Η επικεφαλίδα της Long μορφής πλαισίου μεταδίδεται με ρυθμό 1 Mbps και χρήση DBPSK ενώ η επικεφαλίδα της Short μορφής με ρυθμό 2 Mbps και χρήση DQPSK.

6.5.2 PMD

Για τον ρυθμό μετάδοσης των 5,5 Mbps με χρήση Complementary Code Keying (CCK) η ακολουθία των προς μετάδοση chips διαιρείται σε τετράδες. Τα δύο πρώτα chips κάθε τετράδας διαμορφώνονται με βάση την DQPSK διαμόρφωση. Τα δύο άλλα chips χρησιμεύουν για την επιλογή μίας εκ των τεσσάρων κωδικών λέξεων (code words) που υποστηρίζονται. Οι CCK code words έχουν συγκεκριμένες μαθηματικές ιδιότητες που επιτρέπουν στο δέκτη να ξεχωρίζει το επιθυμητό σήμα από τις παρεμβολές. Τελικά παράγεται το προς μετάδοση σύμβολο, στο οποίο έχουν κωδικοποιηθεί 4 chips.

Data Rate	Code Length	Modulation	Bits/Symbol
1 Mbps	11 (Barker Sequence)	BPSK	1
2 Mbps	11 (Barker Sequence)	QPSK	2
5.5 Mbps	β (CCK)	QPSK	4
11 Mbps	8 (CCK)	QPSK	8

Σχήμα 6.20: Data rate Specifications 802.11

Για το ρυθμό μετάδοσης των 11 Mbps κωδικοποιούνται 8 chips σε κάθε μεταδιδόμενο σύμβολο. Τα δύο πρώτα bits της οκτάδας διαμορφώνονται με

DQPSK, ενώ τα υπόλοιπα έξι χωρίζονται εκ νέου σε ζευγάρια, από όπου παράγονται οι επιπλέον στροφές φάσης. [2]

Αναφορές - Κεφάλαιο 6

1. Μ.Ε. Θεολόγου, “Δίκτυα κινητών & προσωπικών επικοινωνιών”, Τζιόλα, 2007
2. P.Nicopolidis, M.S. Obaidat, G.I. Papadimitriou, A.S. Pomportsis, “Ασύρματα δίκτυα”, Κλειδάριθμος, 2006
3. Αμπατζής Π. Χρήστος, Γουλιέλμος Γ. Αλέξανδρος, “Ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11 (WLANs) και εξομοίωση επίδοσης τους σε διαφορετικές τοπολογίες”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2005
Διπλωματική Εργασία, 2005
4. Γκέκα Θ. Χρυσάνθη, “Μελέτη ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης WLAN και WiMAX”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική Εργασία, 2007
5. Sorin M. Schwartz, “Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) vs. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) in the Broadband Wireless Access and WLAN Arenas”, Alvarion Ltd. BreezeCOM and Floware unite, 2001
6. Μπουράς Χρήστος, “Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα IEEE 802.11”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής
7. Ιωάννου Νίκος, “Ανάλυση της επίδοσης βιντεοροών Windows Media και Quick Time μέσα από ασύρματα τοπικά δίκτυα 802.11b”, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Τμήμα Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2007
8. Αλεξιάδης Παναγιώτης, Ηλιάδης Ισαάκ, “Ασύρματα δίκτυα 802.11”, Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Πληροφορικής, Πτυχιακή εργασία, 2004
9. Βαρβάρης Δημήτριος, “Υλοποίηση εφαρμογής παρακολούθησης της κινητικότητας των χρηστών σε ένα ασύρματο Wifi δίκτυο”, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, 2008

10. Στεικογιαννάκης Ν. Ιωάννης, “Μελέτη και προσομοίωση αλγορίθμων διαχείρισης ασυρμάτων πόρων για πολυκυψελωτά OFDMA συστήματα”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική Εργασία, 2007
11. Σκουλούδης Ανδρέας, “Κατασκευή λογισμικού διαχείρισης Ασυρμάτου δικτύου Wireless Network Management System”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, 2004
12. “Transmit Function”, Wireless Center All Wireless Articles, URL: <http://www.wireless-center.net/WLANs-WPANs/1457.html>
13. “802.11 PHY Layers”, Tech Target, URL: http://media.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/CWAP_ch8.pdf