

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

Πτυχιακή εργασία

**Πρωτόκολλα ασύρματων τοπικών
δικτύων - WiFi**



Της Φοιτήτριας
Κυριακίδου Κυριακής

Αρ. Μητρώου: 02/2045

Επιβλέπων καθηγητής
Βίτσας Βασίλειος

Θεσσαλονίκη 2011

Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων και Σχημάτων	σελ 5
Πίνακας Πινάκων.....	σελ 6
Πρόλογος.....	σελ 7
Περίληψη.....	σελ 8
Abstract.....	σελ 9
Ευχαριστίες	σελ 10
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα ασύρματα τοπικά δίκτυα	σελ 11
1.1 Εισαγωγή	σελ 12
1.2 Ιστορική αναδρομή	σελ 12
1.3 Αρχιτεκτονική των WLANs	σελ 14
1.4 Βασικά συστατικά των WLANs	σελ 15
1.4.1 Συσκευές χρηστών δικτύου	σελ 15
1.4.2 Λογισμικό δικτύου	σελ 15
1.4.3 Ασύρματες κάρτες δικτύου	σελ 16
1.4.4 Κεραίες	σελ 16
1.5 Τρόποι λειτουργίας των WLANs	σελ 17
1.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των WLANs	σελ 19
1.6.1 Πλεονεκτήματα	σελ 19
1.6.2 Μειονεκτήματα	σελ 20
1.7 Προβλήματα ασύρματων δικτύων	σελ 21
1.7.1 Πρόβλημα κρυμμένου σταθμού	σελ 21
1.7.2 Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού	σελ 21
1.7.3 Πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών	σελ 22
Κεφάλαιο 2: Πρότυπα ασύρματων τοπικών δικτύων	σελ 24
2.1 Εισαγωγή	σελ 25
2.2 Bluetooth	σελ 25
2.2.1 Ιστορική αναδρομή	σελ 25
2.2.2 Χαρακτηριστικά του Bluetooth	σελ 25
2.2.3 Αρχιτεκτονική του Bluetooth	σελ 26
2.2.4 Εφαρμογές του Bluetooth	σελ 27
2.2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Bluetooth	σελ 28
2.2.5.1 Πλεονεκτήματα	σελ 28

2.2.5.2 Μειονεκτήματα	σελ 29
2.3 Home RF	σελ 29
2.3.1 Ιστορική αναδρομή	σελ 29
2.3.2 Χαρακτηριστικά του Home RF	σελ 30
2.3.2.1 Βασικές παράμετροι του Home RF	σελ 30
2.3.3 Λειτουργία του Home RF	σελ 31
2.3.4.Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Home RF	σελ 32
2.3.4.1 Πλεονεκτήματα	σελ 32
2.3.4.2 Μειονεκτήματα	σελ 32
2.4 HiperLAN	σελ 32
2.4.1 Ιστορική αναδρομή	σελ 32
2.4.2 Χαρακτηριστικά του HiperLAN	σελ 32
2.4.2.1 Χαρακτηριστικά του HiperLAN/1	σελ 32
2.4.2.2 Χαρακτηριστικά του HiperLAN/2	σελ 33
2.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του HiperLAN	σελ 35
2.4.3.1 Πλεονεκτήματα	σελ 35
2.4.3.2 Μειονεκτήματα	σελ 35
2.5 Πρότυπα 802.11	σελ 35
2.5.1 802.11a	σελ 36
2.5.2 802.11b	σελ 36
2.5.3 802.11c	σελ 37
2.5.4 802.11d	σελ 37
2.5.5 802.11e	σελ 37
2.5.6 802.11f	σελ 37
2.5.7 802.11g	σελ 37
2.5.8 802.11h	σελ 38
2.5.9 802.11i	σελ 38
2.5.10 802.11n	σελ 38
2.5.11 Επίλογος	σελ 39
Κεφάλαιο 3: Φυσικό Επίπεδο.....	σελ 40
3.1 Εισαγωγή	σελ 41
3.2 Φυσικό Επίπεδο του 802.11	σελ 41
3.2.1 Υπέρυθρες	σελ 42
3.2.2 Τεχνική FHSS	σελ 42

3.2.3 Τεχνική DSSS	σελ 44
3.2.4 Σύγκριση FHSS – DSSS	σελ 44
3.2.5 DSSS στο 802.11b	σελ 45
3.2.6 Τεχνική OFDM	σελ 47
3.3 Αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου	σελ 48
3.4 Λειτουργίες του φυσικού επιπέδου	σελ 49
Κεφάλαιο 4: Υποεπίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου	σελ 51
4.1 Εισαγωγή	σελ 52
4.2 Δομή πλαισίων MAC του 802.11	σελ 52
4.2.1 Πλαίσια Ελέγχου	σελ 55
4.2.2 Πλαίσια Δεδομένων	σελ 56
4.2.3 Πλαίσια Διαχείρισης	σελ 57
4.3 Αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων	σελ 58
4.4 Έλεγχος πρόσβασης	σελ 59
4.4.1 Ανίχνευση Φέροντος	σελ 59
4.4.2 Μηχανισμοί πρόσβασης	σελ 59
4.4.2.1 Χρονικά διαστήματα αναμονής μεταξύ διαδοχικών πλαισίων	σελ 60
4.4.2.2 Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού	σελ 61
4.4.2.2.1 CSMA/CA με ανταλλαγή δύο πλαισίων	σελ 61
4.4.2.2.2 CSMA/CA με ανταλλαγή των πλαισίων ελέγχου RTS/CTS ...	σελ 63
4.4.2.2.2.1 Αλγόριθμος Δυαδικής Εκθετικής Οπισθοχώρησης	σελ 66
4.4.2.2.4 Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού	σελ 67
Κεφάλαιο 5: Το πρότυπο IEEE 802.16	σελ 71
5.1 Εισαγωγή	σελ 72
5.2 Η Εξέλιξη των Προτύπων 802.16	σελ 72
5.3 Γενικά χαρακτηριστικά	σελ 75
5.4 Αρχιτεκτονική WiMAX δικτύου	σελ 76
5.4.1 Συστατικά WiMAX συστήματος	σελ 77
5.5 Μοντέλο αναφοράς 802.16	σελ 78
5.6 Φυσικό Επίπεδο	σελ 79
5.6.1 WiMAX MIMO	σελ 81
5.6.2 Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση	σελ 81
5.6.3. Ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη	σελ 81
5.7 Επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου	σελ 82

5.7.1 Επίπεδο σύγκλισης	σελ 83
5.7.2 Επίπεδο MAC CPS	σελ 84
5.7.3 Ποιότητα Υπηρεσίας	σελ 85
5.7.3.1 Υπηρεσίες προγραμματισμού	σελ 86
5.7.3.2 Ροές υπηρεσιών και λειτουργίες ποιότητας υπηρεσιών	σελ 86
5.8 Εφαρμογές WiMAX	σελ 87
5.9 Σύγκριση WiMAX και WiFi	σελ 88
5.10 Μειονεκτήματα του WiMAX	σελ 90
Βιβλιογραφία	σελ 91
Δικτυακοί τόποι	σελ 91
Αναφορές	σελ 92

Ευρετήριο Εικόνων και Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Μια πανκατευθυντική κεραία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις ενώ μία μονοκατευθυντική κεραία εστιάζει προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση...	σελ 17
Σχήμα 1.2 Παράδειγμα infrastructure δικτύου.....	σελ 18
Σχήμα 1.3 Παράδειγμα ad hoc δικτύου.....	σελ 18
Σχήμα 1.4 Πρόβλημα κρυμμένου σταθμού	σελ 21
Σχήμα 1.5 Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού.....	σελ 22
Σχήμα 1.6 Πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών.....	σελ 23
Εικόνα 2.1 Δυο riconets μπορούν να συνδεθούν για να σχηματίσουν ένα scatternet.....	σελ 26
Εικόνα 2.2 Η δομή του επιπέδου Σύγκλισης.....	σελ 34
Σχήμα 3.1 802.11 και μοντέλο OSI.....	σελ 41
Σχήμα 3.2 Σχέση ακολουθίας αναπήδησης και ζώνης συχνοτήτων 2,4GHz..	σελ 43
Σχήμα 3.3 Επίδραση των τεχνικών FHSS και DSSS στο προς μετάδοση σήμα	σελ 45
Σχήμα 3.4 Διαφορές των ταχυτήτων μετάδοσης σε σχέση με την τεχνική κωδικοποίησης.....	σελ 46
Σχήμα 3.5 α) Μη επικαλυπτόμενες συχνότητες β) Επικαλυπτόμενες Συχνότητες.....	σελ 48
Σχήμα 3.6 Υποεπίπεδα του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου MAC στο 802.11.....	σελ 49
Εικόνα 4.1 Μορφοποίηση Πλαισίου MAC του 802.11.....	σελ 52
Εικόνα 4.2 Λειτουργία DCF με ανταλλαγή δύο πλαισίων.....	σελ 63
Εικόνα 4.3 Ανταλλαγή πλαισίων RTS/CTS.....	σελ 64
Εικόνα 4.4 Αντιμετώπιση του προβλήματος του κρυμμένου σταθμού.....	σελ 64
Εικόνα 4.5 Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού.....	σελ 70
Εικόνα 5.1 WiMAX δίκτυο.....	σελ 78
Εικόνα 5.2 Μοντέλο αναφοράς 802.16.....	σελ 79
Εικόνα 5.3 Κατακερματισμός και ενοποίηση των SDUs σε MAC PDUs.....	σελ 84

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1 Οικογένεια Προτύπων 802.11.....	σελ 14
Πίνακας 2.1 Προφίλ του Bluetooth.....	σελ 27
Πίνακας 3.1 Σύγκριση FHSS – DSSS.....	σελ 45
Πίνακας 4.1 Έγκυροι συνδυασμοί Τύπου και Υποτύπου.....	σελ 54
Πίνακας 5.1 Επεκτάσεις του 802.16.....	σελ 75
Πίνακας 5.2 Σύγκριση WiMAX και WiFi.....	σελ 89

Πρόλογος

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η πρόοδος της επικοινωνίας έχει αλλάξει τον τρόπο που βιώνουμε την καθημερινότητα μας. Οι ασύρματες επικοινωνίες έχουν εξελιχθεί σε τέτοιο βαθμό που εξυπηρετούν το ήμισυ σχεδόν του πληθυσμού της Γης. Οι υπολογιστές παίζουν κυρίαρχο ρόλο στις καθημερινές μας δραστηριότητες και το Internet ορίζει πλήρως τον τρόπο που οι άνθρωποι δουλεύουν, επικοινωνούν και μαθαίνουν.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό να παρουσιάσει την ανάπτυξη, την χρησιμότητα και την εξάπλωση των ασύρματων τοπικών δικτύων. Περιγράφει τα πρότυπα των ασύρματων τοπικών δικτύων, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο πρότυπο IEEE 802.11. Παρουσιάζει το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου του 802.11. Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή του προτύπου IEEE 802.16, το οποίο παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση, παραθέτοντας τα βασικά χαρακτηριστικά του. Τέλος, επιχειρείται μία σύγκριση των τεχνολογιών 802.11 και 802.16, που σκοπό έχει την παρουσίαση των διαφορών των δύο τεχνολογιών.

Περίληψη

Η εργασία αυτή οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Παρουσιάζεται η εξέλιξη των ασύρματων τοπικών δικτύων, η αρχιτεκτονική τους, τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, όπως επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους και τα προβλήματα που παρουσιάζονται.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τα κυριότερα πρότυπα των ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το Bluetooth, το HomeRF, το HiperLAN 1 και 2 και την οικογένεια προτύπων IEEE 802.11. Παρατίθεται η ιστορική εξέλιξη του κάθε προτύπου, τα βασικά χαρακτηριστικά του, η λειτουργία του, καθώς επίσης και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθενός από αυτά.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το φυσικό επίπεδο της οικογένειας προτύπων IEEE 802.11. Παρουσιάζει το 802.11 IR φυσικό επίπεδο και τις τεχνικές διαμόρφωσης FHSS, DSSS και OFDM του φυσικού επιπέδου. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται επίσης στην αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου και τις λειτουργίες του.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει μία εκτενής περιγραφή του επιπέδου ελέγχου προσπέλασης μέσου. Περιγράφεται η δομή των πλαισίων MAC και αναλύονται οι δύο μηχανισμοί πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης DCF και PCF, όπως επίσης και ο αλγόριθμος δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στο πρότυπο IEEE 802.16. Γίνεται μία σύντομη περιγραφή της εξέλιξης των προτύπων 802.16, παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αυτής και η αρχιτεκτονική δομή ενός δικτύου WiMAX. Περιγράφεται επίσης το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου του 802.16. Επιπλέον, παρατίθενται οι κύριες εφαρμογές του προτύπου 802.16, όπως επίσης και τα μειονεκτήματα του. Τέλος επιχειρείται μία σύγκριση των προτύπων 802.11 και 802.16, με κύριο σκοπό την παρουσίαση των διαφορών των δύο τεχνολογιών.

Abstract

This paper is organized into five chapters. The first chapter introduces the wireless local area networks (WLANs). It shows the evolution of the WLANs, their architecture, their basic components, as well as the advantages and disadvantages and the problems that occur in a wireless environment.

The second chapter presents the basic standards of WLANs, like Bluetooth, HomeRF, HiperLAN 1 and 2 and the IEEE 802.11 family of standards. It describes the historical development of each model, the basic features, the main functions, as well as the advantages and disadvantages of each standard.

The third chapter describes the physical layer of IEEE 802.11 family of standards. It presents the 802.11 IR physical layer and the modulation techniques FHSS, DSSS and OFDM of the physical layer. The third chapter also refers to the architecture of the physical layer and its functions.

The fourth chapter includes a detailed description of the medium access control layer (MAC). It describes the structure of a MAC frame and the two basic access methods DCF and PCF, as well as the binary exponential backoff algorithm.

The fifth chapter refers to the IEEE 802.16 standard. Is a brief description of the development of the 802.16 standard, presents the general features of this technology and the architecture of a WiMAX network. Also describes the physical layer and the MAC layer of the 802.16. Moreover, it deals with the main applications of the 802.16, as well as with its disadvantages. Finally, a comparison between 802.11 and 802.16 is attempted. The main purpose of this comparison is the presentation of the differences between the two technologies.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την διαρκή συμπαράσταση και υπομονή που έδειξε σε αυτή μου την προσπάθεια.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ Βασίλειο Βίτσα για την συνεχή και αμέριστη υποστήριξη κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στάθηκε πολύτιμος καθοδηγητής με το συνεχές και αμείωτο ενδιαφέρον του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

1.1 Εισαγωγή

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless Local Area Network, WLAN) χρησιμοποιείται ως επέκταση ή εναλλακτική λύση ενός κοινού ενσύρματου δικτύου (Ethernet) και επιτρέπει στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων, χωρίς τη χρήση καλωδίων. Στην ασύρματη δικτύωση, το μέσο μετάδοσης των δεδομένων είναι τα ραδιοκύματα καθώς και οι υπέρυθρες. Η ακτίνα δράσης των ασύρματων τοπικών δικτύων εκτείνεται αρκετά μέτρα με αποτέλεσμα να παρέχουν τη δυνατότητα σύνδεσης χρηστών μέσα σε ένα κτίριο ή σε μία ομάδα γειτονικών κτιρίων ή μιας πανεπιστημιούπολης.

Ο σημερινός τρόπος ζωής απαιτεί άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες και δεδομένα και αυτή η απαίτηση έχει δημιουργήσει μια συνεχώς αυξανόμενη αγορά για διάφορους τύπους προϊόντων τα οποία παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα ασύρματης μεταφοράς δεδομένων. Από τους υπολογιστές παλάμης και τα κινητά τηλέφωνα, έως τους εκτυπωτές και ένα πλήθος άλλων περιφερειακών συσκευών, η υποστήριξη ασύρματης επικοινωνίας εμφανίζεται καθημερινά σε όλο και περισσότερα προϊόντα.

Η χρήση δικτύων υπολογιστών από ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό επιχειρήσεων από όλο το φάσμα της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς και η ραγδαία ανάπτυξη του Internet και των διάφορων online υπηρεσιών, αποδεικνύουν τη μεγάλη σημασία που έχει στη σημερινή παγκόσμια οικονομία η δυνατότητα πρόσβασης σε απομακρυσμένες πληροφορίες.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου έγινε το 1971 από μία ομάδα επιστημόνων του Πανεπιστημίου της Χαβάης, με επικεφαλή τον καθηγητή Norman Abramson. Στόχος αυτού του ερευνητικού προγράμματος, το οποίο ονομάστηκε ALOHANET, ήταν η επικοινωνία των υπολογιστών σε επτά πανεπιστημιούπολεις χτισμένες σε τέσσερα νησιά. Οι υπολογιστές επικοινωνούσαν με ένα κεντρικό υπολογιστή, χωρίς τη χρήση τηλεφωνικών καλωδίων, αλλά με τη βοήθεια ραδιοκυμάτων. Το ALOHANET επέτρεπε την επικοινωνία μεταξύ του κεντρικού υπολογιστή και κάθε ενός χρήστη ξεχωριστά σε μία τοπολογία αστέρα.

Το 1985 ο οργανισμός FCC (Federal Communications Commission), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον καθορισμό του εύρους συχνοτήτων που θα

χρησιμοποιείται για κάθε τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή, εξουσιοδότησε την κοινή χρήση του φάσματος συχνοτήτων ISM (Industrial, Scientific, Medical), το οποίο μέχρι τότε μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο μέσω FCC αδειών. Η ζώνη συχνοτήτων ISM, η οποία κυμαίνεται στα 2,4 GHz, αποδείχθηκε πολύ ελκυστική για τους προμηθευτές ασύρματης δικτύωσης, αφενός γιατί βρίσκεται ακριβώς επάνω από τις κυψελοειδείς τηλεφωνικές συχνότητες, όπου και στηρίχθηκε η κατασκευή όλων των τεχνολογιών WLAN, αφετέρου γιατί οι τελικοί χρήστες των προϊόντων ασύρματης δικτύωσης δεν είναι αναγκασμένοι να λαμβάνουν πλέον FCC άδειες για να χρησιμοποιούν τα προϊόντα τους. Έκτοτε σημειώθηκε σημαντική αύξηση στον τομέα των WLANs. Η έλλειψη προτύπων ωστόσο, οδήγησε στην εμφάνιση πολλών προϊόντων ασύρματης δικτύωσης χωρίς καμία συμβατότητα μεταξύ τους.

Η πρώτη προσπάθεια να καθοριστεί ένα πρότυπο για ασύρματα δίκτυα έγινε στα τέλη της δεκαετίας 1980 από μία ομάδα εργασίας του IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), αρμόδιο για την ανάπτυξη των προτύπων του τοπικού LAN, όπως το Ethernet και το Token Ring. Η ομάδα εργασίας του IEEE για το 802.11 πρότυπο για ασύρματα δίκτυα, ανέπτυξε τις προδιαγραφές του επιπέδου ελέγχου προσπέλασης μέσου και του φυσικού επιπέδου του μοντέλου αναφοράς OSI (Open System Interconnection reference model) για τα ασύρματα δίκτυα. Τον Ιούνιο του 1997 το συμβούλιο του IEEE ενέκρινε το πρότυπο 802.11 και τον Νοέμβριο του ίδιου χρόνου το δημοσίευσε. Περιλαμβάνει το επίπεδο MAC και τρεις προδιαγραφές φυσικού επιπέδου, δύο για την ζώνη των 2,4GHz και μία για τις υπέρυθρες, όπου όλες λειτουργούν στα 1 και 2Mbps. Τον Σεπτέμβριο του 1999, εγκρίθηκαν δύο εκδόσεις του αρχικού προτύπου από το Συμβούλιο Προτύπων του IEEE. Το πρώτο πρότυπο, 802.11b, επεκτείνει την απόδοση των υπάρχοντων 2,4GHz του φυσικού επιπέδου, με ρυθμούς δεδομένων μέχρι και 11Mbps. Το δεύτερο πρότυπο, 802.11a, προσφέρει ένα νέο, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (από 20 έως 54Mbps) στο φυσικό επίπεδο στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz. Στην συνέχεια, για τις ανάγκες βελτίωσης και εξέλιξης του συγκεκριμένου προτύπου δημιουργήθηκαν ομάδες εργασίας και με βάση τα αποτελέσματα των ερευνών τους αναπτύχθηκαν οι επεκτάσεις του 802.11, που καθορίζονται από τα γράμματα a έως και i, Πίνακας 1.

Πίνακας 1 Οικογένεια Προτύπων 802.11

Πρότυπο IEEE	Ζώνη Συχνοτήτων	Ρυθμοί Μεταφοράς Δεδομένων / sec	Ειδικά χαρακτηριστικά
802.11a	5GHz	54Mbps	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). ▪ Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz UNII(Unlicensed National Information Infrastructure).
802.11b	2,4GHz	11Mbps	<ul style="list-style-type: none"> • Στο φυσικό επίπεδο χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης High Rate DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum). • Λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2,4 – 2,4835 GHz.
802.11c			AP Bridge Operation Procedures
802.11d	5GHz		Global Harmonization
802.11e			Βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσίας
802.11f			Χρησιμοποιείται για επικοινωνία μεταξύ των access points
802.11g	2,4GHz	54Mbps	ISM ζώνη συχνοτήτων αλλά OFDM διαμόρφωση
802.11h	5GHz		Βελτιωμένη διαχείριση ισχύος
802.11i			Βελτιωμένη ασφάλεια

1.3 Αρχιτεκτονική των WLANs

Το μικρότερο τμήμα ενός ασύρματου LAN αποτελείται από μια βασική ομάδα υπηρεσιών (Basic Service Set, BSS), η οποία αποτελείται από έναν αριθμό σταθμών που εκτελούν το ίδιο πρωτόκολλο MAC και ανταγωνίζονται για την πρόσβαση στο ίδιο κοινόχρηστο ασύρματο μέσο. Μία BSS μπορεί να είναι απομονωμένη ή μπορεί να συνδέεται σε ένα κεντρικό σύστημα διανομής (Distribution System, DS) από ένα σημείο πρόσβασης (Access Point, AP). Το AP λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ δύο ή περισσότερων BSSs. Το πρωτόκολλο MAC μπορεί να είναι πλήρως κατανεμημένο ή ελεγχόμενο από μία κεντρική λειτουργία συντονισμού που βρίσκεται στο AP. Το AP παρέχει και ελέγχει την πρόσβαση των σταθμών στο DS, προσφέροντας και υπηρεσίες συστήματος διανομής εκτός από τη βασική λειτουργία ως σταθμού.

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

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

1.4 Βασικά συστατικά των WLANs

1.4.1 Συσκευές χρηστών δικτύου

Οι συσκευές των χρηστών αποτελούν την διεπαφή μεταξύ του χρηστών και του δικτύου. Οι παρακάτω κατηγορίες συσκευών αποτελούν τις συσκευές που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα:

- Σταθεροί υπολογιστές γραφείου
- Υπολογιστές Laptop
- Υπολογιστές Palmtop
- Προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (Personal Digital Assistants - PDAs)
- Φορητοί εκτυπωτές και scanners

Οι συσκευές χρηστών αποτελούν την διασύνδεση των χρηστών με τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες του δικτύου.

1.4.2 Λογισμικό δικτύου

Το λογισμικό ενός ασύρματου δικτύου είναι το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο στα διάφορα μέρη του δικτύου. Το λογισμικό αυτό περιλαμβάνει το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο στις συσκευές των χρηστών του δικτύου, το λογισμικό του συστήματος διαχείρισης του δικτύου καθώς και το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο στον κεντρικό υπολογιστή του δικτύου, ο οποίος παρέχει υπηρεσίες εφαρμογής.

1.4.3 Ασύρματες κάρτες δικτύου

Στην ασύρματη δικτύωση, για να επικοινωνήσουν δύο ή περισσότεροι υπολογιστές μεταξύ τους είναι αναγκαία η ύπαρξη ασύρματων καρτών δικτύου. Οι ασύρματες κάρτες δικτύου (Wireless Network Interface Cards, WNICs) διαμορφώνουν, ενισχύουν και μεταδίδουν το ψηφιακό σήμα που ανταλλάσσουν μεταξύ τους οι υπολογιστές προκειμένου να επικοινωνήσουν. Οι ασύρματες κάρτες δικτύου συνδέονται μέσω ενός διαύλου με τις συσκευές των χρηστών. Δίαυλοι που χρησιμοποιούνται είναι οι ISA (Industry Standard Architecture) και PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association), ενώ μερικές εταιρίες παράγουν κάρτες οι οποίες συνδέονται με τον υπολογιστή μέσω μιας RS-232 σειριακής ή παράλληλης θύρας. Για να συνδεθεί η ασύρματη κάρτα με τη συσκευή του χρήστη, απαιτείται ένας οδηγός λογισμικού (software driver), ο οποίος επιτυγχάνει τη διεπαφή μεταξύ της συσκευής και της κάρτας δικτύου. Οι πιο σημαντικοί οδηγοί λογισμικού είναι οι ακόλουθοι:

- NDIS (Network Driver interface Specification)
- ODI (Open Datalink Interface)
- PDS (Packet Driver Specification)

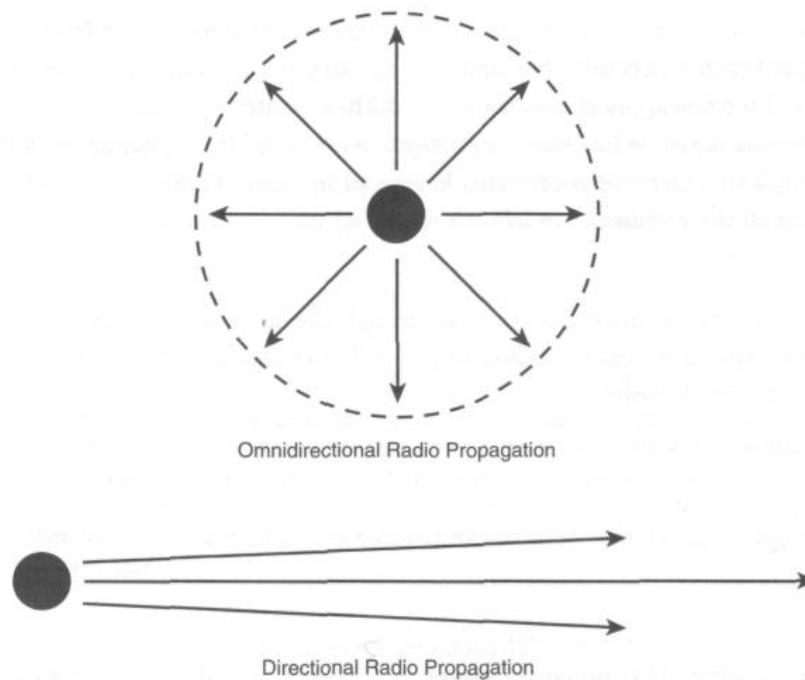
1.4.4 Κεραίες

Οι κεραίες χρησιμοποιούνται ώστε ο πομπός να εκπέμπει το διαμορφωμένο σήμα και ο δέκτης να το λάβει. Οι κεραίες διακρίνονται σε πολλά είδη και μεγέθη και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Πρότυπο διάδοσης
- Ευαισθησία
- Ισχύς μετάδοσης
- Εύρος ζώνης

Το πρότυπο διάδοσης μιας κεραίας καθορίζει την περιοχή κάλυψης της κεραίας. Στα WLAN χρησιμοποιούνται δυο τύποι κεραίας για την μετάδοση του σήματος:

- Μονοκατευθυντική (directional) κεραία: αυτός ο τύπος κεραίας συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος της σε μία μόνο κατεύθυνση.
- Πανκατευθυντική (omnidirectional) κεραία: αυτός ο τύπος κεραίας διοχετεύει όλη την ισχύ της προς κάθε κατεύθυνση.

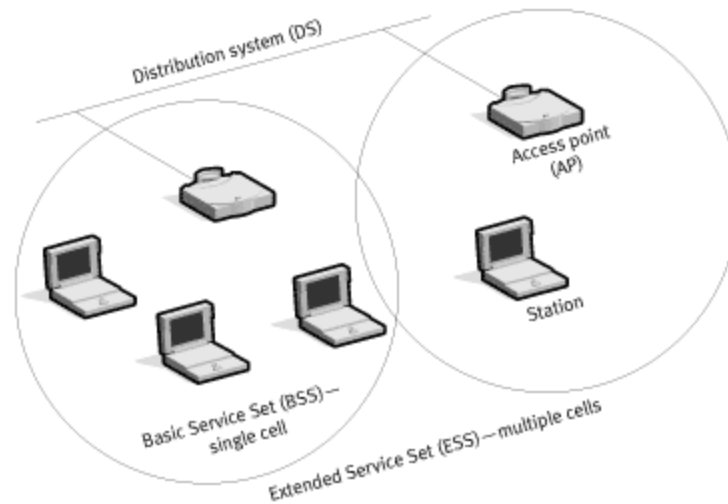


Σχήμα 1.1 Μια πανκατευθυντική κεραία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις ενώ μία μονοκατευθυντική κεραία εστιάζει προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση

1.5 Τρόποι λειτουργίας των WLANs

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

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



Σχήμα 1.2 Παράδειγμα infrastructure δικτύου

Η κατάσταση λειτουργίας ad hoc (η οποία ονομάζεται και peer to peer λειτουργία ή Independent Basic Service Set, IBSS) είναι απλά ένα σύνολο από ασύρματους σταθμούς οι οποίοι επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, χωρίς να χρησιμοποιούν σημεία πρόσβασης ή οποιαδήποτε σύνδεση με ένα ενσύρματο δίκτυο. Συσκευές οι οποίες βρίσκονται εντός εμβέλειας μεταξύ τους, μπορούν να βρεθούν και να επικοινωνήσουν απευθείας, χωρίς τη μεσολάβηση κάποιου κεντρικού AP. Αυτή η λειτουργία είναι χρήσιμη για την εύκολη και γρήγορη δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου οπουδήποτε δεν υπάρχει μια ενσύρματη υποδομή ή δεν απαιτείται η χρήση των παραπάνω υπηρεσιών, ή όπου η πρόσβαση στο δίκτυο δεν επιτρέπεται.

Peer-to-Peer / Ad-Hoc



Σχήμα 1.3 Παράδειγμα ad hoc δικτύου

1.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των WLANs

1.6.1 Πλεονεκτήματα

Τα βασικά πλεονεκτήματα που παρέχει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο προέρχονται από την φύση της ασύρματης τεχνολογίας η οποία προσφέρει πολλές ευκολίες. Έτσι, τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτών των δικτύων είναι:

Δυνατότητα/ευκολία κίνησης: Τα ασύρματα δίκτυα δίνουν την δυνατότητα στους χρήστες να παραμένουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο και να έχουν πρόσβαση στους πόρους του δικτύου, αρκεί να βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψης του δικτύου της επιχείρησης ή του σπιτιού τους. Για μια επιχείρηση, αυτό σημαίνει ότι ένας υπάλληλος μπορεί να είναι αποδοτικότερος δεδομένου ότι η εργασία του/της μπορεί να ολοκληρωθεί από οποιαδήποτε κατάλληλη θέση, με άμεση συνέπεια την αύξηση της παραγωγικότητας της ίδιας της επιχείρησης.

Ευκολία εγκατάστασης: Η εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου μπορεί να είναι εξαιρετικά γρήγορη και εύκολη, καθώς δεν απαιτείται η πολύπλοκη μερικές φορές και χρονοβόρα τοποθέτηση καλωδίων σε τοίχους ή δάπεδα. Η αρχική εγκατάσταση ενός ασύρματου δικτύου με infrastructure δομή απαιτεί μόνο έναν αριθμό από access points. Τα ενσύρματα δίκτυα αντιθέτως, έχουν επιπλέον το κόστος και την πολυπλοκότητα των φυσικών καλωδίων που πρέπει να τοποθετηθούν σε διάφορα μέρη (ενδεχομένως σε κάποιες περιπτώσεις να είναι αδύνατη η τοποθέτησή τους σε κάποιο κτίριο το οποίο είναι διατηρητέο, οπότε και δεν επιτρέπεται οποιαδήποτε παρέμβαση).

Μειωμένο κόστος: Τα ασύρματα δίκτυα χαρακτηρίζονται από μειωμένες δαπάνες δικτύωσης, λόγω της έλλειψης των καλωδιώσεων. Ενώ το αρχικό κόστος για το hardware που θα υποστηρίξει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός ενσύρματου δικτύου, τα συνολικά έξοδα εγκατάστασης, καθώς και το κόστος χρήσης, είναι σημαντικά μικρότερα. Μακροπρόθεσμα τα οφέλη είναι ακόμη μεγαλύτερα για περιπτώσεις δυναμικών χώρων εργασίας, οι οποίες απαιτούν συχνές μετακινήσεις και αλλαγές.

Επεκτασιμότητα: Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να εξυπηρετήσουν έναν αυξανόμενο αριθμό χρηστών με τον υπάρχοντα εξοπλισμό. Σε ένα ενσύρματο δίκτυο, οι πρόσθετοι πελάτες θα απαιτούσαν πρόσθετη καλωδίωση.

Δυνατότητα προσαρμογής στις ανάγκες: Ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί με μία σειρά τοπολογίες, ικανοποιώντας τις ανάγκες τόσο μικρών όσο και πολυπληθών ομάδων χρηστών.

Ευελιξία: Με τα ασύρματα δίκτυα η πληροφορία μπορεί να φτάσει σε σημεία όπου είναι αδύνατο να προσεγγιστούν με καλώδια.

1.6.2 Μειονεκτήματα

Τα ασύρματα δίκτυα πέρα των πολλών πλεονεκτημάτων που έχουν, παρουσιάζουν και κάποιες αδυναμίες εξαιτίας της ίδιας της φύσης τους. Τα κύρια μειονεκτήματα των ασύρματων δικτύων είναι:

Περιορισμένος αριθμός χρηστών και μικρό εύρος ζώνης: Η ασύρματη μετάδοση δεδομένων είναι πιο αργή, λιγότερο αποτελεσματική και λιγότερο αξιόπιστη σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα. Σε ένα ασύρματο δίκτυο όσο αυξάνεται ο αριθμός των χρηστών τόσο μειώνεται η ταχύτητα μεταφοράς των δεδομένων κάθε χρήστη.

Περιορισμένη ασφάλεια: Η ασύρματη σύνδεση είναι περισσότερο ευπαθής στις κακόβουλες επιθέσεις. Επειδή δεν είναι δυνατό να περιορίσουμε τα ραδιοκύματα, είναι εύκολο να γίνει ανίχνευση της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Σε περίπτωση δε, που η πληροφορία δεν είναι κωδικοποιημένη μπορεί να γίνει ανάκτηση της. Γι' αυτό απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων ασφάλειας, όπως οι τεχνικές κωδικοποίησης και αυθεντικοποίησης της πληροφορίας, ώστε να εμποδίσουμε ανεπιθύμητες παρεμβάσεις στη λήψη και μετάδοση δεδομένων.

Παρεμβολές: Ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές σε άλλο ασύρματο δίκτυο όταν η περιοχή κάλυψης του ενός συμπίπτει σε ένα μέρος με την περιοχή κάλυψης του άλλου, με συνέπεια τη μείωση του εύρους ζώνης συχνοτήτων και των δύο ή ακόμη και την αδυναμία σύνδεσης σε κάποιο από αυτά.

Αδυναμία κίνησης: Οι συσκευές λειτουργούν μόνο σε περιορισμένη απόσταση από ένα σημείο πρόσβασης, με την απόσταση να καθορίζεται από το πρότυπο που χρησιμοποιείται, από τα κτίρια και τα άλλα εμπόδια μεταξύ του σημείου πρόσβασης και του χρήστη.

Εξάρτηση από τα ενσύρματα δίκτυα: Ένα ασύρματο δίκτυο δεν αποτελεί ολοκληρωμένη λύση αλλά λειτουργεί ως συμπλήρωμα των ενσύρματων δικτύων.

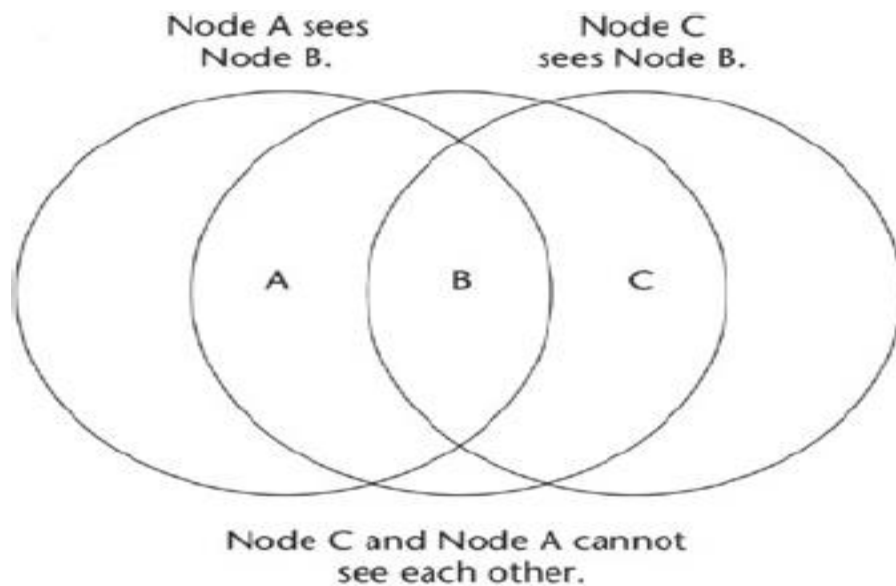
Μικρή ταχύτητα: Η ταχύτητα στα περισσότερα ασύρματα δίκτυα (εκτός του 802.11n το οποίο πετυχαίνει ταχύτητες πάνω από 100Mbps) είναι αργή σε σχέση ακόμη και με τα πιο αργά ενσύρματα δίκτυα(100Mbps μέχρι και κάποια Gbps).[1]

1.7 Προβλήματα ασύρματων δικτύων

1.7.1 Πρόβλημα κρυμμένου σταθμού

Το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού (hidden station problem) υφίσταται όταν ένας σταθμός A κατά την προσπάθειά του να επικοινωνήσει με έναν σταθμό B, συγκρούεται με έναν τρίτο σταθμό C, ο οποίος προσπαθεί επίσης να επικοινωνήσει με τον σταθμό B, με αποτέλεσμα κανένας από τους σταθμούς A και C να μην μπορεί να επικοινωνήσει με τον σταθμό B.

Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζεται το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού. Οι σταθμοί A και C βρίσκονται εκτός εμβέλειας μεταξύ τους. Έτσι, αν ο σταθμός A μεταδώσει ένα πακέτο στον σταθμό B, ο C δεν το γνωρίζει και μπορεί να μεταδώσει και αυτός ένα πακέτο στον B, με αποτέλεσμα την σύγκρουση των δυο πακέτων. Η λύση για το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού είναι η τεχνική CSMA/CA, η οποία θα περιγραφεί σε επόμενο κεφάλαιο.[2]

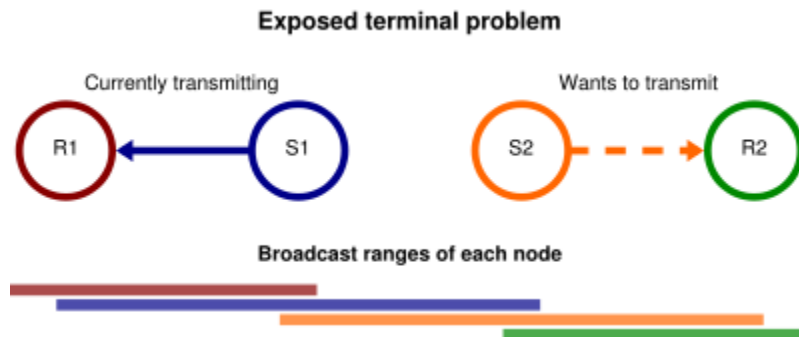


Σχήμα 1.4 Πρόβλημα κρυμμένου σταθμού

1.7.2 Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού

Το πρόβλημα του εκτεθειμένου σταθμού (exposed station problem) εμφανίζεται όταν ένας σταθμός εμποδίζεται από το να μεταδώσει ένα πακέτο δεδομένων λόγω ενός άλλου γειτονικού σταθμού. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5, οι σταθμοί S1 και S2 βρίσκονται εντός εμβέλειας μεταξύ τους, ενώ οι σταθμοί R1 και R2 είναι εκτός εμβέλειας ο ένας με τον άλλο. Αν κάποια στιγμή ο S1 στέλνει πακέτα στον R1, ο S2 θα εμποδιστεί από το CSMA/CA να στείλει πακέτα στον R2, διότι θα

θεωρήσει λανθασμένα ότι θα παρεμβληθεί στην επικοινωνία του S1 και R1. Αυτό όμως δεν είναι δυνατό να συμβεί, διότι ο R2 βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του S1.[3]

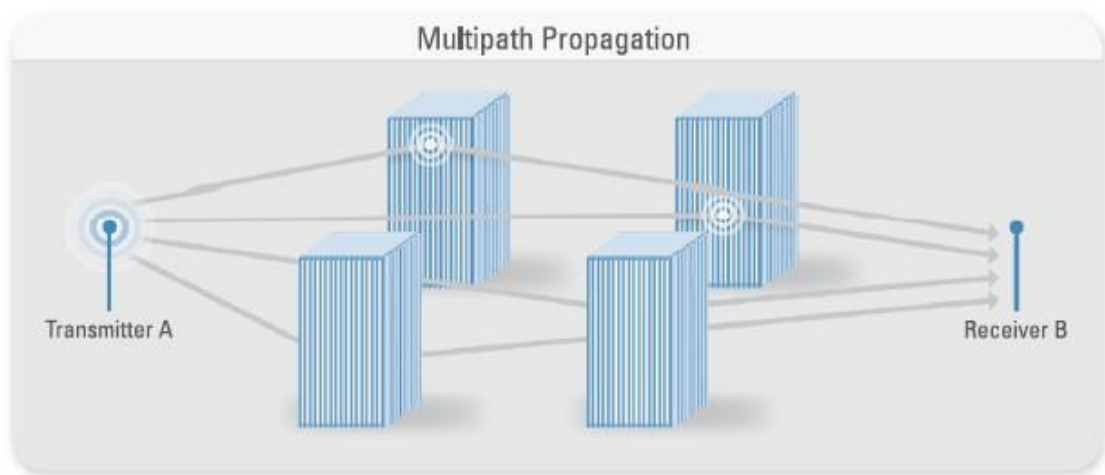


Σχήμα 1.5 Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού

1.7.3 Πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών

Στις ασύρματες επικοινωνίες, το πρόβλημα των πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι το πρόβλημα που εμφανίζεται όταν κατά τη μετάδοση ενός ραδιοσήματος φτάνουν στον δέκτη δύο ή περισσότερα αντίγραφα του αρχικού εκπεμπόμενου σήματος μέσω διαφορετικών μονοπατιών. Αυτό συμβαίνει διότι τα μεταδιδόμενα σήματα μπορούν να συνδυαστούν με τα ανακλώμενα από διαφορετικές επιφάνειες ή εμπόδια σήματα, με αποτέλεσμα τη φθορά ή τη καταστροφή του σήματος που ανιχνεύεται από τον δέκτη.

Το Σχήμα 1.6 απεικονίζει ένα παράδειγμα αυτού του προβλήματος όπου το σήμα που εκπέμπει ο πομπός A φθάνει στον δέκτη B από τέσσερα διαφορετικά μονοπάτια. Κάθε αντίγραφο του αρχικού σήματος φθάνει στον B με μία χρονική διαφορά το ένα με το άλλο, με αποτέλεσμα οι διακυμάνσεις αυτές να προκαλούν διασυμβολική παρεμβολή στα διαμορφωμένα σήματα. Αυτό που συμβαίνει, είναι ότι μαζί με ένα σύμβολο φτάνουν στον B και καθυστερημένα γειτονικά ή το ίδιο το σύμβολο. Έτσι ο B δυσκολεύεται πλέον να κάνει σωστή αποδιαμόρφωση και κάνει λάθη.[4]



Σχήμα 1.6 Πρόβλημα πολλαπλών διαδρομών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Για την ασύρματη δικτύωση συσκευών υπάρχουν πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες και πρότυπα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες από αυτές τις τεχνολογίες, περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά και η λειτουργία τους και παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μίας από αυτές.

2.2 Bluetooth

Στη μικρότερη τάξη μεγέθους των ασύρματων τοπικών δικτύων συναντώνται τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks, WPANs). Τα WPANs είναι τοπικά δίκτυα πολύ μικρής εμβέλειας με σκοπό την ασύρματη και ad hoc δικτύωση ετερογενών φορητών συσκευών. Τα WPANs, αν και είναι δίκτυα υπολογιστών, δεν σχεδιάζονται για ενσωμάτωση σε μεγαλύτερα δίκτυα, καθώς στοχεύουν στην επικοινωνία συσκευών περιορισμένων πόρων, όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, οι συσκευές αναπαραγωγής πολυμέσων κλπ. Η επικοινωνία αυτή επιτρέπει στις συσκευές αυτές υπηρεσίες όπως ανταλλαγή αρχείων, διαμοίραση εφαρμογών, άμεση επικοινωνία κλπ. Το σπουδαιότερο πρότυπο στον χώρο αυτόν είναι η οικογένεια πρωτοκόλλων Bluetooth.

2.2.1 Ιστορική αναδρομή

Το 1994 η εταιρεία Ericsson ενδιαφέρθηκε για την σύνδεση των κινητών της τηλεφώνων με άλλες συσκευές χωρίς τη χρήση καλωδίων. Μαζί με τις εταιρείες IBM, Intel, Nokia και Toshiba, δημιούργησε μία Ομάδα Ειδικών Ενδιαφερόντων (Special Interest Group, SIG) για την ανάπτυξη ενός προτύπου ασύρματης διασύνδεσης ετερογενών φορητών συσκευών σε πολύ μικρή εμβέλεια. Το πρότυπο πήρε το όνομα του από τον Δανό Harald Blaaland II (ή Bluetooth, δηλαδή Κυανόδοντος), ένα βασιλιά των Βίκινγκς ο οποίος ενοποίησε τη Δανία με τμήματα της Νορβηγίας υπό την θρησκεία του Χριστιανισμού. Το ίδιο συμβαίνει και με το Bluetooth, το οποίο ενώνει διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας υπό ένα ενιαίο πρότυπο.

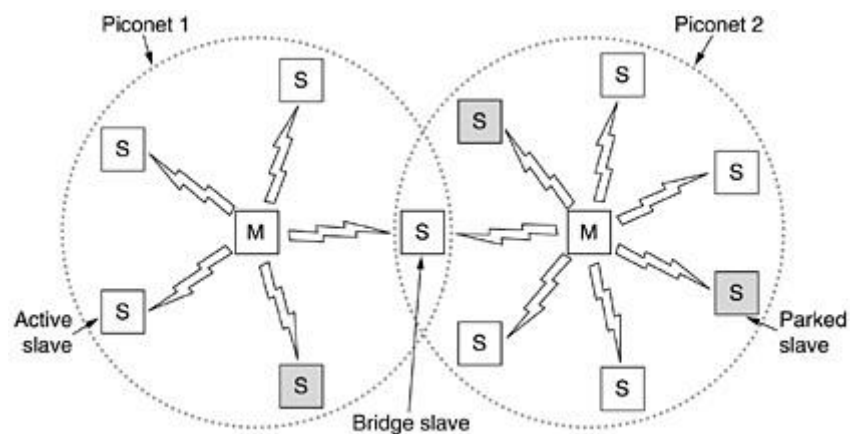
2.2.2 Χαρακτηριστικά του Bluetooth

Το Bluetooth λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων των 2,4GHz (2,4 – 2,485GHz), ώστε οι συσκευές που το ενσωματώνουν να μπορούν να λειτουργήσουν απροβλημάτιστα σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη. Το συγκεκριμένο φάσμα

συχνοτήτων δεν απαιτεί απόκτηση άδειας χρήσης από την εταιρεία FCC, η οποία είναι αρμόδια για τον καθορισμό του εύρους συχνοτήτων που θα χρησιμοποιείται για κάθε τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή. Για να περιοριστούν στο ελάχιστο οι παρεμβολές από συσκευές που λειτουργούν στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων, το Bluetooth εκμεταλλεύεται την αμφίδρομη επικοινωνία και τη μέθοδο μετάδοσης με διασπορά φάσματος Frequency Hopping (έως και 1600 εναλλαγές συχνότητας ανά δευτερόλεπτο). Από φυσική άποψη επίσης το Bluetooth προδιαγράφει τρία επίπεδα ισχύος της εκπομπής από τα οποία εξαρτάται και η εμβέλεια επικοινωνίας (πάντα μικρότερη των 10 μέτρων σε PAN).

2.2.3 Αρχιτεκτονική του Bluetooth

Η βασική μονάδα ενός δικτύου Bluetooth είναι ένα μικροσκοπικό δίκτυο (piconet). Το piconet αποτελείται από έναν κύριο (master) κόμβο και το πολύ επτά ενεργούς κόμβους υπηρέτες (slaves) μέσα σε μία απόσταση 10 μέτρων. Πολλά piconets μπορούν να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο ή ακόμα και να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός κοινού κόμβου – γέφυρα (bridge), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1. Ένα διασυνδεδεμένο σύνολο από piconets ονομάζεται διάσπαρτο δίκτυο (scatternet).



Εικόνα 2.1 Δυο piconets μπορούν να συνδεθούν για να σχηματίσουν ένα scatternet

Ένα piconet, εκτός από τους επτά ενεργούς slaves μπορεί να υποστηρίξει έως και 255 σταθμευμένους (parked) κόμβους. Οι parked κόμβοι είναι συσκευές τις οποίες, ο master κόμβος έχει θέσει σε κατάσταση χαμηλής ισχύος, ώστε να μειώσει την κατανάλωση των μπαταριών τους. Στη σταθμευμένη κατάσταση, οι συσκευές δεν κάνουν τίποτα άλλο, από το να αποκρίνονται σε ένα σήμα

ενεργοποίησης ή σε ένα σήμα φάρου από τον master. Υπάρχουν επίσης και δύο ενδιάμεσες καταστάσεις ισχύος, η δέσμευση (hold) και η ανίχνευση (sniff).

2.2.4 Εφαρμογές του Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth ορίζει 13 διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία είναι σύνολα από συνθήκες που ελέγχουν τη μετάδοση των δεδομένων στα ανώτερα και κατώτερα επίπεδα επικοινωνίας, αλλά κυρίως στο φυσικό επίπεδο και το επίπεδο MAC. Τα πρωτόκολλα ονομάζονται προφίλ (profiles) και αφορούν 13 διαφορετικές εφαρμογές.

Όταν μια συσκευή Bluetooth κατασκευαστεί, ο δημιουργός της καταγράφει συγκεκριμένα Bluetooth profiles που χρησιμοποιεί η συσκευή αυτή. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επικοινωνία δύο συσκευών είναι η χρήση τουλάχιστον ενός Bluetooth profile το οποίο υπάρχει και στις δύο συσκευές. Τα 13 διαφορετικά profiles περιγράφονται στον παρακάτω Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Προφίλ του Bluetooth

Όνομα	Περιγραφή
Γενική πρόσβαση	Διαδικασίες διαχείρισης του συνδέσμου
Ανακάλυψη υπηρεσιών	Πρωτόκολλο για την ανακάλυψη των προσφερόμενων υπηρεσιών
Σειριακή θύρα	Αντικατάσταση ενός καλωδίου σειριακής θύρας
Γενική ανταλλαγή αντικειμένων	Καθορίζει τη σχέση πελάτη – διακομιστή για τη μετακίνηση αντικειμένων
Πρόσβαση LAN	Πρωτόκολλο ανάμεσα σε έναν κινητό υπολογιστή και ένα σταθερό LAN
Τηλεφωνική δικτύωση	Επιτρέπει σε έναν κινητό υπολογιστή να καλεί μέσω κινητού τηλεφώνου
Φαξ	Επιτρέπει σε μία κινητή μηχανή φαξ να μιλάει σε ένα κινητό τηλέφωνο
Ασύρματη τηλεφωνία	Συνδέει ένα ακουστικό κεφαλής με τον τοπικό του σταθμό βάσης
Ενδοσυνεννόηση	Ψηφιακή ενδοσυνεννόηση
Ακουστικό κεφαλής	Επιτρέπει τη φωνητική επικοινωνία χωρίς χέρια
Ώθηση αντικειμένων	Παρέχει μία μέθοδο ανταλλαγής απλών αντικειμένων
Μεταφορά αρχείων	Παρέχει μία πιο γενική βοηθητική λειτουργία μεταφοράς αρχείων
Συγχρονισμός	Επιτρέπει σε μία συσκευή PDA να συγχρονίζεται με έναν άλλο υπολογιστή

Τα προφίλ γενικής πρόσβασης και ανακάλυψης υπηρεσιών είναι γενικής χρήσης και υλοποιούνται από όλες τις συσκευές Bluetooth. Το προφίλ γενικής πρόσβασης παρέχει ασφαλής συνδέσμους ανάμεσα στον master κόμβο και τους slaves, ενώ το προφίλ ανακάλυψης υπηρεσιών χρησιμοποιείται από τις συσκευές για να ανακαλύψουν ποιες υπηρεσίες προσφέρουν οι άλλες συσκευές. Τα υπόλοιπα προφίλ είναι προαιρετικά.

Το προφίλ σειριακής θύρας είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς και εξομειώνει μία σειριακή γραμμή. Το πρωτόκολλο γενικής ανταλλαγής αντικειμένων προδιαγράφει μία σχέση πελάτη – διακομιστή για τη μεταφορά δεδομένων. Ο slave κόμβος μπορεί να είναι είτε πελάτης είτε διακομιστής και όλες οι λειτουργίες ξεκινούν από τους πελάτες. Τα δύο αυτά προφίλ αποτελούν δομικά στοιχεία για τα άλλα προφίλ.

Τα τρία επόμενα προφίλ χρησιμοποιούνται για δικτύωση. Το προφίλ πρόσβασης σε LAN επιτρέπει σε μία συσκευή Bluetooth να συνδέεται σε ένα σταθερό δίκτυο. Το προφίλ τηλεφωνικής δικτύωσης επιτρέπει σε ένα φορητό υπολογιστή να συνδέεται χωρίς τη χρήση καλωδίων σε ένα κινητό τηλέφωνο που περιέχει ενσωματωμένο modem. Το προφίλ φαξ επιτρέπει σε ένα ασύρματο φαξ να στέλνει και να λαμβάνει φαξ χρησιμοποιώντας κινητά τηλέφωνα, χωρίς να υπάρχουν καλώδια μεταξύ τους.

Τα επόμενα τρία προφίλ χρησιμοποιούνται για τηλεφωνία. Το προφίλ ασύρματης τηλεφωνίας παρέχει ένα ασύρματο τρόπο σύνδεσης του ακουστικού με τον σταθμό βάσης. Το προφίλ ενδοσυνεννόησης επιτρέπει σε δύο τηλέφωνα να συνδέονται ως ασύρματα τερματικά ενδοσυνεννόησης. Το προφίλ ακουστικού κεφαλής υποστηρίζει την επικοινωνία φωνής χωρίς χέρια (hands free) ανάμεσα στο ακουστικό κεφαλής και το σταθμό βάσης. Τα τρία τελευταία προφίλ προορίζονται για τη ανταλλαγή αντικειμένων, όπως αρχεία δεδομένων.

2.2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Bluetooth

2.2.5.1 Πλεονεκτήματα

Ασύρματη σύνδεση: Οι συσκευές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Bluetooth επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους, χωρίς τη χρήση καλωδίων.

Χαμηλό κόστος κατασκευής: Το κόστος κατασκευής του ειδικού κυκλώματος του Bluetooth είναι πολύ χαμηλό, με αποτέλεσμα οι συσκευές Bluetooth να προσφέρονται σχετικά ανέξοδα.

Μικρές παρεμβολές: Οι συσκευές Bluetooth αποφεύγουν τις παρεμβολές με άλλες ασύρματες συσκευές με τους εξής δύο τρόπους:

- Χρησιμοποιώντας μια τεχνολογία γνωστή ως διασπορά φάσματος αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS).
- Χρησιμοποιώντας ασύρματα σήματα χαμηλής ισχύος.

Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας: Όπως προαναφέρθηκε, το Bluetooth χρησιμοποιεί σήματα χαμηλής ισχύος. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία απαιτεί λίγη ενέργεια και χρησιμοποιεί λιγότερη μπαταρία ή ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τις κινητές συσκευές Bluetooth, διότι δεν θα μειώσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής.[5]

2.2.5.2 Μειονεκτήματα

Μικρή ταχύτητα: Η μεταφορά των δεδομένων με την τεχνολογία Bluetooth γίνεται με ρυθμό 1Mbps, ο οποίος είναι πολύ μικρός σε σχέση με άλλες τεχνολογίες όπως οι υπέρυθρες(4Mbps).

Ασφάλεια: Η εμβέλεια της τεχνολογίας Bluetooth κάνει τις συσκευές που συνδέονται ευπαθείς στις υποκλοπές και στις επιθέσεις.[6]

2.3 Home RF

2.3.1 Ιστορική αναδρομή

Το πρότυπο Home RF 1.0 (radio frequency, ραδιοσυχνότητα) είναι μια προδιαγραφή ασύρματης δικτύωσης για οικιακές συσκευές χρησιμοποιώντας ραδιοσυχνότητες. Αναπτύχθηκε το 1998 από την Home RF Ομάδα Εργασίας, μια κοινοπραξία εταιριών κινητής τηλεφωνίας που περιελάμβανε τη Siemens, τη Motorola, τη Phillips και περισσότερες από 100 άλλες εταιρείες. Οι εταιρείες αυτές ανήκαν στους κλάδους των υπολογιστών και του λογισμικού καθώς και των κατασκευαστών ημιαγωγών και ηλεκτρονικών, με συνέπεια μια μεγάλη ποικιλία συμβατών συσκευών για δικτύωση να είναι διαθέσιμες στον τελικό χρήστη. Το 2001 η ομάδα εργασίας του Home RF βελτίωσε το πρότυπο Home RF 1.0 ως προς την ταχύτητα, την ασφάλεια και την αντίσταση του προτύπου στις παρεμβολές, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα νέο πρότυπο, το Home RF 2.0. Η ομάδα διαλύθηκε τον Ιανουάριο του 2003, μετά την εξάπλωση του 802.11b

προτύπου στους απλούς χρήστες και της τεχνολογίας Bluetooth στα λειτουργικά συστήματα της Microsoft, τεχνολογίες που ανταγωνιζόταν το Home RF.

2.3.2 Χαρακτηριστικά του Home RF

Το πρότυπο Home RF στηρίζεται στην τεχνολογία SWAP (Shared Wireless Access Protocol), η οποία σχεδιάστηκε για ασύρματη μετάδοση φωνής και δεδομένων και για σύνδεση με το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο (Public Switched Telephone Network, PSTN) και το Internet. Η τεχνολογία SWAP προήλθε από το συνδυασμό του IEEE 802.11b προτύπου και του Ευρωπαϊκού Συστήματος Ασύρματης Ψηφιακής Τηλεφωνίας (Digital Enhanced Cordless Telecommunication, DECT), με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια νέα κατηγορία ασύρματων υπηρεσιών για το σπίτι. Υποστηρίζει την υπηρεσία TDMA (Time Division Multiple Access), ώστε να παρέχει φωνητικές υπηρεσίες και την υπηρεσία CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), ώστε να επιτύχει την παροχή πακέτων δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Χρησιμοποιεί επίσης, τη τεχνολογία Διασπορά Φάσματος Αναπήδησης Συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz και πετυχαίνει ταχύτητες 1,6Mbps στην πρώτη έκδοση του Home RF και 10 μέχρι 20Mbps στην δεύτερη έκδοση του Home RF, σε απόσταση 50 μέτρων.

2.3.2.1 Βασικές παράμετροι του Home RF

- Αναπήδηση συχνότητας – 50hops/second.
- Εύρος συχνοτήτων – 2,4GHz.
- Ισχύς μετάδοσης – 100mW.
- Ταχύτητα μετάδοσης – 1Mbps με διαμόρφωση 2FSK.
2Mbps με διαμόρφωση 4FSK.
- Εμβέλεια – 50m.
- Πλήθος συσκευών – Μέχρι 127 συσκευές σε ένα δίκτυο.
- Φωνητικές συνδέσεις – Μέχρι 6 full duplex συνομιλίες.
- Ασφάλεια – Αλγόριθμος κρυπτογράφησης Blowfish
- Συμπίεση δεδομένων - Αλγόριθμος LZRW3-A
- 48-bit Network ID για κάθε οικιακό δίκτυο – Ορίζεται σε κάθε συσκευή του δικτύου.[7]

2.3.3 Λειτουργία του Home RF

Η τεχνολογία Home RF, υποστηρίζει τόσο τα ad hoc δίκτυα όσο και τα δίκτυα υποδομής. Στα ad hoc δίκτυα είναι δυνατή μόνο η μετάδοση δεδομένων. Όταν πρέπει να μεταδοθεί ήχος, η τεχνολογία Home RF, χρησιμοποιεί κατάσταση υποδομής, καθώς απαιτείται η ύπαρξη ενός connection point, το οποίο αναλαμβάνει τη διαχείριση του δικτύου. Το connection point αποτελεί το σημείο σύνδεσης μεταξύ των συσκευών Home RF και του τηλεφωνικού δικτύου.

Ένα δίκτυο Home RF μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 127 συσκευές. Οι συσκευές αυτές μπορεί να ανήκουν σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

Σημείο σύνδεσης (Connection Point, CP): Το σημείο σύνδεσης μπορεί να είναι μια ξεχωριστή συσκευή η οποία συνδέεται με ένα PC μέσω μίας USB σύνδεσης ή μπορεί να αποτελεί μέρος του PC. Μπορεί επίσης να έχει μία άμεση σύνδεση με το PSTN δίκτυο. Τα σημεία σύνδεσης υποστηρίζουν υπηρεσίες ήχου και δεδομένων.

Ισόχρονες συσκευές (isochronous): Οι ισόχρονες συσκευές είναι συσκευές ήχου, στις οποίες παίζει ρόλο η καθυστέρηση στη μετάδοση, με άμεσο επακόλουθο την υποβάθμιση της ποιότητας της επικοινωνίας. Τέτοιες συσκευές είναι τα ασύρματα τηλέφωνα και τα handsets, οι οποίες αξιοποιούν την υπάρχουσα τεχνολογία DECT. Οι ισόχρονες συσκευές χρησιμοποιούν επίσης την τεχνολογία TDMA για να επικοινωνήσουν με το σημείο σύνδεσης.

Ασύχρονες συσκευές (asynchronous): Οι ασύχρονες συσκευές είναι συσκευές δεδομένων, στις οποίες δεν παίζει σημαντικό ρόλο η καθυστέρηση στη μετάδοση. Ασύχρονες συσκευές είναι οι προσωπικοί υπολογιστές, τα PDAs, οι εκτυπωτές και γενικά όλες οι συσκευές που συνδέονται μέσω της τεχνολογίας CSMA/CA. Οι ασύχρονες συσκευές χρησιμοποιούν την τεχνολογία CSMA/CA για να επικοινωνήσουν με άλλες ασύχρονες συσκευές και το σημείο σύνδεσης.

Συνδυασμός ισόχρονων και ασύχρονων συσκευών. Αυτές οι συσκευές υποστηρίζουν υπηρεσίες ήχου και δεδομένων.

Το πρωτόκολλο SWAP παίζει ρόλο client/server μεταξύ του σημείου σύνδεσης και της συσκευής ήχου και ρόλο peer to peer μεταξύ των συσκευών δεδομένων.

2.3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Home RF

2.3.4.1 Πλεονεκτήματα

- Υποστήριξη ταυτόχρονης μετάδοσης ήχου και δεδομένων.
- Φθηνό, αξιόπιστο και εύκολο στην εγκατάσταση.
- Ανθεκτικό στις παρεμβολές.
- Μικρή κατανάλωση ενέργειας, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία.
- Υποστήριξη ad hoc δικτύων και δικτύων υποδομής.

2.3.4.2 Μειονεκτήματα

- Μικρή ταχύτητα μετάδοσης.
- Πολύ μικρή εμβέλεια.

2.4 HiperLAN

2.4.1 Ιστορική αναδρομή

Το πρότυπο HiperLAN (High Performance Radio LAN) αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (European Telecommunications Standards Institute, ETSI). Αποτελεί το αντίστοιχο ευρωπαϊκό πρότυπο του αμερικανικού προτύπου IEEE 802.11 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα.

Υπάρχουν δύο τύποι του προτύπου, το HiperLAN/1 και το HiperLAN/2. Η σχεδίαση για το HiperLAN/1 ξεκίνησε το 1991, όταν είχε ήδη ξεκινήσει η ανάπτυξη του 802.11 προτύπου. Το HiperLAN/1 εγκρίθηκε το 1996. Η δεύτερη έκδοση του HiperLAN, το HiperLAN/2 ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο του 2000. Στόχος του HiperLAN ήταν η επίτευξη υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης, καλύτερες από αυτών που προσέφερε το 802.11.

2.4.2 Χαρακτηριστικά του HiperLAN

2.4.2.1 Χαρακτηριστικά του HiperLAN/1

Το πρότυπο του HiperLAN/1 καλύπτει το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer, PHY) και το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου (Medium Access Control

sublayer, MAC) του Επιπέδου Συνδέσμου και Ελέγχου Δεδομένων (Data Link and Control Layer, DLC) του μοντέλου αναφοράς OSI. Στο επίπεδο DLC του μοντέλου OSI υπάρχει επίσης ένα νέο υποεπίπεδο, το υποεπίπεδο Προσπέλασης και Ελέγχου Καναλιού (Channel Access and Control sublayer, CAC). Σε αυτό το υποεπίπεδο καθορίζεται η αποδοχή ή η άρνηση μιας αίτησης από κάποιο τερματικό για προσπέλαση του καναλιού. Η εκπλήρωση της αίτησης εξαρτάται από την χρήση του καναλιού και την προτεραιότητα της αίτησης.

Το υποεπίπεδο CAC χρησιμοποιεί το μηχανισμό προτεραιότητας EY-NPMA (Elimination-Yield Non-Preemptive Multiple Access) για τη χρήση του καναλιού από κάποιο χρήστη. Ο μηχανισμός προτεραιότητας EY-NPMA δίνει την δυνατότητα στο δίκτυο να λειτουργεί με λίγες συγκρούσεις, ακόμη και αν υπάρχουν πολλοί χρήστες. Multimedia εφαρμογές μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα HiperLAN δίκτυο χάρη στον μηχανισμό EY-NPMA.

Το υποεπίπεδο MAC ορίζει τις παραμέτρους για την δρομολόγηση, την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας και παρέχει τη μεταφορά δεδομένων προς τα ανώτερα επίπεδα του OSI. Στο Φυσικό επίπεδο χρησιμοποιούνται οι διαμορφώσεις FSK και GMSK για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Το HiperLAN υποστηρίζει τόσο μία δομημένη αρχιτεκτονική δικτύου που ενσωματώνει ένα σταθμό βάσης όσο και ad hoc δίκτυα. Μια ιδιαιτερότητα του HiperLAN είναι το ad hoc roaming, η δυνατότητα δηλαδή αυτόματης προώθησης των δεδομένων από access point σε access point σε περίπτωση που ο δέκτης δεν βρίσκεται εντός της εμβέλειας του πομπού.[8]

Επίσης το πρότυπο έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

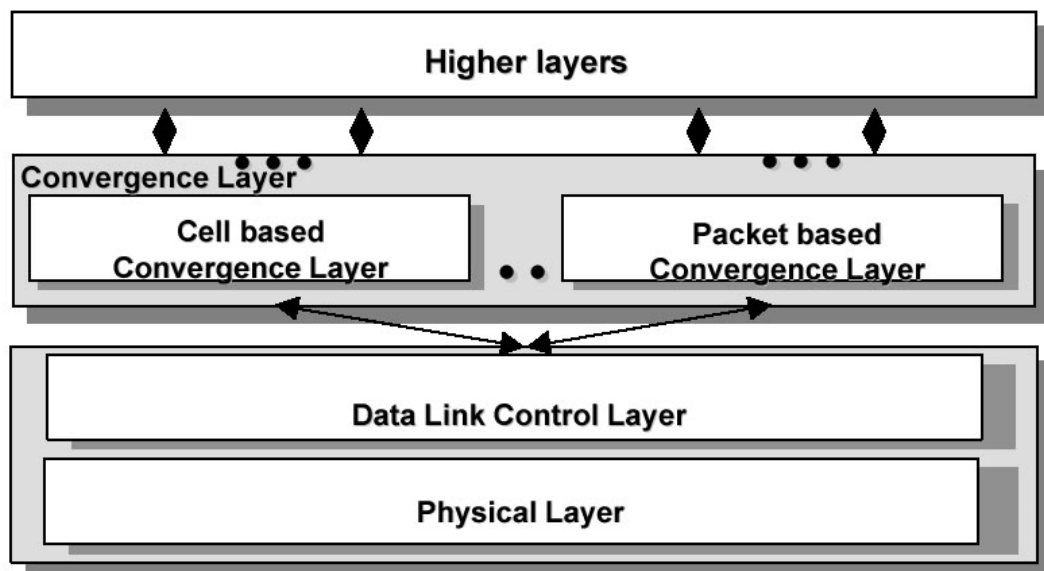
- Εμβέλεια – 50m.
- Ταχύτητα μετάδοσης – Μέχρι 24Mbps.
- Ζώνη συχνοτήτων – 5GHz.
- Μικρή κινητικότητα (1,4m/s).
- Κυρίως ad hoc δίκτυα.
- Υποστηρίζει σύγχρονη και ασύγχρονη επικοινωνία.

2.4.2.2 Χαρακτηριστικά του HiperLAN/2

Το HiperLAN/2 σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιηθεί σε μία ποικιλία δικτύων, όπως τα δίκτυα UMTS, τα ATM και τα IP δίκτυα. Μπορεί όμως να λειτουργήσει και ως απλό οικιακό δίκτυο, όπως το HiperLAN/1. Ορίζει παρόμοιες προδιαγραφές για

το Φυσικό Επίπεδο, με αυτές του 802.11a προτύπου και χρησιμοποιεί την τεχνολογία Dynamic TDMA για το MAC υποεπίπεδο. Το HiperLAN/2 χρησιμοποιεί επίσης την τεχνική διαμόρφωσης OFDM για τη μετάδοση της πληροφορίας.

Το πρότυπο ορίζει τις προδιαγραφές για ένα σύνολο επιπέδων Σύγκλισης (Network Convergence Sublayers) του επιπέδου DLC. Το επίπεδο Σύγκλισης έχει ως αντικείμενο να μεταφέρει τις υπηρεσίες που παρέχει το επίπεδο DLC στα ανώτερα επίπεδα του δικτύου και παράλληλα να μετατρέπει τα πακέτα που έρχονται από τα ανώτερα επίπεδα με μεταβλητό ή σταθερό μέγεθος στο σταθερό μέγεθος που χρησιμοποιεί το επίπεδο DLC. Το δίκτυο που στήνεται πάνω από το επίπεδο αυτό, μπορεί να είναι είτε δίκτυο μεταγωγής πακέτου όπως είναι τα δίκτυα Ethernet, PPP, Firewire, UMTS είτε δίκτυο κυψελωτής μορφής όπως είναι τα δίκτυα ATM. Για κάθε περίπτωση δικτύου έχουμε και ένα αντίστοιχο επίπεδο Σύγκλισης, που αναλαμβάνει να κάνει την διασύνδεση με το επίπεδο DLC. Αν και μπορούμε να έχουμε πολλαπλά επίπεδα Σύγκλισης, μόνο ένα μπορεί να είναι ενεργό κάθε φορά και επομένως να υποστηρίζεται ενός τύπου δικτύου. Το επίπεδο Σύγκλισης φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2 Η δομή του επιπέδου Σύγκλισης

Το πρότυπο έχει επίσης τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Εμβέλεια – Μέχρι 200m
- Ζώνη συχνοτήτων – 5GHz.

- Ταχύτητα μετάδοσης – Μέχρι 54Mbps.
- Δίκτυα με και χωρίς υποδομή.
- Αυτόματη κατανομή του καναλιού χρησιμοποιώντας την DFS μέθοδο.
- Υπηρεσίες ήχου, δεδομένων και video.
- Υποστήριξη ποιότητας των υπηρεσιών (Quality of Service, QoS).
- Ασφάλεια – Αλγόριθμος DES ή Triple DES.

2.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του HiperLAN

2.4.3.1 Πλεονεκτήματα

- Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας – καθιστά πιο εύκολη την ταυτόχρονη μετάδοση διαφορετικού είδους πληροφορίας.
- Υψηλή ταχύτητα.
- Ασφάλεια – κρυπτογράφηση των πληροφοριών με τους αλγορίθμους DES και Triple DES και δυνατότητα πιστοποίησης για την πρόσβαση στο δίκτυο.

2.4.3.2 Μειονεκτήματα

- Χρησιμοποιείται μόνο στην Ευρώπη.
- Υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με άλλα πρότυπα

2.5 Πρότυπα 802.11

Η οικογένεια προτύπων 802.11 αναπτύχθηκε ειδικά για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLANs) από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Το πρώτο πρότυπο που αναπτύχθηκε ήταν το IEEE 802.11 το οποίο δημοσιεύθηκε το 1997 και προέβλεπε ρυθμούς μετάδοσης 1 έως 2Mbps στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz. Η εμβέλεια του σε εσωτερικούς χώρους επεκτείνονταν στα 20m ενώ σε εξωτερικούς στα 100m. Οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες που καθορίζονται από το 802.11 αφορούν τα δύο πρώτα επίπεδα από τα επτά του μοντέλου OSI και συγκεκριμένα περιγράφεται το Φυσικό επίπεδο (Physical Layer, PHY) και το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης των δεδομένων (Medium Access Control, MAC), του επιπέδου Ζεύξης των Δεδομένων (Data Link layer).

Το 802.11 πρότυπο υπήρξε το θεμέλιο για την ευρεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, καθώς η προτυποποίηση έδινε την δυνατότητα διαλειτουργικότητας στις συσκευές που το υλοποιούσαν. Ωστόσο οι ταχύτητες των 1Mbps και 2Mbps που υποστήριζε ήταν πολύ μικρές για τα 10Mbps αρχικά και τώρα 100Mbps που δίνει το ενσύρματο Ethernet. Πολύ γρήγορα, λοιπόν, εμφανίστηκαν επεκτάσεις του 802.11 που αύξησαν την ταχύτητα του και διόρθωσαν διάφορα προβλήματα που εμφανίστηκαν. Στις παρακάτω ενότητες θα αναφέρουμε τα κύρια χαρακτηριστικά των επεκτάσεων του 802.11 προτύπου.

2.5.1 802.11a

Δημοσιεύτηκε το 1999 και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 54Mbps. Η εμβέλεια του σε εσωτερικούς χώρους επεκτείνεται στα 35m ενώ σε εξωτερικούς στα 120m.

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλές ταχύτητες.
- Δεν υπάρχουν παρεμβολές με άλλες συσκευές στη ζώνη συχνοτήτων των 5GHz.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος.
- Μικρή εμβέλεια σήματος, με συνέπεια να παρεμποδίζεται πιο εύκολα.

2.5.2 802.11b

Δημοσιεύτηκε το 1999 και είναι ευρέως γνωστό ως Wi-Fi. Χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz και την τεχνική φυσικού επιπέδου DSSS. Οι ρυθμοί μεταφοράς των δεδομένων μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 11Mbps. Η εμβέλεια του σε εσωτερικούς χώρους επεκτείνεται στα 40m ενώ σε εξωτερικούς στα 140m.

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος.
- Ικανοποιητική εμβέλεια σήματος, με συνέπεια να μην παρεμποδίζεται εύκολα.

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλή ταχύτητα σε σχέση με τα άλλα πρότυπα

- Παρεμβολές με άλλες συσκευές που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz.

2.5.3 802.11c

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

2.5.4 802.11d

Ορίζει τις απαιτήσεις και περιέχει το νομικό πλαίσιο που ισχύει για την χρησιμοποίηση ραδιοσυχνοτήτων σε διάφορες χώρες ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν προϊόντα που θα λειτουργούν σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

2.5.5 802.11e

Το 802.11e βελτιώνει το Quality of Service (QoS) του αρχικού πρωτοκόλλου 802.11 και παρέχει υποστήριξη πολυμέσων. Η ποιότητα υπηρεσιών και υποστήριξη πολυμέσων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στα ασύρματα τοπικά δίκτυα όπου η μετάδοση φωνής, video και ήχου κρίνεται απαραίτητη (video on demand, audio on demand, voice over ip, πρόσβαση υψηλής ταχύτητας στο internet).

2.5.6 802.11f

Ορίζει τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ δύο σημείων πρόσβασης διαφορετικών κατασκευαστών. Παρέχει στα σημεία πρόσβασης της απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει μια περιαγωγή με επιτυχία και να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος.

2.5.7 802.11g

Δημοσιεύθηκε το 2003 και επεκτείνει το 802.11b ώστε να παρέχει τον υψηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του 802.11a, διατηρώντας την συμβατότητα με τα 802.11b προϊόντα. Λειτουργεί στην ISM ζώνη συχνοτήτων όπως το 802.11b αλλά χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDM όπως το 802.11a για να πετύχει υψηλούς

ρυθμούς μετάδοσης, οι οποίοι μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 54Mbps. Η εμβέλεια του σε εσωτερικούς χώρους επεκτείνεται στα 40m ενώ σε εξωτερικούς στα 140m.

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλές ταχύτητες.
- Ικανοποιητική εμβέλεια σήματος, με συνέπεια να μην παρεμποδίζεται εύκολα.

Μειονεκτήματα:

- Κόστος μεγαλύτερο από αυτό του 802.11b.
- Παρεμβολές με τις οικιακές συσκευές που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz.

2.5.8 802.11h

Ενισχύει τα επίπεδα MAC του 802.11 και PHY του 802.11a και συμμορφώνεται με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς για την χρήση της ζώνης συχνοτήτων στα 5GHz.

2.5.9 802.11i

Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφαλείας που βρέθηκαν στο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP (Wired Equivalent Privacy) του 802.11. Το πρωτόκολλο αυτό αποδείχτηκε ανεπαρκές, με πολλά σφάλματα και παραλήψεις, κάνοντας τα ασύρματα δίκτυα εύκολο στόχο σε διάφορα είδη επιθέσεων. Το 802.11i προσθέτει στο 802.11, το πρωτόκολλο ασφάλειας Advanced Encryption Standard (AES), το οποίο ενισχύει τους μηχανισμούς ασφάλειας και πιστοποίησης ταυτότητας.

2.5.10 802.11n

Το πρότυπο 802.11n εγκρίθηκε τον Οκτώβριο του 2009. Αποτελεί ένα βελτιωμένο πρότυπο, το οποίο χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες, μέθοδος γνωστή και ως MIMO (Multiple Input Multiple Output). Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz αλλά και σε αυτή των 5GHz. Πετυχαίνει ρυθμούς μετάδοσης από 100-300Mbps χρησιμοποιώντας OFDM διαμόρφωση. Η εμβέλεια του σε εσωτερικούς χώρους επεκτείνεται στα 70m ενώ σε εξωτερικούς στα 250m.

Πλεονεκτήματα:

- Πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Πολύ καλή εμβέλεια σήματος.
- Μεγαλύτερη αντίσταση στις παρεμβολές από άλλες συσκευές που

λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz.

Μειονεκτήματα:

- Κόστος μεγαλύτερο από αυτό του 802.11g.
- Η χρήση πολλών σημάτων μπορεί να επηρεάσει τα κοντινά δίκτυα

που βασίζονται στο πρότυπο 802.11b/g.[9]

2.5.11 Επίλογος

Τα ασύρματα δίκτυα προσφέρουν ευκολία στην εγκατάσταση και τη διαχείριση και βέβαια μεγάλη ευελιξία στη χρήση. Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν οδηγήσει στη συνεχή ανάπτυξη τεχνολογιών ανταγωνιστικών μεταξύ τους. Τα πρότυπα που έχουν επικρατήσει στην αγορά των ασύρματων δικτύων, είναι το Bluetooth, τα προτύπων 802.11b και 802.11g καθώς και το βελτιωμένο 802.11n, της οικογένειας προτύπων 802.11. Τα συγκεκριμένα πρότυπα έχουν γίνει παγκοσμίως αποδεκτά και έχουν βρει τεράστια απήχηση στο καταναλωτικό κοινό. Ειδικά το πρότυπο 802.11b, λόγω της τεράστιας αποδοχής του από τους καταναλωτές, έχει γίνει συνώνυμο των WLANs. Αντίθετα τα πρότυπα HomeRF και Hiperlan δε γνώρισαν μεγάλη εμπορική επιτυχία. Οι ολοένα και μεγαλύτερες απαιτήσεις των τελικών χρηστών για ταχύτητα, ασφάλεια και αξιοπιστία στα ασύρματα τοπικά δίκτυα θα αποτελέσουν τη βάση πάνω στην οποία θα αναπτυχθούν οι τεχνολογίες του μέλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

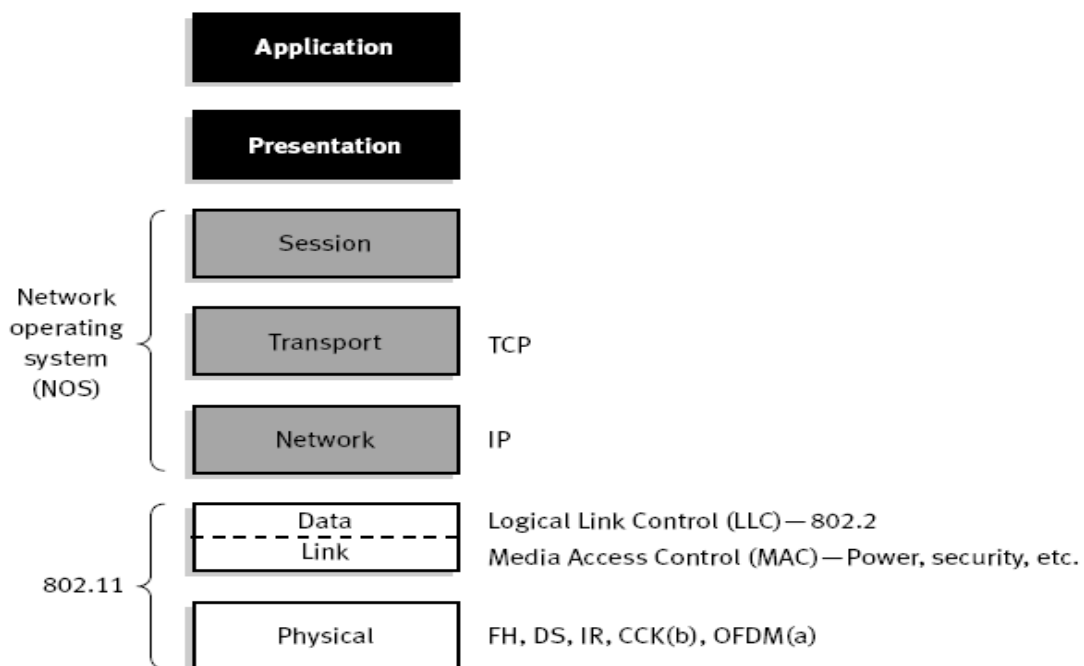
ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

3.1 Εισαγωγή

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράψαμε τα κυριότερα πρότυπα για την ασύρματη δικτύωση. Το καθένα από αυτά τα πρότυπα ορίζει κάποιες προδιαγραφές για το φυσικό επίπεδο. Με βάση την τεράστια απήχηση που γνώρισε η οικογένεια προτύπων 802.11 και ειδικότερα το πρότυπο 802.11b, στο παρόν κεφάλαιο, θα περιγράψουμε τον τρόπο που υλοποιούν τα πρότυπα αυτά το φυσικό επίπεδο και ειδικότερα τις προδιαγραφές που ορίζει γι' αυτό το 802.11b. Ακόμη θα περιγράψουμε την αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου καθώς και τις λειτουργίες αυτού.

3.2 Φυσικό Επίπεδο του 802.11

Τα πρότυπα 802.11, όπως και όλη η οικογένεια 802, ορίζει τις προδιαγραφές μόνο για τα δύο κατώτερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI, το επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer, DLL) και το Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY). Το σχήμα 3.1 παριστάνει τη σχέση του 802.11 προτύπου με το μοντέλο OSI.



Σχήμα 3.1 802.11 και μοντέλο OSI

Το φυσικό επίπεδο είναι αρμόδιο για την φυσική μεταφορά των δεδομένων. Συγκεκριμένα ορίζει τη ζώνη συχνοτήτων, τη διαμόρφωση, τις τεχνικές διόρθωσης

λαθών, το ρυθμό μετάδοσης και το συγχρονισμό ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Το 802.11 ορίζει για το φυσικό επίπεδο τέσσερις τεχνικές μετάδοσης των δεδομένων:

- Υπέρυθρες (Infrared).
- Διασπορά φάσματος αναπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS).
- Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS).
- Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM).

3.2.1 Υπέρυθρες

Η τεχνική των υπερέυθρων χρησιμοποιήθηκε μόνο στο αρχικό πρότυπο 802.11. Οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης που προσέφεραν (1-2Mbps) καθώς και η μεγάλη εξασθένιση τους από τα φυσικά εμπόδια, τις κατέστησαν απαγορευτικές για τις ακόλουθες επεκτάσεις του 802.11.

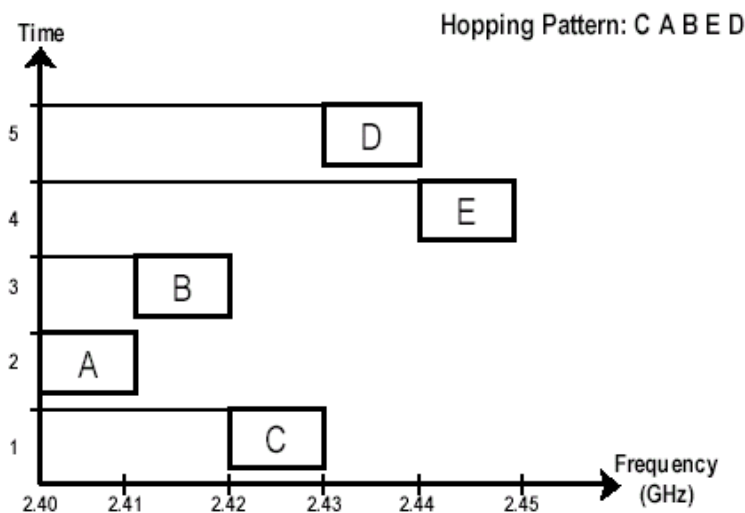
Οι υπέρυθρες ακτινοβολίες μεταδίδονται με την άμεση οπτική επαφή του πομπού και του δέκτη (line of sight) και μέσω της ανάκλασης της ακτινοβολίας. Η τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται ονομάζεται PPM (Pulse Position Modulation). Η λειτουργία τους περιορίζεται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους, ώστε να υπάρχει δυνατότητα ανάκλασης των σημάτων στην οροφή, ενώ ένα τυπικό εύρος ζώνης μετάδοσης κυμαίνεται στα 10 με 20 μέτρα. Τα σήματα μεταδίδονται στο κοντινό ορατό φάσμα (850-950nm), με μέγιστο όριο ισχύος μετάδοσης τα 2 Watt.

3.2.2 Τεχνική FHSS

Η τεχνική FHSS χρησιμοποιήθηκε και αυτή μόνο στο αρχικό πρότυπο 802.11. Η τεχνική αυτή χωρίζει την ζώνη συχνοτήτων 2,4GHz σε 75 κανάλια, μη αλληλοεπικαλυπτόμενα μεταξύ τους, με εύρος 1MHz το καθένα. Το κάθε κανάλι διαθέτει μία κεντρική συχνότητα (η κεντρική συχνότητα του πρώτου καναλιού είναι 2,402GHz, του δεύτερου 2,403 κτλ). Ο πομπός και ο δέκτης συμφωνούν σε μία κοινή ψευδοτυχαία ακολουθία μεταπήδησης (hopping pattern) από κανάλι σε κανάλι, με αποτέλεσμα τα δεδομένα να μεταδίδονται από κανάλι σε κανάλι σύμφωνα με αυτή την ακολουθία, η οποία κατανέμει ομοιόμορφα το σήμα των δεδομένων κατά μήκος της ζώνης συχνοτήτων.

Σε κάθε αναπήδηση (hop), ο πομπός μεταδίδει σε μία συγκεκριμένη κεντρική συχνότητα λειτουργίας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (dwell time). Ο ρυθμός αναπήδησης (hop rate) είναι ρυθμιζόμενος, ωστόσο σε κάθε χώρα αρμόδιοι οργανισμοί καθορίζουν έναν ελάχιστο ρυθμό (στις ΗΠΑ ο ρυθμός έχει καθοριστεί στα 2,5 hops/sec ο οποίος αντιστοιχεί σε μέγιστο dwell time 400ms), καθώς και ελάχιστη απόσταση αναπήδησης (στην Αμερική και στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης αυτό είναι ορισμένο στα 6MHz).

Κάθε επικοινωνία σε ένα 802.11 δίκτυο επιτυγχάνεται βάση μιας διαφορετικής ακολουθίας. Το πρότυπο 802.11 έχει καθορίσει ένα συγκεκριμένο αριθμό ακολουθιών, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα παρεμβολής μεταξύ αυτών. Το σχήμα 3.2 παρουσιάζει ένα παράδειγμα κατανομής της ζώνης συχνοτήτων των 2,4GHz, στο οποίο φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο αντιστοιχίζεται μία περιοχή της ζώνης σε μία ακολουθία.



Σχήμα 3.2 Σχέση ακολουθίας αναπήδησης και ζώνης συχνοτήτων 2,4GHz

Με την τεχνική FHSS τα δεδομένα μεταδίδονται είτε με ρυθμό 1Mbps είτε με 2Mbps, ενώ για κάθε έναν από τους δύο ρυθμούς χρησιμοποιείται διαφορετικός τύπος διαμόρφωσης GFSK (Gaussian Frequency Shift Key).

- 1 Mbps: 2 level GFSK
- 2 Mbps: 4 level GFSK

Τα FHSS συστήματα περιορίζονται σε ταχύτητες μετάδοσης που δεν ξεπερνούν τα 2Mbps. Ο περιορισμός αυτός είναι αποτέλεσμα των κανονισμών της FCC, η οποία ορίζει το εύρος ζώνης κάθε καναλιού να μην ξεπερνάει το 1MHz. Οι

κανονισμοί αυτοί αναγκάζουν τα FHSS συστήματα να χρησιμοποιούν όλο το εύρος της ζώνης συχνοτήτων των 2,4GHz, το οποίο οδηγεί σε συχνότερη αναπήδηση από συχνότητα σε συχνότητα.

3.2.3 Τεχνική DSSS

Η τεχνική DSSS χωρίζει την ζώνη συχνοτήτων των 2,4GHz σε 14 κανάλια (11 κανάλια στις ΗΠΑ), το καθένα από τα οποία έχει εύρος 22MHz και χρησιμοποιεί διαμόρφωση DBPSK (Differential Binary Phase Shift Key) ή DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Key) επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2Mbps αντίστοιχα. Ενώ υπάρχουν 14 διαθέσιμα κανάλια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα μόνο τα τρία από αυτά, τα οποία είναι μη αλληλοεπικαλυπτόμενα και απέχουν μεταξύ τους 30MHz, με αποτέλεσμα την εξασφάλιση ελάχιστων ή καθόλου παρεμβολών. [10]

Η πληροφορία μεταδίδεται κατά μήκος ενός μόνο καναλιού, χωρίς την μεταπήδηση σε άλλο κανάλι, όπως συμβαίνει στην τεχνική FHSS. Η τεχνική DSSS χρησιμοποιεί μία ακολουθία των 11 bit (chip sequence) γνωστή ως Barker ακολουθία για να μεταδώσει ένα σήμα. Κάθε δυαδικό ψηφίο 0 ή 1 του προς μετάδοση σήματος αναπαρίσταται από μια ακολουθία των 11 bit, με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους του τελικού προς αποστολή σήματος. Το σήμα που προκύπτει έχει τη μορφή κύματος, το οποίο ονομάζεται σύμβολο (symbol) και μεταδίδεται με ρυθμό 1MSps (1 million symbols per second). Ο δέκτης που λαμβάνει αυτό το σήμα, χρησιμοποιώντας την ίδια ακολουθία Barker, αποσπά τα αρχικά δεδομένα. Η αντίστροφη αυτή διαδικασία είναι γνωστή ως de-spreading. Το όφελος από την διεύρυνση του αρχικού σήματος είναι η αντίσταση του σήματος σε παρεμβολές. Αν ένα ή περισσότερα bits του τελικού προς αποστολή σήματος καταστραφούν κατά την μετάδοση, τα αρχικά δεδομένα μπορούν να ανακτηθούν λόγω των πλεοναζόντων bit κατά την μετάδοση.

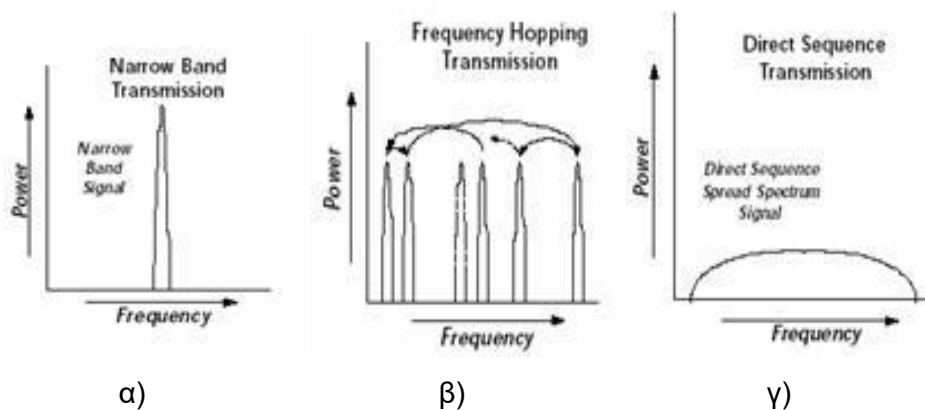
3.2.4 Σύγκριση FHSS – DSSS

Ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας (Πίνακας 3.1) των παραπάνω τεχνικών μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο για τα 802.11 ασύρματα δίκτυα.

Πίνακας 3.1 Σύγκριση FHSS – DSSS

FHSS	DSSS
Χαμηλό κόστος	Υψηλό κόστος
Μικρή κατανάλωση ενέργειας	Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας
Υψηλότερη δυναμικότητα χρησιμοποιώντας αναπήδηση συχνότητας	Μικρότερη δυναμικότητα χρησιμοποιώντας πολλαπλά φυσικά επίπεδα
Μικρότερη εμβέλεια από την άμεση ακολουθία αλλά μεγαλύτερη από αυτή των υπέρυθρων	Μεγαλύτερη εμβέλεια από την άμεση ακολουθία και τις υπέρυθρες
Περισσότερο ανθεκτικό στα σήματα παρεμβολών	Περιορισμένος αριθμός καναλιών
Ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 2Mbps	Ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 2Mbps

Στα παρακάτω Σχήματα 3.3 α), β) και γ) φαίνεται η επίδραση των τεχνικών FHSS και DSSS στο προς μετάδοση σήμα.



Σχήμα 3.3 Επίδραση των τεχνικών FHSS και DSSS στο προς μετάδοση σήμα

3.2.5 DSSS στο 802.11b

Στο 802.11b πρότυπο επιτυγχάνονται ταχύτητες 5,5 και 11Mbps. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι χρησιμοποιείται διαφορετική διαμόρφωση του προς μετάδοση σήματος από αυτή της ακολουθίας Barker. Το 802.11b πρότυπο χρησιμοποιεί την τεχνική κωδικοποίησης Complementary Code Keying (CCK).

Η τεχνική CCK αποτελείται από ένα σύνολο από 64 διαφορετικές λέξεις κώδικες (code words) των 8 bits, οι οποίες ονομάζονται και σύμβολα (symbols). Κάθε λέξη

κώδικας έχει μοναδικές μαθηματικές ιδιότητες, γεγονός που επιτρέπει στον παραλήπτη του σήματος να τις ξεχωρίσει ακόμα και σε περιβάλλον σημαντικού θορύβου ή πολλαπλών διαδρομών. Ανάλογα με την ταχύτητα που χρησιμοποιείται (5,5 ή 11Mbps), κάθε λέξη κώδικας μπορεί να αναπαραστήσει 4 ή 8 δυαδικά ψηφία του προς μετάδοση σήματος. Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται QPSK διαμόρφωση και επιτυγχάνεται ρυθμός μετάδοσης συμβόλων 1,375MSps (million symbols per second) και κατά συνέπεια μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι διαφορές των ταχυτήτων μετάδοσης σε σχέση με την τεχνική κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται.

Table 1. 802.11b Data Rate Specifications

Data Rate	Code Length	Modulation	Symbol Rate	Bits/Symbol
1 Mbps	11 (Barker Sequence)	BPSK	1 MSps	1
2 Mbps	11 (Barker Sequence)	QPSK	1 MSps	2
5.5 Mbps	β (CCK)	QPSK	1.375 MSps	4
11 Mbps	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	8

Σχήμα 3.4 Διαφορές των ταχυτήτων μετάδοσης σε σχέση με την τεχνική κωδικοποίησης

Το πρότυπο 802.11b μπορεί να υποστηρίξει θορυβώδη περιβάλλοντα. Αυτό το επιτυγχάνει χρησιμοποιώντας dynamic rate shifting. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην αυτόματη προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων, ανάλογα με τις παρεμβολές που δέχονται κατά την μετάδοσή τους. Στην ιδανική περίπτωση, οι χρήστες συνδέονται με ταχύτητα 11Mbps. Ωστόσο, όταν οι συσκευές κινούνται πέραν της περιοχής των 11Mbps ή όταν παρεμβάλλονται στην σύνδεσή τους άλλα σήματα, οι συσκευές 802.11b θα μεταδώσουν σε χαμηλότερες ταχύτητες 5,5, 2 και 1Mbps. Ομοίως, όταν οι συσκευές κινούνται με χαμηλότερη ταχύτητα, η σύνδεση θα επιταχυνθεί και πάλι. Η τεχνική rate shifting είναι μία τεχνική του φυσικού επιπέδου διαφανή προς τον χρήστη και τα ανώτερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του OSI.[11]

3.2.6 Τεχνική OFDM

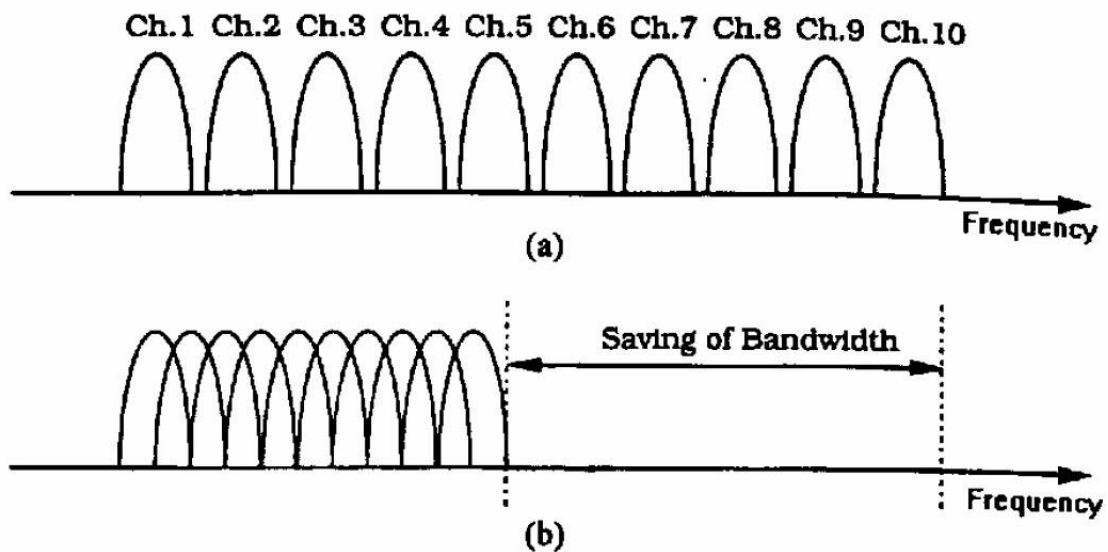
Η τεχνική OFDM χρησιμοποιήθηκε στα πρότυπα 802.11a/g/n. Στο 802.11a λειτούργησε στη ζώνη συχνοτήτων 5GHz με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 54Mbps, στο πρότυπο 802.11g λειτούργησε στη ζώνη 2,4GHz με μέγιστο ρυθμό μετάδοσης επίσης 54Mbps, ενώ το 802.11n λειτούργησε στις ζώνες 2,4GHz και 5GHz επιτυγχάνοντας ρυθμούς μετάδοσης πάνω από 100Mbps.

Η τεχνική OFDM διαιρεί την ζώνη συχνοτήτων των 5GHz σε 52 κανάλια των 20MHz το καθένα όταν χρησιμοποιείται στο 802.11a και τη ζώνη συχνοτήτων 2,4GHz σε 14 κανάλια εύρους 20MHz το καθένα όταν χρησιμοποιείται στο 802.11g. Στο 802.11a, τέσσερα από τα 52 κανάλια, χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση της μετατόπισης συχνοτήτων ή φάσεων τα οποία και ονομάζονται πιλοτικά κανάλια (pilot subcarriers). Τα υπόλοιπα 48 κανάλια χρησιμοποιούνται για την μεταφορά της πληροφορίας. Το πρότυπο 802.11n επιτρέπει μέχρι 4 ζευγάρια κεραιών MIMO για αποστολή και λήψη δεδομένων, με το κάθε κανάλι επικοινωνίας να έχει εύρος 40MHz. Η OFDM διαμόρφωση υποστηρίζει την τεχνική MIMO, επιτρέποντας μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων ανά κανάλι και μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Ένα 802.11n OFDM κανάλι επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης 65Mbps, ο οποίος σε συνδυασμό με τα 4 κανάλια επικοινωνίας MIMO και το εύρος κάθε καναλιού, μπορεί να εκτοξευθεί στα 500Mbps.[12]

Ανεξάρτητα το πρότυπο στο οποίο χρησιμοποιείται η διαμόρφωση OFDM, τα κανάλια, στα οποία χωρίζεται το αντίστοιχο φάσμα συχνοτήτων, είναι αλληλοεπικαλυπτόμενα, σε αντίθεση με τις παραπάνω τεχνικές διαμόρφωσης. Το κάθε κανάλι διαθέτει μια κεντρική συχνότητα, τη φέρουσα συχνότητα. Όλη η πληροφορία μεταδίδεται ταυτόχρονα από όλα τα κανάλια, εκπέμποντας το καθένα γύρω από την κεντρική του συχνότητα αλλά με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης. Στη συνέχεια εφαρμόζεται μία τεχνική η οποία είναι γνωστή ως IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), και δημιουργείται ένα κανάλι με μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, από τον συνδυασμό των καναλιών που χρησιμοποιεί η τεχνική OFDM για να μεταδώσει ένα μήνυμα. Ο παραλήπτης του μηνύματος εφαρμόζει το μετασχηματισμό FFT (Fast Fourier Transform), ο οποίος αποσυναρμολογεί το γρήγορο σήμα στα αρχικά κανάλια και εξάγει τα αρχικά δεδομένα από καθένα από αυτά.

Αυτό που κάνει την τεχνική OFDM να ξεχωρίζει είναι ο ορθογωνικός τρόπος με τον οποίο επικαλύπτονται τα κανάλια. Αυτή η ορθογωνικότητα των καναλιών

υποδηλώνει ότι υπάρχει μία ακριβής μαθηματική σχέση μεταξύ των συχνοτήτων των διαφορετικών καναλιών. Η ορθογωνικότητα εξασφαλίζει την ανεπιθύμητη παρεμβολή μεταξύ των καναλιών. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η διαφορά μεταξύ της τεχνικής μη επικαλυπτόμενων και της τεχνικής επικαλυπτόμενων φερουσών. Όπως μπορούμε να δούμε, χρησιμοποιώντας OFDM μπορούμε να εξοικονομήσουμε μέχρι και 50% του διαθέσιμου εύρους ζώνης.



Σχήμα 3.5 α) Μη επικαλυπτόμενες συχνότητες β) Επικαλυπτόμενες Συχνότητες

3.3 Αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου

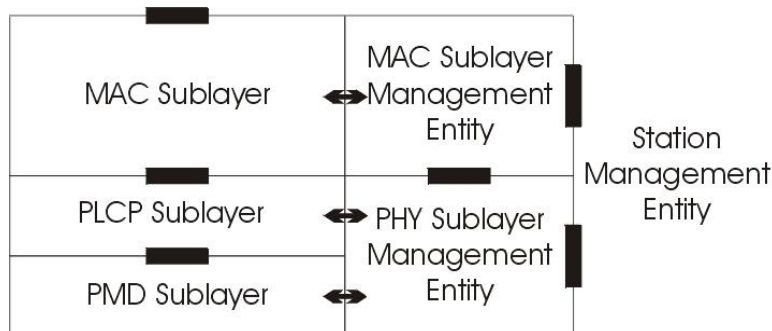
Το φυσικό επίπεδο του 802.11 αποτελείται από δύο υποεπίπεδα και μια οντότητα διαχείρισης επιπέδου, τα οποία προσφέρουν στο επίπεδο MAC τις λειτουργίες ανίχνευσης φέροντος, μετάδοσης και λήψης. Αυτά είναι τα εξής:

- PLM (Physical Layer Management): Η οντότητα αυτή λειτουργεί σε συνεργασία με το υποεπίπεδο διαχείρισης MAC και εκτελεί λειτουργίες διαχείρισης για το φυσικό επίπεδο.
- PLCP (Physical Layer Convergence Procedure): Το επίπεδο MAC επικοινωνεί με το PLCP μέσω στοιχείων υπηρεσίας (service primitives) με τη βοήθεια των SAPs (Service Access Points) του φυσικού επιπέδου. Όταν το επίπεδο MAC δώσει εντολή, το PLCP ετοιμάζει τα MPDUs για μετάδοση. Το PLCP προσθέτει πεδία στο MPDU που περιέχουν πληροφορίες που χρειάζονται οι πομποί και οι δέκτες του φυσικού επιπέδου. Το 802.11 αναφέρεται σε αυτό το

σύνθετο πλαίσιο ως PPDU (PLCP Protocol Data Unit). Η δομή του PPDU πλαισίου παρέχεται για ασύγχρονη μεταφορά των MPDUs μεταξύ των σταθμών.

- **PMD (Physical Medium Dependent):** Κάτω από την καθοδήγηση του PLCP, το PMD παρέχει την ουσιαστική μετάδοση και λήψη των οντοτήτων του φυσικού επιπέδου μέσω του ασύρματου μέσου. Για την παροχή αυτής της υπηρεσίας, το PMD διασυνδέεται άμεσα με το ασύρματο μέσο (δηλαδή τον αέρα) και παρέχει διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση των πλαισίων που μεταδίδονται. Τα PLCP και PMD επικοινωνούν μέσω των primitives για τον έλεγχο των λειτουργιών μετάδοσης και λήψης.

Η συσχέτιση των παραπάνω στοιχείων τόσο μεταξύ τους όσο και με το υπόστρωμα MAC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.6 Υποεπίπεδα του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου MAC στο 802.11

3.4 Λειτουργίες του φυσικού επιπέδου

Για την εκτέλεση των λειτουργιών του υποεπιπέδου PLCP, το 802.11 καθορίζει την χρήση των μηχανών κατάστασης (state machines). Κάθε μηχανή κατάστασης εκτελεί ανίχνευση φέροντος, μετάδοση και λήψη δεδομένων.

- Η ανίχνευση φέροντος γίνεται σε δύο στάδια. Πρώτα, η λειτουργία Καθορισμού Ελευθέρου Καναλιού (Clear Channel Assessment) καθορίζει αν το μέσο είναι απασχολημένο ή όχι, μετρώντας την ενέργεια στο μέσο και συγκρίνοντάς την με το κατώφλι ανίχνευσης ενέργειας. Κατόπιν το PLCP λαμβάνει σήμα από το PMD ότι το μέσο έγινε απασχολημένο και διαβάζει τα πεδία preamble και header επιχειρώντας συγχρονισμό του δέκτη στον ρυθμό μετάδοσης του σήματος.

- Στην λειτουργία μετάδοσης, το επίπεδο MAC στέλνει στο PLCP ένα service primitive μαζί με τον ρυθμό μετάδοσης και τον αριθμό των bytes προς μετάδοση. Στη συνέχεια το PLCP αλλάζει το PMD σε κατάσταση μετάδοσης και

αυτό στέλνει το preamble του πλαισίου στην κεραία μέσα σε 20μs. Κατόπιν ο πομπός στέλνει τα preamble και header με ρυθμό 1Mbps και μετά αλλάζει στο ρυθμό μετάδοσης που καθορίζει το header. Με την ολοκλήρωση της μετάδοσης, το PLCP στέλνει το κατάλληλο primitive στο επίπεδο MAC, κλείνει τον πομπό και αλλάζει το κύκλωμα (circuitry) του PMD σε κατάσταση λήψης.

- Τέλος στην λειτουργία λήψης, όταν ο Καθορισμός Ελευθέρου Καναλιού υποδείξει ότι το μέσο είναι απασχολημένο και ανιχνεύσει ένα έγκυρο preamble, το PLCP θα ελέγξει το header του πλαισίου. Αν καθορίσει ότι η επικεφαλίδα είναι χωρίς λάθη, τότε θα στείλει το κατάλληλο primitive στο επίπεδο MAC για την επικείμενη λήψη ενός πλαισίου. Στη συνέχεια το PLCP θέτει σε λειτουργία ένα μετρητή byte βασιζόμενο στην τιμή που βρήκε στο header του πλαισίου και έτσι γνωρίζει πότε τελειώνει το πλαίσιο. Κατόπιν, τα εισερχόμενα δεδομένα στέλνονται στο επίπεδο MAC με τα κατάλληλα primitives.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

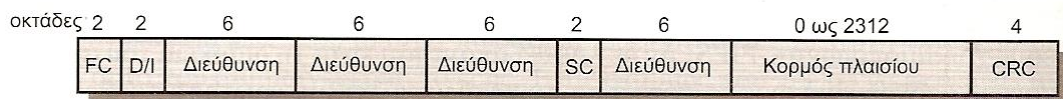
ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΣΟΥ ΤΟΥ 802.11

4.1 Εισαγωγή

Το επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer, DLL) αποτελείται από δύο υποεπίπεδα, το επίπεδο Ελέγχου Λογικής Σύνδεσης (Logical Link Control, LLC) και το επίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσου (Medium Access Control, MAC). Η οικογένεια προτύπων 802.11 χρησιμοποιεί το ίδιο 802.2 LLC επίπεδο, με μήκος διεύθυνσης 48 bit, όπως τα υπόλοιπα 802 LANs, γεγονός που επιτρέπει την εύκολη μετάβαση από ασύρματα σε ενσύρματα δίκτυα και αντίστροφα. Αντίθετα το επίπεδο MAC είναι μοναδικό στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων και τον έλεγχο της πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης. Πριν την ανάλυση του επιπέδου MAC, κρίνεται σκόπιμο να περιγραφεί η δομή των πλαισίων MAC.

4.2 Δομή πλαισίων MAC του 802.11

Η γενική μορφή ενός πλαισίου (frame) του υποεπιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσου δίνεται στην παρακάτω εικόνα:



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

(α) Πλαίσιο MAC



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

(β) Πεδίο ελέγχου πλαισίου

Εικόνα 4.1 Μορφοποίηση Πλαισίου MAC του 802.11

- Έλεγχος πλαισίου (Frame Control, FC): Δηλώνει τον τύπο πλαισίου και παρέχει πληροφορίες ελέγχου.
- Ταυτότητα διάρκειας/σύνδεσης (Duration/connection ID, D/I): Αν χρησιμοποιείται ως πεδίο διάρκειας, δηλώνει το χρόνο (σε μs) για τον οποίο θα

εκχωρηθεί το κανάλι για μία επιτυχημένη εκπομπή ενός πλαισίου MAC. Σε κάποια πλαίσια ελέγχου, αυτό το πεδίο περιέχει μία ταυτότητα συσχέτισης, ή σύνδεσης.

- Διευθύνσεις (Addresses): Ο αριθμός και η σημασία των πεδίων διεύθυνσης εξαρτώνται από την περίπτωση. Ο τύπος διεύθυνσης μπορεί να είναι διεύθυνση της πηγής, του προορισμού, του σταθμού που εκπέμπει το πλαίσιο MAC και του σταθμού που λαμβάνει το πλαίσιο MAC.
- Έλεγχος σειράς (Sequence Control, SC): Αποτελείται από ένα υποπεδίο 4-bit για τον αριθμό τμήματος, που χρησιμοποιείται για κατάτμηση και ανασύνθεση, και από έναν αριθμό σειράς 12-bit που χρησιμοποιείται για την αρίθμηση των πλαισίων που στέλνονται μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη.
- Κορμός Πλαισίου (Frame body): Περιέχει μία MSDU (MAC Service Data Unit) ή τμήμα μίας MSDU. Η MSDU είναι μία LLC PDU (Protocol Data Unit) ή πληροφορίες ελέγχου MAC.
- Ακολουθίας ελέγχου πλαισίου (Frame Check Sequence, FCS): Περιέχει έναν CRC (Cyclical Redundancy Check) των 32 bit.

Το πεδίο ελέγχου πλαισίου, που φαίνεται στην Εικόνα 4.1β, αποτελείται από τα εξής πεδία:

- Έκδοση πρωτοκόλλου (Protocol version): Η έκδοση του 802.11, προς το παρόν η έκδοση 0.
- Τύπος (Type): Προσδιορίζει το πλαίσιο ως πλαίσιο ελέγχου, διαχείρισης ή δεδομένων.
- Υποτύπος (Subtype): Προσδιορίζει περαιτέρω τη λειτουργία του πλαισίου. Ο Πίνακας 4.1 ορίζει τους έγκυρους συνδυασμούς τύπου και υποτύπου.
- Προς DS (To DS): Ο συντονισμός του MAC θέτει αυτό το bit 1 μέσα σε ένα πλαίσιο που προορίζεται για το σύστημα διανομής.
- Από DS (From DS): Ο συντονισμός του MAC θέτει αυτό το bit 1 μέσα σε ένα πλαίσιο που φεύγει από το σύστημα διανομής.
- Επιπλέον τμήματα (More Fragments, MF): Έχει την τιμή 1 αν μετά από αυτό ακολουθούν και άλλα πλαίσια.
- Επανάληψη (Retry, RT): Έχει την τιμή 1 αν αυτό το πλαίσιο είναι επανεκπομπή ενός προηγούμενου πλαισίου.
- Διαχείριση ενέργειας (Power Management, PM): Έχει την τιμή 1 αν ο σταθμός που εκπέμπει βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου (sleep mode).

- Επιπλέον δεδομένα (More Data, MD): Δηλώνει ότι ένας σταθμός έχει και άλλα δεδομένα να στείλει. Το κάθε μπλοκ δεδομένων μπορεί να εκπεμφθεί σαν ένα πλαίσιο ή σαν μία ομάδα τμημάτων σε πολλαπλά πλαίσια.
- WEP (Wired Equivalent Protocol): Έχει την τιμή 1 αν το προαιρετικό πρωτόκολλο WEP υλοποιείται. Το WEP χρησιμοποιείται στην ανταλλαγή κλειδίων κρυπτογράφησης για την ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων.
- Σειρά (Order, O): Έχει την τιμή 1 σε κάθε πλαίσιο δεδομένων που στέλνεται χρησιμοποιώντας την υπηρεσία Τήρηση Σειράς (Strictly Ordered), η οποία πληροφορεί το σταθμό που λαμβάνει ότι τα πλαίσια πρέπει να επεξεργαστούν με τη σειρά.[13]

Πίνακας 4.1 Έγκυροι συνδυασμοί Τύπου και Υποτύπου

Τιμή Τύπου	Περιγραφή Τύπου	Τιμή Υποτύπου	Περιγραφή Υποτύπου
00	Διαχείριση	0000	Αίτηση συσχέτισης
00	Διαχείριση	0001	Απάντηση συσχέτισης
00	Διαχείριση	0010	Αίτηση επανασυσχέτισης
00	Διαχείριση	0011	Απάντηση επανασυσχέτισης
00	Διαχείριση	0100	Αίτηση διερεύνησης
00	Διαχείριση	0101	Απάντηση διερεύνησης
00	Διαχείριση	1000	Φάρος
00	Διαχείριση	1001	Μήνυμα ένδειξης αναγγελίας κίνησης
00	Διαχείριση	1010	Αποσυσχέτιση
00	Διαχείριση	1011	Πιστοποίηση
00	Διαχείριση	1100	Αποπιστοποίηση
01	Έλεγχος	10101	Κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας
01	Έλεγχος	1011	Αίτηση αποστολής
01	Έλεγχος	1100	Αποδοχή αποστολής
01	Έλεγχος	1101	Βεβαίωση λήψης
01	Έλεγχος	1110	CF-end
01	Έλεγχος	1111	CF-end + CF-ack
10	Δεδομένα	0000	Δεδομένα

Τιμή Τύπου	Περιγραφή Τύπου	Τιμή Υποτύπου	Περιγραφή Υποτύπου
10	Δεδομένα	0001	Δεδομένα + CF-Ack
10	Δεδομένα	0010	Δεδομένα + CF-Poll
10	Δεδομένα	0011	Δεδομένα + CF-Ack + CF-Poll
10	Δεδομένα	0100	Μηδενική λειτουργία (χωρίς δεδομένα)
10	Δεδομένα	0101	CF-Ack (χωρίς δεδομένα)
10	Δεδομένα	0110	CF-Poll (χωρίς δεδομένα)
10	Δεδομένα	0111	CF-Ack + CF-Poll (χωρίς δεδομένα)

4.2.1 Πλαίσια Ελέγχου

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

- **Power save-poll (PS-Poll):** Αυτό το πλαίσιο στέλνεται από οποιονδήποτε σταθμό προς το σταθμό που περιλαμβάνει το AP (σημείο πρόσβασης). Σκοπός του είναι να γνωστοποιήσει ότι το AP εξέπεμψε ένα πλαίσιο που έχει αποθηκευτεί προσωρινά για αυτό το σταθμό, όσο αυτός ο σταθμός βρισκόταν σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (power save mode).
- **Αίτηση αποστολής (Ready To Send, RTS):** Ο πομπός που στέλνει αυτό το μήνυμα ειδοποιεί με αυτό τον τρόπο τον ενδεχόμενο δέκτη, καθώς επίσης και όλους τους άλλους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης του, ότι πρόκειται να στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων σε αυτόν τον δέκτη.
- **Αποδοχή αποστολής (Clear To Send, CTS):** Στέλνεται από το σταθμό που πρόκειται να λάβει ένα πλαίσιο προς το σταθμό που πρόκειται να εκπέμψει ένα πλαίσιο ώστε να καταλάβει ο πομπός, ότι ο δέκτης είναι σε θέση να λάβει το πλαίσιο. Το πλαίσιο CTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που βρίσκονται εντός της εμβέλειας του δέκτη ότι πρόκειται να λάβει ένα πλαίσιο, δηλαδή ότι υπάρχει μία επικοινωνία με έναν άλλο σταθμό σε εξέλιξη.
- **Βεβαίωση λήψης (Acknowledgment, ACK):** Είναι μία βεβαίωση λήψης από τον δέκτη προς τον πομπό ότι το αμέσως προηγούμενο πλαίσιο δεδομένων, διαχείρισης ή PS-Poll, έχει ληφθεί σωστά.

- Τέλος περιόδου χωρίς ανταγωνισμό [Contention-free (CF)-end]: Δηλώνει το τέλος μίας περιόδου χωρίς ανταγωνισμό η οποία είναι μέρος της λειτουργίας σημειακού συντονισμού.
- CF-end + CF-ack: Βεβαιώνει τη λήψη του CF-end. Αυτό το πλαίσιο τερματίζει την περίοδο χωρίς ανταγωνισμό και αποδεσμεύει τους σταθμούς από τους περιορισμούς που αφορούν αυτήν την περίοδο.[13]

4.2.2 Πλαίσια Δεδομένων

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

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

Οι υπόλοιποι τέσσερις υποτύποι των πλαισίων δεδομένων δε μεταφέρουν δεδομένα χρήστη. Το πλαίσιο δεδομένων Μηδενικής Λειτουργίας (Null Function) δε μεταφέρει καθόλου δεδομένα, ερωτήσεις ή βεβαιώσεις λήψης. Χρησιμοποιείται μόνο για να μεταφέρει το bit διαχείρισης ενέργειας του πεδίου ελέγχου πλαισίου στο AP, για να υποδηλώσει ότι ο σταθμός αλλάζει σε κατάσταση λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Τα υπόλοιπα τρία πλαίσια (CF-Ack, CF-Poll, CF-Ack + CF-Poll) έχουν την ίδια λειτουργικότητα με τους αντίστοιχους υποτύπους πλαισίων δεδομένων της προηγούμενης λίστας (Data + CF-Ack, Data + CF-Poll, Data + CF-Ack + CF-Poll) αλλά χωρίς τα δεδομένα.[13]

4.2.3 Πλαίσια Διαχείρισης

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

- Αίτηση συσχέτισης (Association request): Αποστέλλεται από ένα σταθμό σε ένα AP για να ζητήσει συσχέτιση με αυτή την BSS. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει δυνατότητα μεταφοράς πληροφοριών, όπως για παράδειγμα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κρυπτογράφηση ή αν ο σταθμός είναι διαμορφωμένος για λειτουργία ερωταπόκρισης (polling).
- Απάντηση συσχέτισης (Association response): Επιστρέφεται από το AP σε ένα σταθμό για να δηλώσει αν δέχεται την αίτηση συσχέτισης.
- Αίτηση επανασυσχέτισης (Reassociation request): Αποστέλλεται από ένα σταθμό όταν μετακινείται από μία BSS σε μία άλλη και πρέπει να δημιουργήσει μία συσχέτιση με το AP της νέας BSS. Ο σταθμός χρησιμοποιεί επανασυσχέτιση και όχι απλή συσχέτιση για να μπορεί το νέο AP να συνεννοηθεί με το παλιό AP για την προώθηση των πλαισίων δεδομένων.
- Απάντηση επανασυσχέτισης (Reassociation response): Επιστρέφεται από το AP σε ένα σταθμό για να δηλώσει αν δέχεται την αίτηση επανασυσχέτισης.
- Αίτηση διερεύνησης (Probe request): Χρησιμοποιείται από ένα σταθμό για να πάρει πληροφορίες από έναν άλλο σταθμό ή AP. Αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό μίας BSS IEEE 802.11.
- Απάντηση διερεύνησης (Probe response): Απάντηση σε μία αίτηση διερεύνησης
- Φάρος (Beacon): Εκπέμπεται περιοδικά για να δίνει τη δυνατότητα στους κινητούς σταθμούς να εντοπίζουν και να αναγνωρίζουν μία BSS.
- Μήνυμα ένδειξης αναγγελίας κίνησης (Announcement traffic indication message): Αποστέλλεται από έναν κινητό σταθμό για να προειδοποιήσει άλλους κινητούς σταθμούς, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, ότι έχει προσωρινά αποθηκευμένα πλαίσια που περιμένουν να παραδοθούν στο σταθμό προορισμού αυτού του πλαισίου.
- Αποσυσχέτιση (Disassociation): Χρησιμοποιείται από ένα σταθμό για τον τερματισμό μίας συσχέτισης.

- Πιστοποίηση (Authentication): Σε μία ανταλλαγή χρησιμοποιούνται πολλαπλά πλαίσια πιστοποίησης για την πιστοποίηση του ενός σταθμού στον άλλο.
- Αποπιστοποίηση (Deauthentication): Αποστέλλεται από έναν σταθμό σε έναν άλλο σταθμό ή σε ένα AP για να δηλώσει ότι τερματίζει τις ασφαλείς επικοινωνίες.[13]

4.3 Αξιοπίστη μεταφορά δεδομένων

Στα ασύρματα δίκτυα η φύση του μέσου μετάδοσης καθιστά την επικοινωνία επιρρεπή στις παρεμβολές και στους θορύβους, με αποτέλεσμα την απώλεια ενός σημαντικού μέρους των πλαισίων που ανταλλάσσονται. Για αυτό το σκοπό, το IEEE 802.11 περιλαμβάνει ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής πλαισίων, το οποίο ανάλογα με το είδος του δικτύου (ad hoc ή infrastructure), βασίζεται στον μηχανισμό Κατανεμημένης Λειτουργίας Συντονισμού (Distributed Coordination Function, DCF) ή στον μηχανισμό Σημειακής Λειτουργίας Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF), τα οποία θα περιγραφούν παρακάτω.

Επιπλέον, λόγω της ιδιαιτερότητας του μέσου μετάδοσης προστίθεται και ένα ακόμη πρόβλημα, αυτό των συγκρούσεων των πακέτων στον παραλήπτη, δηλαδή της ταυτόχρονης αποστολής πλαισίων δεδομένων προς ένα κοινό δέκτη. Στα ενσύρματα δίκτυα (802.3, Ethernet), το πρόβλημα αυτό επιλύεται εύκολα με χρήση του πρωτοκόλλου Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος και Εντοπισμό Συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection, CSMA/CD). Σύμφωνα με το CSMA/CD ο σταθμός που επιθυμεί να εκπέμψει ανιχνεύει το κανάλι. Αν το κανάλι ανιχνευθεί ελεύθερο αρχίζει να μεταδίδει, συνεχίζοντας να «ακούει» το κανάλι. Αν «ακούσει» ότι το κανάλι είναι κατειλημμένο αναβάλλει τη μετάδοση του για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα, με το πέρας του οποίου ανιχνεύει και πάλι το κανάλι. Αν τώρα κατά την μετάδοση ενός σταθμού, ο σταθμός ανιχνεύσει κάποια άλλη μετάδοση, τότε διακόπτει την μετάδοση του και χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο δυαδικής οπισθοχώρησης, ο οποίος καθορίζει το χρονικό διάστημα που ο σταθμός θα επανεκπέμψει.

Στα ασύρματα δίκτυα το πρωτόκολλο CSMA/CD δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, καθώς αυτό θα απαιτούσε την ταυτόχρονη εκπομπή και ανίχνευση του μέσου (Full Duplex). Οι σταθμοί στα ασύρματα δίκτυα μπορούν είτε να εκπέμπουν είτε να ανιχνεύουν το μέσο σε μία χρονική στιγμή. Επιπλέον, σε ένα ασύρματο

περιβάλλον είναι αδύνατο να υποθέσουμε με ακρίβεια ότι όλοι οι σταθμοί «ακούν» ο ένας τον άλλο, το οποίο αποτελεί βασικό παράγοντα στο πρωτόκολλο CSMA/CD. Σε αυτό προστίθεται το γεγονός ότι, όταν ένας σταθμός «ακούσει» ότι το κανάλι είναι ελεύθερο, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι ελεύθερο και στη περιοχή του δέκτη. Για τους παραπάνω λόγους, το 802.11 περιλαμβάνει μία παραλλαγή του CSMA/CD, το πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης και Ανίχνευσης Φέροντος με Αποφυγή Συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA), το οποίο θα περιγραφεί παρακάτω.[14]

4.4 Έλεγχος πρόσβασης

4.4.1 Ανίχνευση Φέροντος

Υπάρχουν δύο μέθοδοι ανίχνευσης του μέσου, η φυσική ανίχνευση (physical carrier sense), η οποία αποτελεί τη βασική μέθοδο ανίχνευσης και η εικονική ανίχνευση (virtual carrier sense), η οποία είναι προαιρετική και συμπληρωματική της φυσικής ανίχνευσης.

Φυσική ανίχνευση φέροντος

Στη φυσική ανίχνευση, ελέγχεται το φυσικό επίπεδο για ενδεχόμενη ύπαρξη κάποιου σήματος στο κανάλι. Αν το κανάλι ανιχνευθεί ελεύθερο, τότε ο σταθμός μπορεί να εκπέμψει. Αν το κανάλι ανιχνευθεί κατειλημμένο, τότε ο σταθμός αναμένει για ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και προσπαθεί ξανά.

Εικονική ανίχνευση φέροντος

Κάθε μεταδιδόμενο πλαίσιο φέρει το πεδίο Duration, το οποίο αναφέρεται στη χρονική διάρκεια κατάληψης του μέσου. Αυτή η πληροφορία διανέμεται σε όλους τους σταθμούς τόσο στην περιοχή του πομπού (από το RTS) όσο και στην περιοχή του δέκτη (από το CTS), και αποθηκεύεται στον Πίνακα Διανομής Δικτύου (Network Allocation Vector, NAV) που υπάρχει για αυτόν τον λόγο σε κάθε σταθμό. Ένας σταθμός που επιθυμεί να εκπέμψει, ελέγχει πρώτα τον μετρητή NAV και μόνο όταν ο NAV γίνει μηδέν, αρχίζει την μετάδοση του.

4.4.2 Μηχανισμοί πρόσβασης

Ο βασικός τρόπος πρόσβασης στο κοινό μέσο ονομάζεται Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (Distributed Coordination Function, DCF), που είναι ουσιαστικά Πολλαπλή Πρόσβαση με Ανίχνευση Φέροντος και με Αποφυγή

Συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA). Πρόκειται για μία κατανεμημένη λειτουργία του δικτύου, κατά την διάρκεια της οποίας όλοι οι σταθμοί έχουν την ίδια προτεραιότητα και ανταγωνίζονται επί ίσοις όροις για την κατάληψη του μέσου.

Υπάρχει και ένας άλλος, προαιρετικός τρόπος πρόσβασης στο κοινό μέσο, η Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF), η οποία βασίζεται πάνω στην DCF και μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε συνεργασία με αυτήν. Στην PCF ένας σταθμός υψηλής προτεραιότητας αναλαμβάνει για ένα χρονικό διάστημα την διαχείριση του δικτύου και δίνει με τη σειρά τη δυνατότητα εκπομπής στους σταθμούς υψηλής προτεραιότητας. Έτσι εξυπηρετούνται καλύτερα οι σταθμοί υψηλής προτεραιότητας, αυτοί δηλαδή που στέλνουν ευαίσθητα ως προς τον χρόνο δεδομένα (time-sensitive data), όπως η φωνή και κυρίως το video.

Πριν την ανάλυση των δύο μηχανισμών πρόσβασης στο μέσο, κρίνεται σκόπιμο η περιγραφή των χρονικών διαστημάτων αναμονής μεταξύ των διαδοχικών πλαισίων, ώστε να γίνουν κατανοητοί οι δύο μηχανισμοί.

4.4.2.1 Χρονικά διαστήματα αναμονής μεταξύ διαδοχικών πλαισίων

Χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα αναμονής (InterFrame Spaces, IFS) μεταξύ διαδοχικών πλαισίων για την διανομή διαφορετικών προτεραιοτήτων στους σταθμούς του δικτύου.

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

Επόμενο σε μέγεθος είναι το PIFS (Point coordination function InterFrame Space), το οποίο χρησιμοποιείται από τον σημειακό συντονιστή στην Σημειακή λειτουργία συντονισμού για να αποκτήσει πρόσβαση στο μέσο πριν από τους άλλους σταθμούς.

Αμέσως μεγαλύτερο είναι το DIFS (Distributed coordination function InterFrame Space), το οποίο χρησιμοποιείται όταν ένας σταθμός επιθυμεί να καταλάβει το μέσο στην Κατανεμημένη λειτουργία συντονισμού.

Τέλος, το μεγαλύτερο σε μέγεθος είναι το EIFS (Extended InterFrame Space), το οποίο χρησιμοποιείται στην λειτουργία DCF όταν το φυσικό επίπεδο εντοπίζει

ότι έγινε μία λάθος λήψη πλαισίου, και ενημερώνει για αυτό το MAC. Το EIFS χρησιμοποιείται γιατί δίνει την δυνατότητα στον πομπό του λάθους πλαισίου να καταλάβει ότι δεν έγινε σωστή λήψη.[14]

4.4.2.2 Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού

Ο μηχανισμός Κατανεμημένης Λειτουργίας (Distributed Coordination Function, DCF) βασίζεται στον μηχανισμό Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος και Αποφυγή Συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA) και αποτελείται από δύο περεταίρω μηχανισμούς, έναν βασικό, ο οποίος περιλαμβάνει την ανταλλαγή δύο πλαισίων μεταξύ πομπού και δέκτη και έναν προαιρετικό, ο οποίος περιλαμβάνει την ανταλλαγή τεσσάρων πλαισίων μεταξύ πομπού και δέκτη.

4.4.2.2.1 CSMA/CA με ανταλλαγή δύο πλαισίων

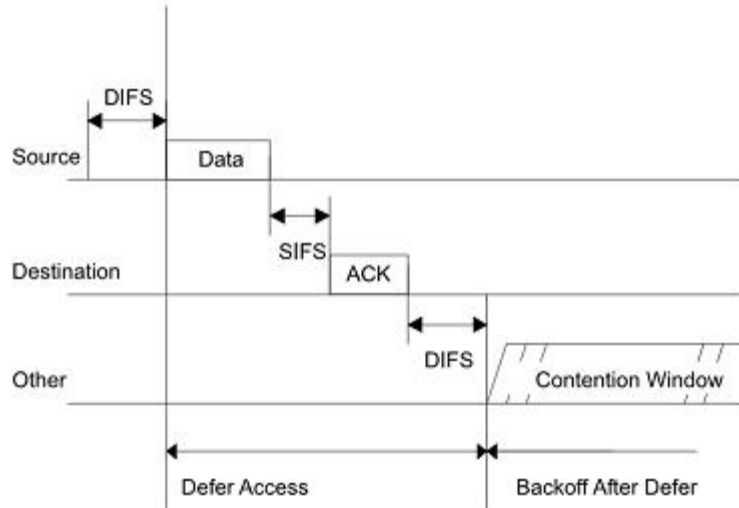
Στην βασική μέθοδο πρόσβασης, ο σταθμός που επιθυμεί να εκπέμψει, αρχικά, ανιχνεύει το κανάλι. Αν το κανάλι ανιχνευθεί ελεύθερο για διάστημα μεγαλύτερο από DIFS, τότε ο σταθμός μπορεί να αρχίσει την μετάδοση του. Αν το κανάλι ανιχνευθεί κατειλημμένο, τότε ο σταθμός περιμένει μέχρι να ελευθερωθεί. Όταν το κανάλι ελευθερωθεί, ο σταθμός περιμένει για χρονικό διάστημα DIFS. Όταν παρέλθει και το διάστημα DIFS και το κανάλι συνεχίζει να είναι ελεύθερο, ο σταθμός ενεργοποιεί έναν αλγόριθμο τυχαίας αναβολής (random back-off algorithm), ο οποίος ονομάζεται αλγόριθμος Δυαδικής Εκθετικής Οπισθοχώρησης (Binary Exponential Backoff algorithm, BEB). Το αποτέλεσμα αυτού του αλγορίθμου είναι ένας αριθμός χρονοθυρίδων (slots), ο οποίος αντιστοιχεί στο επιπλέον χρονικό διάστημα που αναβάλλει την μετάδοση του ο σταθμός. Ο σταθμός συνεχίζει να «ακούει» το κανάλι κατά την διάρκεια κάθε χρονοθυρίδας. Αν το κανάλι στην διάρκεια μιας χρονοθυρίδας είναι ελεύθερο, ο επιπλέον χρόνος αναβολής μειώνεται κατά μία χρονοθυρίδα. Έτσι, όταν περάσει όλος ο χρόνος αναβολής και το κανάλι συνεχίζει να είναι ελεύθερο, ο σταθμός αρχίζει την εκπομπή του πλαισίου του. Αν, όμως, το κανάλι «ακουστεί» απασχολημένο κατά την διάρκεια μιας χρονοθυρίδας, δηλαδή κάποιος άλλος σταθμός έχει προλάβει και έχει καταλάβει το μέσο, σταματά η διαδικασία κατάληψης του μέσου από τους υπόλοιπους σταθμούς και δεν μειώνεται ο αριθμός χρονοθυρίδων του χρόνου αναβολής για αυτή την χρονοθυρίδα. Έτσι, όταν το κανάλι ελευθερωθεί ξανά για

χρόνο μεγαλύτερο από DIFS, ο χρόνος αναβολής κάθε σταθμού θα συνεχίσει να μειώνεται από την τιμή στην οποία είχε προηγουμένως διακοπεί.

Όταν ο δέκτης λάβει σωστά ένα πλαίσιο δεδομένων, περιμένει για διάστημα ίσο με SIFS αμέσως αφού λάβει το πλαίσιο δεδομένων και απαντάει στον πομπό με ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης ACK. Το πλαίσιο ACK ενημερώνει τον πομπό ότι ο δέκτης έλαβε σωστά το πλαίσιο που του έστειλε. Επειδή το SIFS είναι μικρότερο από το DIFS, το πλαίσιο επιβεβαίωσης εκπέμπεται πριν από οποιαδήποτε άλλη εκπομπή νέου πλαισίου δεδομένων. Στην περίπτωση που ο πομπός δεν λάβει το πλαίσιο ACK, επαναλαμβάνει την μετάδοση του ίδιου πλαισίου επαναλαμβάνοντας την διαδικασία πρόσβασης που παρουσιάστηκε νωρίτερα.[15]

Επιπλέον, υπάρχει η περίπτωση να έγινε σωστή λήψη του πλαισίου δεδομένων αλλά να συνέβη κάποιο λάθος κατά την εκπομπή του πλαισίου επιβεβαίωσης, Σε αυτή τη περίπτωση, παρόλο που το πλαίσιο δεδομένων έχει ληφθεί σωστά, εκπέμπεται ξανά αυτό από τον πομπό. Ο δέκτης μπορεί αν ελέγξει αν έχει λάβει ξανά το ίδιο πλαίσιο δεδομένων, μέσω του τμήματος Ελέγχου ακολουθίας (Sequence Control) του πλαισίου. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση το δεύτερο πλαίσιο αγνοείται από τον δέκτη, ο οποίος πρέπει να στείλει και πάλι ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης στον πομπό.

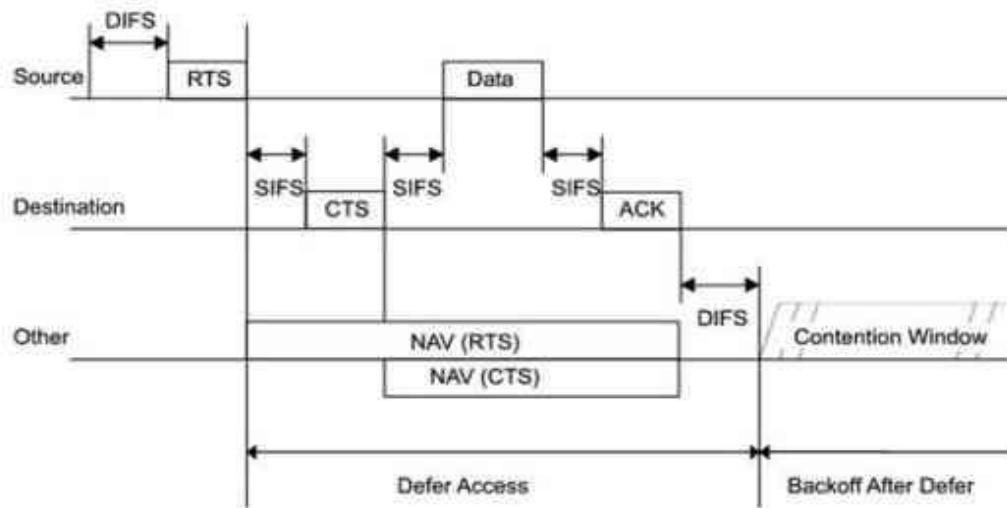
Στην περίπτωση που δεν έγινε σωστή λήψη του πλαισίου δεδομένων, δεν στέλνεται κανένα πλαίσιο από τον δέκτη προς τον πομπό. Ο δέκτης πρέπει να περιμένει για χρόνο EIFS αντί για DIFS πριν την εκπομπή του επόμενου πλαισίου του, έτσι ώστε να δοθεί χρόνος στον πομπό να καταλάβει ότι έγινε λάθος στην τελευταία του εκπομπή. Η Εικόνα 4.2 περιγράφει την διαδικασία πρόσβασης κατά την λειτουργία DCF.



Εικόνα 4.2 Λειτουργία DCF με ανταλλαγή δύο πλαισίων

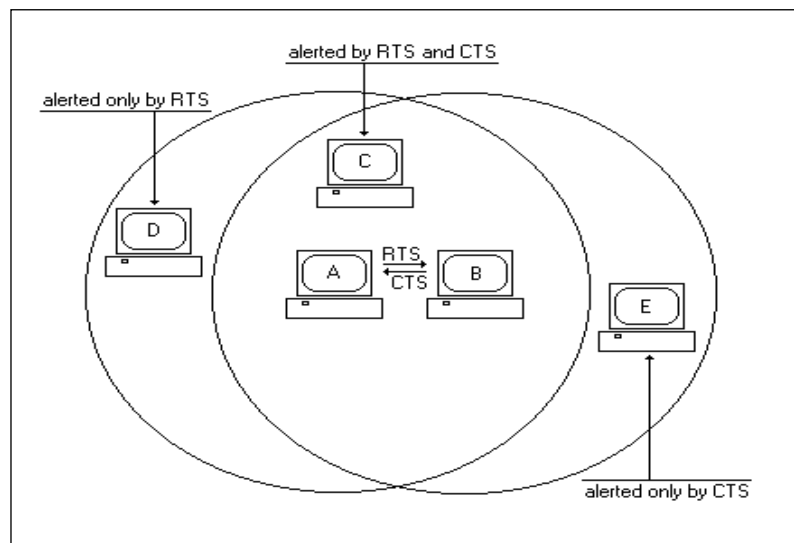
4.4.2.2.2 CSMA/CA με ανταλλαγή των πλαισίων ελέγχου RTS/CTS

Ο δεύτερος μηχανισμός πρόσβασης περιλαμβάνει τα πλαίσια ελέγχου RTS και CTS. Ο σταθμός που επιθυμεί να εκπέμψει, αρχικά, ανιχνεύει το κανάλι. Αν το κανάλι παραμένει αδρανές για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από DIFS, τότε ο πομπός στέλνει ένα πλαίσιο ελέγχου RTS (Ready To Send) με το οποίο ειδοποιεί τον δέκτη ότι πρόκειται να του στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων. Ο δέκτης από την στιγμή που θα λάβει σωστά το πλαίσιο RTS και μετά από χρονικό διάστημα ίσο με SIFS, απαντάει στον πομπό με ένα πλαίσιο CTS (Clear To Send), το οποίο ειδοποιεί τον πομπό ότι ο δέκτης μπορεί να δεχθεί το πλαίσιο δεδομένων. Κατόπιν ο πομπός, αφού περιμένει για χρονικό διάστημα ίσο με SIFS, στέλνει το πλαίσιο δεδομένων στον δέκτη. Αν ο δέκτης λάβει σωστά το πλαίσιο δεδομένων, περιμένει για διάστημα ίσο με SIFS αμέσως αφού λάβει το πλαίσιο δεδομένων και απαντάει στον πομπό με ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης ACK. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο 4.4.2.2.1. Η Εικόνα 4.3 παρουσιάζει την ανταλλαγή των πλαισίων RTS/CTS κατά την λειτουργία DCF.



Εικόνα 4.3 Ανταλλαγή πλαισίων RTS/CTS

Στο τμήμα Διάρκειας (Duration) των πλαισίων RTS και CTS περιέχεται η χρονική διάρκεια κατάληψης του μέσου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μετάδοσης, δηλαδή η χρονική διάρκεια μετάδοσης του πλαισίου δεδομένων αλλά και του αντίστοιχου πλαισίου επιβεβαίωσης. Αυτή η πληροφορία διανέμεται σε όλα τους σταθμούς τόσο στην περιοχή του πομπού (από το RTS) όσο και στην περιοχή του δέκτη (από το CTS), και αποθηκεύεται στον Πίνακα διανομής δικτύου (Network Allocation Vector, NAV) που υπάρχει για αυτόν τον λόγο σε κάθε σταθμό. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα των κρυμμένων σταθμών που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 1. Το πρόβλημα των κρυμμένων σταθμών καθώς και η αντιμετώπιση του από τον μηχανισμό CSMA/CA παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.4 Αντιμετώπιση του προβλήματος του κρυμμένου σταθμού

Στην Εικόνα 4.4, ο σταθμός A θέλει να μεταδώσει ένα πλαίσιο δεδομένων στον σταθμό B και στέλνει ένα πλαίσιο ελέγχου RTS για να του δηλώσει αυτή του την επιθυμία. Ο σταθμός B εφόσον είναι έτοιμος, απαντάει με ένα πλαίσιο CTS για να δηλώσει ότι μπορεί να δεχθεί το πλαίσιο δεδομένων. Παράλληλα όμως υπάρχουν οι σταθμοί C, D και E, για τους οποίους ισχύει ότι ο D βρίσκεται εντός της εμβέλειας του A αλλά όχι του B, ο E βρίσκεται εντός της εμβέλειας του B αλλά όχι του A και ο C βρίσκεται εντός της εμβέλειας και του A και του B.

Χωρίς την ανταλλαγή των πλαισίων RTS/CTS μεταξύ των σταθμών A και B, ο σταθμός D για παράδειγμα, ο οποίος βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του B, δεν «ακούει» ότι μεταξύ των σταθμών A και B εξελίσσεται μία μετάδοση, και υποθέτει εσφαλμένα ότι μπορεί να μεταδώσει προς τον σταθμό A, με αποτέλεσμα τα πλαίσια δεδομένων των B και D να συγκρουστούν και να καταστραφούν. Το ίδιο ισχύει και για τον σταθμό E. Με την ανταλλαγή όμως των πλαισίων RTS/CTS μεταξύ των σταθμών A και B, ο σταθμός D ενημερώνεται για την διάρκεια κατάληψης του καναλιού από το πλαίσιο RTS και ο σταθμός E από το πλαίσιο CTS, ενώ ο σταθμός C ενημερώνεται τόσο από το RTS όσο και από το CTS πλαίσιο, εφόσον βρίσκεται εντός της εμβέλειας και του σταθμού A και του σταθμού B. Με αυτόν τον τρόπο οι σταθμοί C, D και E αναβάλουν την προσπάθεια κατάληψης του καναλιού μέχρις ότου το διάνυσμα NAV που περιέχουν πάρει την τιμή μηδέν.

Ο μηχανισμός CSMA/CA με ανταλλαγή των πλαισίων RTS/CTS αποτελεί προαιρετικό τρόπο πρόσβασης. Στην περίπτωση που έχουμε μετάδοση προς μία ομάδα σταθμών (multicasting ή broadcasting) δεν χρησιμοποιείται ο μηχανισμός CSMA/CA με ανταλλαγή των πλαισίων RTS/CTS αλλά ο μηχανισμός CSMA/CA με ανταλλαγή δύο πλαισίων και αυτό λόγω της αυξημένης κίνησης που θα δημιουργηθεί από την εκπομπή των πολλών CTS και των συγκρούσεων που αναπόφευκτα θα προκύψουν μεταξύ αυτών. Μία άλλη περίπτωση είναι αυτή κατά την οποία έχουμε μετάδοση μικρών πλαισίων δεδομένων, όπου δεν υπάρχει λόγος χρήσης των RTS και CTS. Έτσι, χρησιμοποιείται ο μηχανισμός CSMA/CA με ανταλλαγή δύο πλαισίων, ο οποίος επιτρέπει την αποστολή μικρών πλαισίων δεδομένων χωρίς την χρήση των πλαισίων RTS/CTS, τα οποία όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγαλύτερα πλαίσια.

Παρόλο τον προαιρετικό χαρακτήρα του CSMA/CA με ανταλλαγή των πλαισίων RTS/CTS, ο μηχανισμός αυτός παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Καταρχάς,

αποφεύγονται οι συγκρούσεις αφού διανέμεται σε όλους τους σταθμούς η απαιτούμενη χρονική διάρκεια κατάληψης του μέσου για την κάθε μετάδοση. Επίσης, αν γίνει σύγκρουση κατά την διάρκεια εκπομπής των RTS ή CTS, ο πομπός θα επαναλάβει την διαδικασία κατάληψης του μέσου και μετάδοσης νέου RTS, πιο γρήγορα από ότι αν γινόταν η μετάδοση ολόκληρου του πλαισίου δεδομένων και τελικά δεν γινόταν λήψη του πλαισίου επιβεβαίωσης. Έτσι, γίνεται πιο γρήγορα η ανίχνευση των συγκρούσεων. Επιπλέον, μειώνεται το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού όπως περιγράφηκε παραπάνω.

4.4.2.2.1 Αλγόριθμος Δυαδικής Εκθετικής Οπισθοχώρησης

Ο αλγόριθμος Δυαδικής Εκθετικής Οπισθοχώρησης (Binary Exponential Backoff algorithm, BEB) υπολογίζει το διάστημα οπισθοχώρησης που οι σταθμοί πρέπει να αναβάλουν μία προσπάθεια κατάληψης του μέσου μετάδοσης. Το διάστημα οπισθοχώρησης χωρίζεται σε έναν αριθμό χρονοθυρίδων, ο οποίος κυμαίνεται στο διάστημα $(0, CW - 1)$, όπου CW το παράθυρο ανταγωνισμού (contention window).

Η τιμή της μεταβλητής w , η οποία υποδηλώνει το χρονικό διάστημα οπισθοχώρησης, επιλέγεται με τυχαίο τρόπο από το διάστημα $(0, CW - 1)$ και έχει ελάχιστη τιμή CW_{min} και μέγιστη τιμή CW_{max} . Η τιμή του CW μειώνεται όταν το κανάλι είναι αδρανές, «παγώνει» όταν το κανάλι είναι κατειλημμένο και παραμένει αμετάβλητο όταν το κανάλι παραμένει αδρανές για χρόνο μεγαλύτερο από DIFS.

Την πρώτη φορά που χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος BEB για συγκεκριμένο σταθμό και για συγκεκριμένο πλαίσιο δεδομένων, το CW παίρνει την ελάχιστη τιμή του, CW_{min} . Κάθε φορά που γίνεται μία αποτυχημένη προσπάθεια μετάδοσης, η τιμή του CW διπλασιάζεται, μέχρι να φτάσει στην μέγιστη τιμή του CW_{max} και παραμένει σε αυτή την τιμή μέχρις ότου ο σταθμός επιτύχει μία μετάδοση. Το CW ξαναπαίρνει την ελάχιστη τιμή του CW_{min} μετά από μία επιτυχημένη μετάδοση πλαισίου ή όταν ολοκληρωθεί ένας μέγιστος αριθμός επανεκπομπών και ο σταθμός αρχίσει την προσπάθεια μετάδοσης ενός νέου πλαισίου. Η τιμή της w δίνει, λοιπόν, τον αριθμό των χρονοθυρίδων που πρέπει να περιμένει ένας σταθμός, και πολλαπλασιαζόμενος με την χρονική διάρκεια της χρονοθυρίδας, μας δίνει τον συνολικό χρόνο αναβολής.[15][19]

Ο αλγόριθμος BEB βοηθά για μία πιο δίκαιη αντιμετώπιση των σταθμών. Όταν ένας σταθμός δεν προλάβει να καταλάβει το μέσο, κρατά την τιμή του χρόνου

αναβολής, στην οποία σταμάτησε, για την επόμενη φορά που θα προσπαθήσει να καταλάβει το μέσο. Έτσι, ο σταθμός αυτός θα πρέπει να περιμένει στατιστικά μικρότερο διάστημα οπισθοχώρησης σε σχέση με έναν σταθμό που προσπαθεί για πρώτη φορά να καταλάβει το μέσο, και για αυτό έχει περισσότερες πιθανότητες να εκπέμψει. Επίσης, δικαιοσύνη ως προς την κατάληψη του μέσου εισάγει και το γεγονός ότι κάθε σταθμός καταλαμβάνει το μέσο για την εκπομπή ενός μόνο πλαισίου κάθε φορά, και για να εκπέμψει το επόμενο πλαίσιο πρέπει να μπει και πάλι στην διαδικασία ανταγωνισμού για την κατάληψη του μέσου. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα και σε άλλα σταθμούς να εκπέμψουν ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εκπομπές του ίδιου σταθμού.

4.4.2.2.4 Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού

Η Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF) αποτελεί έναν προαιρετικό τρόπο κατάληψης του μέσου μετάδοσης, ο οποίος βασίζεται στην λειτουργία DCF, και διαχειρίζεται την μετάδοση πλαισίων δεδομένων που είναι ευαίσθητα στον χρόνο όπως είναι ο ήχος και το video. Η λειτουργία PCF δεν είναι κατανεμημένη, όπως η DCF, αλλά βασίζεται σε έναν σταθμό, ο οποίος παίζει τον ρόλο του κεντρικού συντονιστή και ονομάζεται σημειακός συντονιστής (Point Coordinator, CP). Η λειτουργία της PCF συνίσταται στην διαδικασία της ερωτοαπόκρισης (polling) των σταθμών από τον CP σχετικά με την πρόθεση τους να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο. Οι σταθμοί που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία polling, αποθηκεύονται σε μία λίστα (polling list), την οποία και ενσωματώνει ο CP.[16]

Ο CP αναλαμβάνει τον έλεγχο του δικτύου για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, το οποίο ονομάζεται περίοδος μη ανταγωνισμού (Contention Free Period, CFP), καθώς όσο διαρκεί αυτό το χρονικό διάστημα οι σταθμοί δεν χρειάζεται να ανταγωνιστούν για την κατάληψη του μέσου. Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το δίκτυο λειτουργεί κατανεμημένα σύμφωνα με την λειτουργία DCF ονομάζεται περίοδος ανταγωνισμού (Contention Period, CP).

Όταν ο PC επιθυμεί να καταλάβει τον έλεγχο του δικτύου ανιχνεύει το μέσο. Αν το κανάλι είναι κατειλημμένο, ακολουθεί την διαδικασία κατάληψης του μέσου, που περιγράψαμε στην λειτουργία DCF, με την διαφορά ότι αντί για DIFS χρησιμοποιείται το διάστημα PIFS. Αν το κανάλι ανιχνευθεί ελεύθερο και παραμείνει ελεύθερο για διάστημα ίσο με PIFS, τότε ο PC αναλαμβάνει τον έλεγχο

του δικτύου. Επειδή ο χρόνος PIFS είναι μικρότερος από τον DIFS προλαβαίνει να εκπέμψει πριν από κάθε άλλο σταθμό. Ο PC μόλις αποκτήσει τον έλεγχο του δικτύου μεταδίδει ένα πλαίσιο διαχείρισης beacon, με το οποίο ειδοποιούνται όλοι οι υπόλοιποι σταθμοί την αρχή της περιόδου μη ανταγωνισμού. Το πλαίσιο beacon περιέχει την μεταβλητή CFPMaxDuration. Μόλις οι σταθμοί λάβουν το πλαίσιο beacon, ενημερώνουν τον Πίνακα διανομής δικτύου (NAV) με την μεταβλητή CFPMaxDuration, η οποία ενημερώνει τους σταθμούς που πολώνονται για τον χρόνο που θα διαρκέσει η περίοδος μη ανταγωνισμού. Έτσι κατά την διάρκεια της περιόδου μη ανταγωνισμού κανένας άλλος σταθμός δεν πρόκειται να προσπαθήσει να καταλάβει το μέσο.

Μετά την μετάδοση του πλαισίου beacon, ο PC περιμένει για διάστημα SIFS και μεταδίδει ένα από τα παρακάτω πλαίσια:

- Πλαίσιο δεδομένων (Data frame): Το πλαίσιο αυτό μεταδίδεται προς ένα συγκεκριμένο σταθμό υψηλής προτεραιότητας, ο οποίος εφόσον έχει λάβει σωστά το πλαίσιο δεδομένων, απαντάει με ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης ACK, αφού περάσει διάστημα ίσο με SIFS. Σε περίπτωση που ο CP δεν λάβει πλαίσιο επιβεβαίωσης μπορεί να επανεκπέμψει το πλαίσιο δεδομένων, αφού περάσει διάστημα ίσο με PIFS. Κατά την περίοδο μη ανταγωνισμού οι σταθμοί υψηλής προτεραιότητας μπορούν να στείλουν τα πλαίσια δεδομένων τους σε όλους τους σταθμούς, ακόμα και στους σταθμούς χαμηλής προτεραιότητας, και κάθε δέκτης πρέπει να στείλει ένα πλαίσιο ACK μετά από κάθε σωστή λήψη.

- Το πλαίσιο δεδομένων CF Poll: Ο PC στέλνει το πλαίσιο CF Poll σε ένα σταθμό, ώστε ο σταθμός να πάρει άδεια από τον PC για να στείλει ένα πλαίσιο δεδομένων προς κάποιο άλλο σταθμό (είτε υψηλής είτε χαμηλής προτεραιότητας).

- Το πλαίσιο δεδομένων Data + CF Poll: Αυτό το πλαίσιο δεδομένων χρησιμοποιείται ώστε ο PC να στείλει σε ένα συγκεκριμένο σταθμό ένα πλαίσιο δεδομένων και παράλληλα να του παραχωρήσει την άδεια να στείλει και αυτό με την σειρά του ένα πλαίσιο δεδομένων σε κάποιο άλλο σταθμό (είτε υψηλής είτε χαμηλής προτεραιότητας). Σε οποιαδήποτε από τις παραπάνω περιπτώσεις, εάν ένας σταθμός δεν έχει να στείλει πλαίσιο δεδομένων, απαντάει με ένα πλαίσιο Null (Null frame).

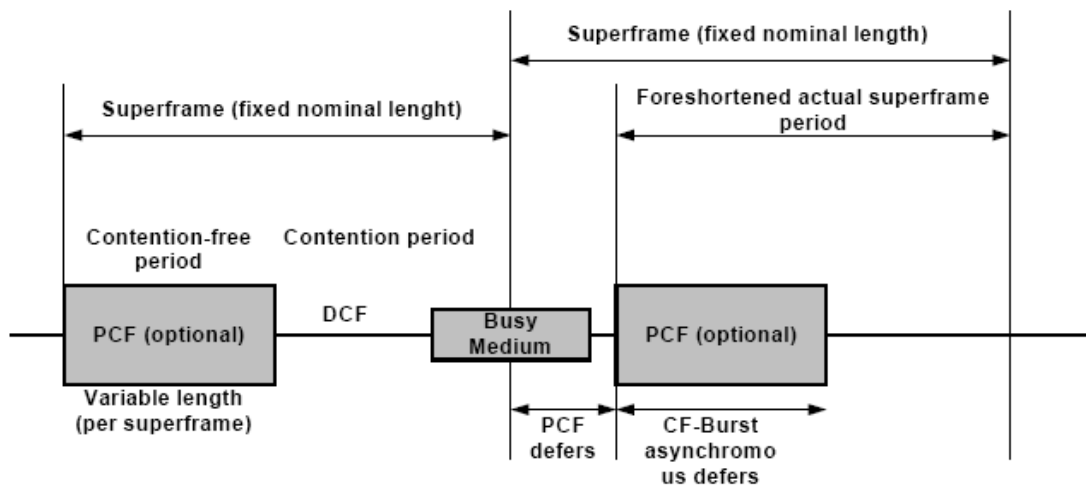
- Το πλαίσιο CF End: Το πλαίσιο αυτό ενημερώνει όλους τους σταθμούς για το τέλος της περιόδου μη ανταγωνισμού. Η περίοδος μη ανταγωνισμού τελειώνει όταν έχει περάσει ο χρόνος που ορίστηκε αρχικά με το

πλαίσιο beacon ή όταν έχουν πολωθεί όλοι οι σταθμοί υψηλής προτεραιότητας. Και στις δύο περιπτώσεις ο PC εκπέμπει ένα πλαίσιο CF-End ή ένα πλαίσιο CF-End + CF-ACK αν χρειάζεται να επιβεβαιωθεί η λήψη κάποιου πλαισίου δεδομένων από τον PC. Κάθε σταθμός που λαμβάνει ένα από τα παραπάνω πλαίσια τέλους οφείλει να ενημερώσει τον Πίνακα διανομής δικτύου του (NAV), ώστε να είναι έτοιμος για την περίοδο ανταγωνισμού που θα ακολουθήσει. Στην περίοδο ανταγωνισμού επιτρέπεται σε όλους τους σταθμούς να προσπαθήσουν να καταλάβουν το μέσο, ακόμα και στους σταθμούς υψηλής προτεραιότητας που εξέπεμψαν κατά την περίοδο μη ανταγωνισμού. Στην περίπτωση όπου δεν έχουν πολωθεί όλοι οι σταθμοί που βρίσκονται αποθηκευμένοι στην λίστα πόλωσης του PC, όταν τελειώσει μία περίοδος μη ανταγωνισμού, τότε κατά την επόμενη περίοδο μη ανταγωνισμού η λίστα συνεχίζει από το σημείο που σταμάτησε.[16][17]

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία, ο PC δίνει με κυκλικό τρόπο την άδεια εκπομπής σε κάθε έναν από τους σταθμούς υψηλής προτεραιότητας, με αποτέλεσμα να μπλοκάρει την ασύγχρονη κίνηση όσο στέλνει ερωτήματα και δέχεται απαντήσεις. Συμπεραίνουμε, έτσι, ότι αυτή η διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί. Για να το αποφύγουμε αυτό ορίζουμε ένα χρονικό διάστημα το οποίο είναι γνωστό ως υπέρ-πλαίσιο (superframe). Κατά την διάρκεια του πρώτου τμήματος αυτού του διαστήματος, ο κεντρικός συντονιστής εκδίδει ερωτήματα προς όλους τους σταθμούς οι οποίοι έχουν διαμορφωθεί ώστε να δέχονται ερωτήματα. Στην συνέχεια ο κεντρικός συντονιστής παραμένει ανενεργός για το υπόλοιπο διάστημα του υπέρ-πλαισίου, επιτρέποντας την εμφάνιση μιας περιόδου ανταγωνισμού για την πρόσβαση στο κανάλι.

Η Εικόνα 4.5 περιγράφει την χρήση του υπέρ-πλαισίου. Στην αρχή ενός υπέρ-πλαισίου ο κεντρικός συντονιστής του δικτύου μπορεί με τη χρήση του διαστήματος PIFS να αναλάβει τον έλεγχο και ακολούθως να εκδώσει ερωτήματα για το χρονικό διάστημα μιας περιόδου μη ανταγωνισμού. Το υπόλοιπο διάστημα του υπέρ-πλαισίου αποτελεί περίοδο ανταγωνισμού και είναι διαθέσιμο για πρόσβαση με καταναεμημένη λειτουργία. Στο τέλος του υπέρ-πλαισίου ο κεντρικός συντονιστής ανταγωνίζεται για την πρόσβαση στο μέσο χρησιμοποιώντας το διάστημα PIFS. Εάν το μέσο είναι ανενεργό, ο κεντρικός συντονιστής καταλαμβάνει αμέσως το κανάλι και ακολουθεί ένα νέο υπέρ-πλαίσιο. Όμως το μέσο μπορεί να είναι απασχολημένο κατά την διάρκεια του τέλους ενός υπέρ-πλαισίου. Σε αυτήν την περίπτωση ο κεντρικός συντονιστής θα αναμένει μέχρι το

μέσο να καταστεί ανενεργό και να επιτύχει πρόσβαση στο κανάλι. Αυτό οδηγεί σε μία πιο σύντομη περίοδο υπέρ-πλασίου (foreshortened superframe period) για τον επόμενο κύκλο.[17][18]



Εικόνα 4.5 Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

ΙΕΕΕ 802.16

5.1 Εισαγωγή

Στα τέλη της δεκαετίας του 90' οι κατασκευαστές προϊόντων τηλεπικοινωνίας άρχισαν να παρέχουν υπηρεσίες ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Αυτό οδήγησε σε μια πληθώρα προϊόντων για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση από διαφορετικούς όμως κατασκευαστές. Παρουσιάστηκε επομένως η ανάγκη δημιουργίας ενός προτύπου. Την ανάγκη αυτή κλήθηκε να καλύψει το Εθνικό Ίδρυμα Ασύρματων Ηλεκτρονικών Συστημάτων (National Wireless Electronics System Testbed, NWEST) του αμερικανικού Εθνικού Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (National Institute of Standards and Technology, NIST) τον Αύγουστο του 1998. Τη σκυτάλη αυτής της προσπάθειας παρέλαβε το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), το οποίο δημιούργησε την Ομάδα Εργασίας 802.16 (802.16 Working Group). Η Ομάδα Εργασίας 802.16 είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη προτύπων για σταθερές και κινητές συνδέσεις ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης.

Το πρότυπο IEEE 802.16 εγκαινίασε μία νέα τεχνολογία για την ασύρματη δικτύωση. Η νέα αυτή τεχνολογία επικεντρώθηκε στον χώρο της ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης (Broadband Wireless Access, BWA) με σκοπό να προτείνει πρακτικές έτσι ώστε να υποστηρίξει την ανάπτυξη και την εξάπλωση των ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων (Wireless Metropolitan Area Networks, MANs). Το πρότυπο IEEE 802.16 είναι ευρέως διαδεδομένο με το όνομα WiMAX από τα αρχικά των λέξεων Worldwide Interoperability for Microwave Access. Το WiMAX είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός το όνομα του οποίου αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.16. Όταν ένα προϊόν λοιπόν τυποποιείται με το όνομα WiMAX σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16 εξασφαλίζοντας έτσι συμβατότητα και διαλειτουργικότητα μεταξύ των διάφορων εξοπλισμών ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης.

5.2 Η Εξέλιξη των Προτύπων 802.16

Το πρότυπο 802.16 ορίζει τις προδιαγραφές για το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Η πρώτη έκδοση 802.16-2001 του προτύπου εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 και ακολούθησαν πολλές αναθεωρήσεις, οι οποίες πρόσθεταν νέα χαρακτηριστικά και λειτουργίες στο αρχικό πρότυπο. Η τρέχουσα έκδοση του προτύπου 802.16-2004

εγκρίθηκε τον Σεπτέμβριο του 2004 και ακυρώνει όλες τις προηγούμενες εκδόσεις του προτύπου. Το πρότυπο αυτό ορίζει τις προδιαγραφές για την εναέρια διασύνδεση για σταθερά ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης συστήματα και υποστηρίζει υπηρεσίες multimedia σε αδειοδοτούμενα ή μη φάσματα συχνοτήτων. Ακολουθεί η αναλυτική εξέλιξη των προτύπων 802.16.

IEEE 802.16-2001: Τα αρχικό 802.11-2001 πρότυπο επικεντρώθηκε στη ζώνη συχνοτήτων 11-66GHz για επικοινωνία υψηλών ταχυτήτων ανάμεσα με σημεία που βρίσκονταν σε άμεση οπτική επαφή (Line Of Sight, LOS) και για εφαρμογές σταθερής λειτουργίας (fixed operation) point to multipoint. Το πρότυπο αυτό δημιουργήθηκε για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση με σταθερούς ρυθμούς ευρείας ζώνης.

IEEE 802.16a: Το πρότυπο IEEE 802.16a ολοκληρώθηκε το 2003 και αποτέλεσε μία από τις αναθεωρήσεις του αρχικού προτύπου 802.16. Λειτουργήσε στην ζώνη συχνοτήτων 2-11GHz η οποία περιελάμβανε συχνότητες με και χωρίς άδεια χρήσης και αφορούσε επικοινωνίες μεταξύ σημείων χωρίς οπτική επαφή (Non Line of Sight, NLOS) και εφαρμογές point to multipoint. Εισηγήσε τρεις προδιαγραφές φυσικού επιπέδου:

- WirelessMAN-SC μονού φέροντος
- WirelessMAN-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- WirelessMAN-OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access)

IEEE 802.16b: Το πρότυπο αυτό διεύρυνε τη ζώνη συχνοτήτων του αρχικού προτύπου ώστε να συμπεριλάβει τις συχνότητες 5 και 6GHz και παρείχε καλύτερη Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service, QoS).

IEEE 802.16c: Το πρότυπο αυτό αποτέλεσε μία ακόμη αναθεώρηση του αρχικού προτύπου, το οποίο εγκρίθηκε το 2002 και δημοσιεύθηκε το 2003. Ήταν μία συλλογή από αποσαφηνίσεις και ενημερώσεις πάνω στο IEEE 802.16 και αναπτύχθηκε για ασύρματα δίκτυα στις αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 10 και 66GHz. Σκοπός του ήταν να παρέχει μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα μεταξύ των προϊόντων WiMAX.

IEEE 802.16d: Το πρότυπο αυτό είναι γνωστό και ως 802.16-2004 καθώς δημοσιεύθηκε το 2004 και απευθύνεται μόνο για σταθερή λειτουργία (fixed operation) με ρυθμό μετάδοσης 70Mbps. Αναθεώρησε και αντικατέστησε όλα τα προηγούμενα πρότυπα. Βρίσκεται σε πλήρη ευθυγράμμιση με το ευρωπαϊκό

πρότυπο ETSI HiperMAN, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η παγκόσμια ανάπτυξη του προτύπου.

Είναι σχεδιασμένο για σταθερή πρόσβαση καθώς χρησιμοποιεί μία κεραία η οποία βρίσκεται στη τοποθεσία του συνδρομητή. Παρέχει συνδέσεις σε μακρινές αποστάσεις καθώς είναι σχεδιασμένο να ανέχεται διακυμάνσεις στις καθυστερήσεις. Το σταθερό WiMAX λειτουργεί στις αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων 2,5GHz και 3,5GHz αλλά και στην ελεύθερη ζώνη των 5,8GHz.

Το πρότυπο 802.16-2004 αποτελεί μία εναλλακτική λύση για ευρυζωνική πρόσβαση από τα ενσύρματα modem, τις γραμμές DSL οποιουδήποτε τύπου (xDSL) και τα κυκλώματα μετάδοσης/ανταλλαγής (transmit/exchange circuits, Tx/Ex). Το μέγεθος του καναλιού στις σταθερές συνδέσεις μπορεί είναι 3,5MHz, 5MHz, 7MHz και 10MHz.

IEEE 802.16e: Το πρότυπο αυτό δημοσιεύθηκε το 2005 (802.16e-2005). Ενσωματώνει τροποποιήσεις τόσο στο φυσικό επίπεδο όσο και στο επίπεδο MAC, ώστε να υποστηρίζει κινητές εφαρμογές με ρυθμό μετάδοσης 15Mbps. Λειτουργεί σε συχνότητες κάτω από 6GHz με δυνατό μέγεθος καναλιού 5MHz, 8,75MHz και 10MHz.

Το πρότυπο 802.16e προσθέτει σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με το 802.16-2004:

- Βελτιώνει την κάλυψη του δικτύου σε non line of sight επικοινωνίες με την χρήση προηγμένων συστημάτων κεραιών, όπως το προσαρμοζόμενο σύστημα κεραιών (Adaptive Antenna System, AAS) και την τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output).

- Βασίζεται στην τεχνολογία OFDM/OFDMA.

- Υποστηρίζει την δυνατότητα μεγάλου πλήθους υποκαναλιών.

Τα χαρακτηριστικά αυτά προσφέρουν σημαντικά οφέλη από την άποψη της κάλυψης, της κατανάλωσης ενέργειας, της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων και την αποδοτικότητα του εύρους ζώνης.

Ακολούθησαν επίσης και άλλες επεκτάσεις του προτύπου 802.16 οι οποίες περιγράφονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα.[20]

Πίνακας 5.1 Επεκτάσεις του 802.16

Πρότυπο	Λειτουργία
802.16f	Διαχείριση βάσης πληροφοριών
802.16g	Διαχείριση διαδικασιών σχεδιασμού και υπηρεσιών
802.16h	Βελτίωση μηχανισμών για μη αδειοδοτούμενες λειτουργίες
802.16j	Προδιαγραφές multi hop αναμεταδόσεων
802.16k	Γεφύρωση προτύπων 802.16
802.16m	Αναμένονται ρυθμοί μετάδοσης 100Mbps για σταθερές επικοινωνίες και 1Gbps για κινητές εφαρμογές

5.3 Γενικά χαρακτηριστικά

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του WiMAX είναι η πολύ μεγάλη εμβέλεια των σταθμών βάσης, η οποία φτάνει τα 50Km στις περιπτώσεις επικοινωνίας σημείου προς σημείο. Μάλιστα η εμβέλεια αυτή μπορεί να επεκταθεί μέσω των backhaul συνδέσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση της τελικής εμβέλειας κάθε χρήστη. Επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό είναι οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, οι οποίοι φτάνουν τα 72Mbps στον αέρα.

Το WiMAX υποστηρίζει δύο είδη επικοινωνίας, οπτικής επαφής (Line Of Sight, LOS) και μη οπτικής επαφής (Non Line Of Sight, NLOS). NLOS επικοινωνία υπάρχει μεταξύ του WiMAX δέκτη και του WiMAX πύργου στο φάσμα συχνοτήτων 2 μέχρι 11GHz. Αντίθετα, LOS επικοινωνία υπάρχει μεταξύ ενός WiMAX πύργου και μιας σταθερής κεραίας, η οποία στοχεύει κατευθείαν στον πύργο. Η LOS επικοινωνία επιτυγχάνεται σε πιο υψηλές συχνότητες, οι οποίες μπορεί να φτάσουν και τα 66GHz και χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη σταθερότητα και ανοχή στις παρεμβολές, γεγονός που την καθιστά ασφαλέστερη.

Το WiMAX παρέχει επίσης την δυνατότητα επικοινωνίας σημείου προς σημείο (Point To Point, PTP) και σημείου προς πολλά σημεία (Point To Multipoint, PTM). Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην τεχνική διαμόρφωσης OFDM, η οποία αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το φαινόμενο της πολιόδευσης (multipath) και επιτρέπει την NLOS επικοινωνία. Το WiMAX επίσης, λόγω της ευέλικτης σχεδίασης του φυσικού του επιπέδου, δίνει την δυνατότητα της δυναμικής επέκτασης του εύρους ζώνης του καναλιού, με αποτέλεσμα την δυναμική αύξηση του ρυθμού μετάδοσης.

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό του WiMAX είναι η χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και διόρθωσης λαθών (Adaptive Modulation and Coding, AMC), με συνέπεια αποτελεσματικές συνδέσεις με μέγιστο αριθμό bit/sec ανά χρήστη. Τα πρότυπα IEEE 802.16-2004 και 802.16e υποστηρίζουν τόσο Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Duplexing, TDD) όσο και Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Duplexing, FDD), καθώς και half duplex FDD.

Το WiMAX παρέχει επίσης ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service, QoS).με αποτέλεσμα την υποστήριξη υπηρεσιών φωνής και video. Έχει σχεδιαστεί ώστε να υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό χρηστών, με τον κάθε χρήστη να διαθέτει πολλές συνδέσεις ταυτόχρονα και να απαιτεί ποιότητα υπηρεσιών για κάθε μία σύνδεση. Εξασφαλίζει την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων μέσω μηχανισμών κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης των χρηστών και παρέχει υποστήριξη έξυπνων κεραιών, με αποτέλεσμα υψηλό κέρδος ισχύος.[21][22]

5.4 Αρχιτεκτονική WiMAX δικτύου

Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου WiMAX προσδιορίζει το σύνολο των απαραίτητων οντοτήτων για τη επίτευξη μιας ολοκληρωμένης από άκρη σε άκρη σύνδεσης. Η Ομάδα Εργασίας Δικτύου (Network Working Group, NWG) του WiMAX Forum είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη των απαιτήσεων, της αρχιτεκτονικής και των πρωτοκόλλων ενός ολοκληρωμένου από άκρη σε άκρη δικτύου WiMAX, το οποίο χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.11e-2005.

Η WIMAX NWG ανέπτυξε ένα μοντέλο αναφοράς δικτύου έτσι ώστε να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφορετικών προμηθευτών WiMAX εξοπλισμού. Το μοντέλο αναφοράς υποστηρίζει σταθερές και κινητές υλοποιήσεις και χωρίζεται σε τρία μέρη:

Σταθμοί συνδρομητών (Subscribers station, SS): Κινητοί σταθμοί (Mobile stations, MB): Οι σταθμοί είναι ο απαραίτητος εξοπλισμός των χρηστών με τον οποίο συνδέονται στο δίκτυο και ο οποίος μπορεί να βρίσκεται στον χώρο τους. Οι SS μπορεί να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί. Ο εξωτερικός εξοπλισμός έχει καλύτερη απόδοση, το οποίο οφείλεται στην καλύτερη θέση της κεραίας, ενώ ο εσωτερικός εξοπλισμός μπορεί να εγκατασταθεί με ευκολία από τον χρήστη.

Το Δίκτυο Υπηρεσιών Πρόσβασης (Access Service Network, ASN): Το ASN αποτελείται από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μία ή παραπάνω ASN πύλες, το οποίο αποτελεί το τελικό δίκτυο πρόσβασης.

Δίκτυο Υπηρεσιών Συνδεσιμότητας (Connectivity Access Network, CAN): Το τμήμα αυτό του δικτύου WiMAX παρέχει την IP συνδεσιμότητα και όλες τις λειτουργίες του IP δικτύου κορμού.

Το μοντέλο αναφοράς της WiMAX NWG ορίζει ακόμη και κάποιες λειτουργικές ενότητες και τις συνδέσεις αυτών, οι σημαντικότερες των οποίων περιγράφονται παρακάτω:

Σταθμοί βάσης (Base stations, BS): είναι εκείνες οι εγκαταστάσεις WiMAX, οι οποίες παρέχουν την σύνδεση με το WiMAX δίκτυο στους κινητούς και σταθερούς σταθμούς.

Πύλη ASN: Η πύλη ASN στα πλαίσια του WiMAX δικτύου, λειτουργεί ως το σημείο συγκέντρωσης επιπέδου της κυκλοφορίας του συνολικού ASN.

Home Agent: Στα πλαίσια του CAN το Home Agent χρησιμοποιείται στις κινητές εφαρμογές και παρέχει ασφαλή περιαγωγή (roaming) με δυνατότητες QoS.

Παροχέας Αυθεντικοποίησης, Αδειοδότησης και Λογαριασμών (Authentication Authorization and Accounting Server, AAA): Η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιείται στα πλαίσια του CAN, έτσι ώστε να παρέχονται υπηρεσίες συνδρομητών.[23][24]

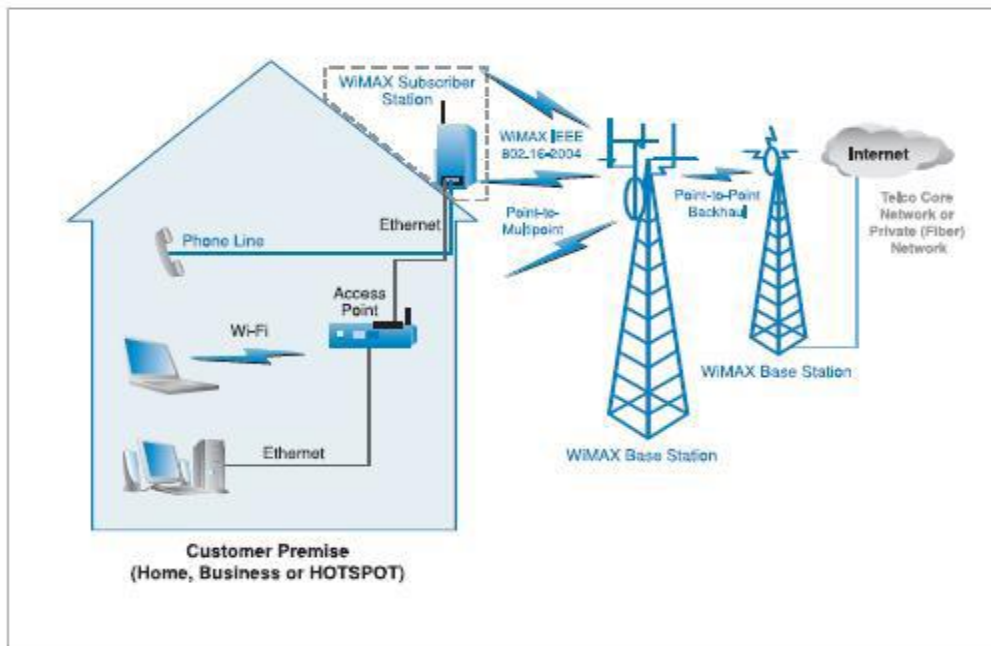
5.4.1 Συστατικά WiMAX συστήματος

Ένα WiMAX σύστημα αποτελείται από δύο κύριες οντότητες

- Το WiMAX σταθμό βάσης και
- Τον WiMAX δέκτη

Ο σταθμός βάσης WiMAX αποτελείται από τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις και έναν WiMAX πύργο. Ο σταθμός βάσης WiMAX παρέχει εμβέλεια 10Km, με αποτέλεσμα οποιαδήποτε συσκευή εντός των 10Km να έχει πρόσβαση στο Internet. Ένας σταθμός βάσης μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο Internet χρησιμοποιώντας μια ενσύρματη σύνδεση μεγάλου εύρους. Ο σταθμός βάσης μπορεί ακόμη να συνδεθεί με έναν άλλο σταθμό βάσης μέσω μίας line of sight σύνδεσης. Η σύνδεση αυτή μεταξύ δύο σταθμών βάσης ονομάζεται backhaul και δίνει την δυνατότητα σε ένα συνδρομητή ενός σταθμού βάσης WiMAX να έχει πρόσβαση σε μία άλλη περιοχή ενός αλλού σταθμού βάσης.

Ο WiMAX δέκτης μπορεί να έχει ξεχωριστή κεραία ή μπορεί να είναι ένα αυτόνομο κουτί ή μία κάρτα PCMCIA η οποία είναι στο laptop ή στον υπολογιστή σας. Ο WiMAX δέκτης ονομάζεται και Customer Premise Equipment (CPE). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ενός δικτύου WiMAX.



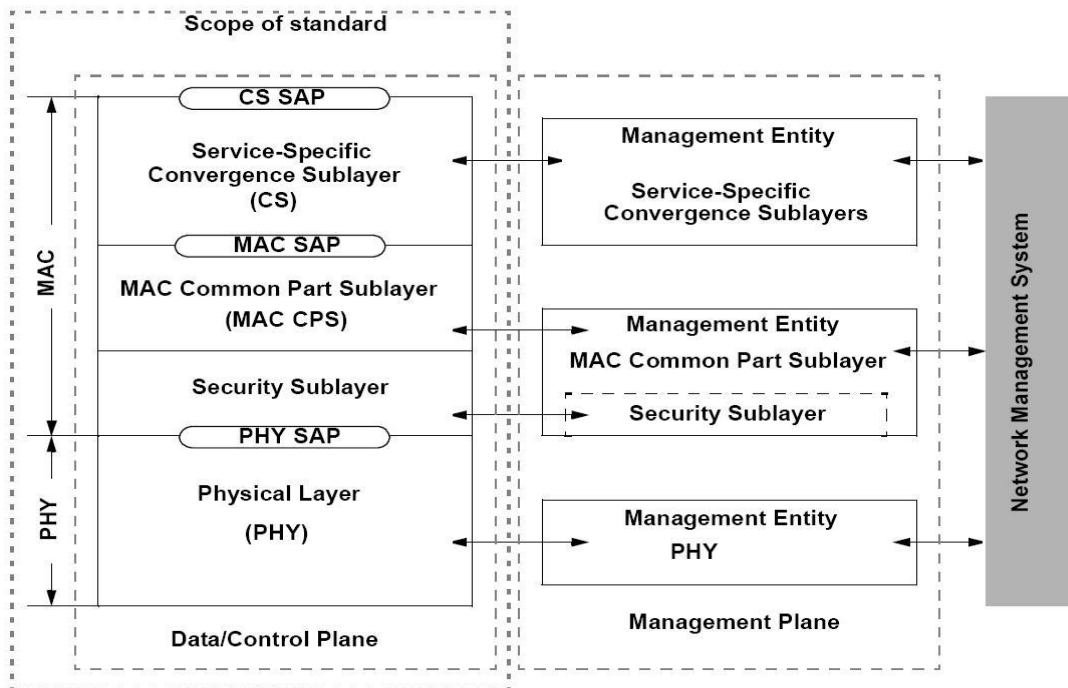
Εικόνα 5.1 WiMAX δίκτυο

5.5 Μοντέλο αναφοράς 802.16

Το πρότυπο 802.16, όπως και όλα τα πρότυπα 802, ορίζει τις προδιαγραφές για τα δύο χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου OSI, το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC). Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται το μοντέλο αναφοράς του 802.16. Το επίπεδο MAC υποδιαιρείται σε τρία υποεπίπεδα, το υποεπίπεδο ασφάλειας, το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) και το Service-Specific Convergence Sublayer (CS). Το υποεπίπεδο ασφάλειας είναι υπεύθυνο για την πιστοποίηση, την ασφαλή ανταλλαγή κλειδιών και την κωδικοποίηση. Το MAC CPS είναι αυτό που προσφέρει την κύρια MAC λειτουργικότητα όπως είναι η πρόσβαση του συστήματος, η δέσμευση του απαραίτητου εύρους ζώνης, η εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης και η συντήρησή της. Τέλος το ανώτερο επίπεδο, το CS, είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του συστήματος με άλλα συστήματα και πρωτόκολλα.

Το 802.16 λειτουργεί τόσο στη αδειοδοτούμενη περιοχή συχνοτήτων από 10-66GHz, όσο και σε περιοχές κάτω από 11GHz, αδειοδοτούμενες όπως 3GHz όσο και ελεύθερες, όπως 2,4GHz και 5GHz. Το φυσικό επίπεδο του 802.16 περιλαμβάνει διάφορες προδιαγραφές, οι οποίες επιτρέπουν στο πρότυπο να λειτουργεί σε διαφορετικά φάσματα συχνοτήτων. Η ευελιξία αυτή του φυσικού

επιπέδου δίνει την δυνατότητα στους σχεδιαστές του συστήματος να προσαρμόσουν το σύστημα τους σύμφωνα με τις ανάλογες απαιτήσεις.



Εικόνα 5.2 Μοντέλο αναφοράς 802.16

5.6 Φυσικό Επίπεδο

Το πρότυπο 802.16 ορίζει πέντε διαφορετικές υλοποιήσεις φυσικού επιπέδου, η κάθε μία από τις οποίες μπορεί να λειτουργήσει με το επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου (MAC). Η διαφορετικές υλοποιήσεις είναι οι εξής:

- WirelessMAN-SC
- WirelessMAN-SCa
- WirelessMAN-OFDM
- WirelessMAN-OFDMA
- WirelessHUMAN

WirelessMAN-SC: Η WirelessMAN-SC υλοποίηση ήταν η πρώτη που εφαρμόστηκε από την ομάδα εργασίας 802.16. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση μονού φέροντος (single carrier, SC). Υποστηρίζει line of sight επικοινωνίες μεταξύ δύο σημείων (point to point). Λειτουργεί στο αδειοδοτούμενο φάσμα συχνοτήτων από 10-66GHz. Η υλοποίηση αυτή προσφέρει πρόσβαση σε κτίρια με ρυθμούς δεδομένων ικανούς να συγκριθούν με τα αντίστοιχα υψηλών ταχυτήτων δίκτυα οπτικών ινών.

WirelessMAN-SCa: Η υλοποίηση αυτή λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων 2-11GHz. Υποστηρίζει non line of sight επικοινωνίες μεταξύ ενός σημείου προς πολλά σημεία (point to multipoint) για σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση.

WirelessMAN-OFDM: Το πρότυπο 802.16a-2003 εισήγαγε την υλοποίηση αυτή, η οποία βασίζεται στην τεχνική OFDM, με 256 υποφέρουσες συχνότητες. Υποστηρίζει non line of sight επικοινωνίες για σταθερή πρόσβαση στο φάσμα συχνοτήτων 2-11GHz.

WirelessMAN-OFDMA: Το πρότυπο 802.16a-2003 εισήγαγε επίσης την υλοποίηση WirelessMAN-OFDMA, η οποία βασίζεται στην τεχνική OFDMA, με περισσότερες από 2048 υποφέρουσες συχνότητες. Υποστηρίζει non line of sight επικοινωνίες μεταξύ σημείου προς πολλά σημεία. Η τεχνική διαμόρφωσης OFDMA παρέχει QoS με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Εύρος καναλιού με δυνατότητα επέκτασης από 1,25 μέχρι 20MHz χρησιμοποιώντας μετασχηματισμό Fast Fourier.
- Ανοχή στις παρεμβολές λόγω ορθογωνικότητας των καναλιών και μείωση των διασυμβολικών παρεμβολών και των παρεμβολών μεταξύ των υποφερουσών χρησιμοποιώντας ζώνες φύλαξης (guard bands).
- Υποστήριξη TDD για ασύγχρονη κίνηση δεδομένων.
- Σημαντική επέκταση της εμβέλειας των κυψελών λόγω της πυκνότητας της ισχύς μετάδοσης στην άνω ζεύξη (uplink) και της εκχώρησης υψηλότερης προτεραιότητας στους μακρινούς χρήστες στην κάτω ζεύξη (downlink).
- Υποστήριξη HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) για μεγαλύτερη αξιοπιστία σε καταστάσεις κίνησης.
- Υποστήριξη προγραμματισμού επιλογής συχνότητας και υποκαναλιών μέσω διάφορων ευέλικτων επιλογών παραχώρησης αδειών
- Υποστήριξη καταστάσεων sleep και idle για διαχείριση της ενέργειας.
- Υποστήριξη multicast και broadcast με χαρακτηριστικά παρόμοια αυτών των τεχνολογιών DVB-H, MediaFLO και 3GPP E-UTRAN, για κάλυψη με υψηλό ρυθμό δεδομένων σε δίκτυα μονής συχνότητας.

WirelessHUMAN: Η υλοποίηση Wireless High-speed Unlicensed MAN είναι παρόμοια με την υλοποίηση WirelessMAN-OFDM, με την διαφορά ότι η δυναμική επιλογή συχνότητας είναι υποχρεωτική για τις μη αδειοδοτούμενες μπάντες συχνοτήτων.[25]

5.6.1 WiMAX MIMO

Οι πιο εξελιγμένες εκδόσεις του προτύπου 802.16 χρησιμοποιούν MIMO (Multiple Input Multiple Output), με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραιές. Η χρήση αυτών των τεχνικών παρέχει οφέλη όσον αφορά την κάλυψη, την εγκατάσταση του συστήματος από τον ίδιο τον χρήστη, την κατανάλωση ρεύματος, την χρησιμοποίηση των συχνοτήτων και την απόδοση του εύρους ζώνης.

5.6.2 Κωδικοποίηση και Διαμόρφωση

Στο WiMAX η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση είναι προσαρμοστική (Adaptive Modulation and Coding, AMC), γεγονός που επιτρέπει την διαφοροποίηση των παραμέτρων αυτών σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες. Η διαμόρφωση και η κωδικοποίηση μπορούν να αλλάζουν δυναμικά σε μία burst by burst βάση, σε κάθε ζεύξη, ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού.

Χρησιμοποιείται ένας δείκτης ανατροφοδότησης της ποιότητας του καναλιού έτσι ώστε να οριστεί η απαιτούμενη διαμόρφωση και κωδικοποίηση. Ο κινητός χρήστης προσφέρει τις απαραίτητες πληροφορίες ανατροφοδότησης στον σταθμό βάσης, σε σχέση με την ποιότητα του καναλιού κατά την κατερχόμενη ζεύξη. Έτσι ο σταθμός βάσης, ανάλογα την ποιότητα του ληφθέντος σήματος, μπορεί να εκτιμήσει την ποιότητα του καναλιού κατά την ανερχόμενη ζεύξη.

5.6.3. Ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη

Το WiMAX χρησιμοποιεί αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplexing, FDD), αμφίδρομη επικοινωνία με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing, TDD) καθώς και half duplex FDD. Παρόλα αυτά, η πιο κοινή μέθοδος είναι η TDD, οποία χρησιμοποιεί με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα το φάσμα συχνοτήτων από την FDD μέθοδο.

Με βάση την μέθοδο TDD, ο σταθμός βάσης και οι τελικοί χρήστες μεταδίδουν στην ίδια συχνότητα. Για να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ τους τα πλαίσια χωρίζονται σε χρονοθυρίδες. Ο σταθμός βάσης στέλνει περιοδικά πλαίσια. Κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε χρονοθυρίδες. Οι πρώτες χρονοθυρίδες προορίζονται για την κατερχόμενη ζεύξη, ώστε ο σταθμός βάσης να μεταδώσει προς τους τελικούς χρήστες. Την κατερχόμενη ζεύξη ακολουθεί ένα κενό μιας χρονοθυρίδας, η οποία ονομάζεται Transmit/receive Transition Gap (TTG), το οποίο χρησιμοποιείται για

την αλλαγή στην κατεύθυνση μετάδοσης. Μετά το κενό TTG είναι η σειρά των χρηστών να μεταδώσουν τα πλαίσια τους. Μόλις τελειώσει και η περίοδος της ανερχόμενης ζεύξης, ακολουθεί ένα κενό μιας χρονοθυρίδας, η οποία ονομάζεται Receive/transmit Transition Gap (RTG), το οποίο χρησιμοποιείται για την αλλαγή της κατεύθυνσης μετάδοσης από ανερχόμενη με κατερχόμενη.

Η κατερχόμενη ζεύξη αντιστοιχίζεται σε χρονοθυρίδες από τον σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης έχει τον απόλυτο έλεγχο σε αυτή την κατεύθυνση. Η ανερχόμενη ζεύξη είναι πιο περίπλοκη και εξαρτάται από την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών. Παρόλα αυτά, το πλήθος των χρονοθυρίδων που αφιερώνονται σε κάθε κατεύθυνση μπορεί να αλλάξει δυναμικά, έτσι ώστε να συμβαδίσει το εύρος ζώνης κάθε κατεύθυνσης με την κίνηση.

5.7 Επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου

Το επίπεδο 802.16 MAC σχεδιάστηκε για point to multipoint αρχιτεκτονική. Ο πρωταρχικός σκοπός του επιπέδου MAC είναι να παρέχει την διασύνδεση μεταξύ των ανώτερων επιπέδων με το φυσικό επίπεδο. Οι σημαντικότερες λειτουργίες του επιπέδου MAC είναι:

- Η τμηματοποίηση ή η ενοποίηση των service data units (SDUs) των ανώτερων επιπέδων σε MAC PDUs (protocol data units).
- Επιλογή του κατάλληλου προφίλ burst και επιπέδου ισχύος για την μετάδοση των MAC PDUs.
- Αναμετάδοση των MAC PDUs που παραλήφθηκαν λανθασμένα χρησιμοποιώντας την τεχνική ARQ (automated repeat request).
- Παροχή QoS υπηρεσίας.
- Διαχείριση των MAC PDUs ανάλογα με τους πόρους του φυσικού επιπέδου.
- Παροχή υποστήριξης στα ανώτερα επίπεδα για την διαχείριση της κινητικότητας.
- Παροχή μηχανισμών ασφάλειας.
- Υποστήριξη κατάστασης εξοικονόμησης ενέργειας και κατάστασης αδράνειας.

Το επίπεδο MAC χωρίζεται σε τρία υποεπίπεδα, το επίπεδο σύγκλισης (specific service Convergence Sublayer, CS), το common part sublayer (MAC CPS) και το υποεπίπεδο ασφαλείας. Το CS αποτελεί την διεπαφή του επιπέδου MAC με το

επίπεδο 3 του δικτύου και λαμβάνει τα πακέτα δεδομένων από τα ανώτερα επίπεδα, τα οποία ονομάζονται MAC service data units (SDUs). Το CS είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή όλων των λειτουργιών που εξαρτώνται από την φύση του πρωτοκόλλου που εφαρμόζεται στα ανώτερα επίπεδα, όπως η συμπίεση των επικεφαλίδων των πλαισίων δεδομένων και η χαρτογράφηση των διευθύνσεων.

Το common part sublayer ασχολείται με εκείνες τις λειτουργίες που είναι ανεξάρτητες από τα ανώτερα επίπεδα, όπως τμηματοποίηση και ενοποίηση των SDUs σε MAC PDUs (protocol data units), μετάδοση των MAC PDUs, έλεγχος του QoS και ARQ. Το επίπεδο ασφαλείας είναι υπεύθυνο για την κωδικοποίηση, την πιστοποίηση και την ανταλλαγή των κλειδιών κωδικοποίησης μεταξύ των σταθμών βάσης και των συνδρομητών.

5.7.1 Επίπεδο σύγκλισης

Το επίπεδο CS είναι υπεύθυνο για τις παρακάτω λειτουργίες:

- Λήψη των πλαισίων που προέρχονται από τα ανώτερα επίπεδα.
- Ταξινόμηση των πακέτων που έχει δεχθεί.
- Επεξεργασία των πακέτων, εάν αυτό κριθεί απαραίτητο.
- Παράδοση των πακέτων στο MAC CPS.

Το επίπεδο CS υποστηρίζει δύο υλοποιήσεις:

- Το ATM CS, το οποίο παρέχει ATM υπηρεσίες
- Το Packet CS, το οποίο είναι υπεύθυνο για την παροχή υπηρεσιών πακέτων, όπως τα IPv4, IPv6, το Ethernet και τα εικονικά τοπικά δίκτυα (Virtual Local Access Network, VLAN).

Το ATM CS είναι μία λογική διεπαφή που συνδέει διαφορετικές ATM υπηρεσίες με το MAC CPS. Το ATM CS λαμβάνει δεδομένα από το ATM επίπεδο, τα ταξινομεί, εάν απαιτείται, και στην συνέχεια τα παραδίδει στο MAC CPS. Το ATM CS είναι αυστηρά προδιαγεγραμμένο για να επιτυγχάνεται σύγκλιση ανάμεσα στα ATM δίκτυα και στο πρότυπο 802.16.

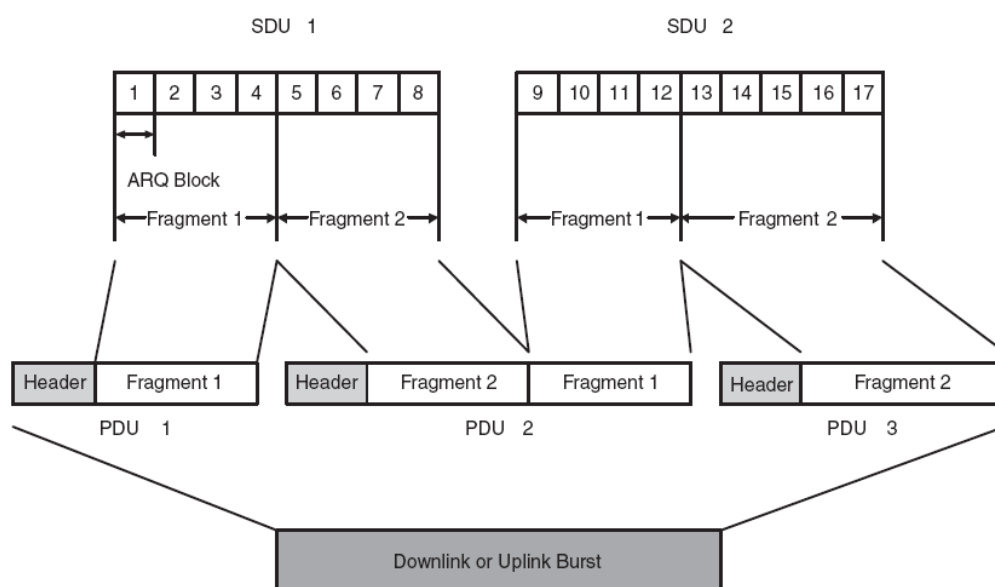
Το Packet CS είναι υπεύθυνο για την ταξινόμηση των πακέτων των ανώτερων επιπέδων στις κατάλληλες συνδέσεις, την συμπίεση των επικεφαλίδων των πακέτων (προαιρετικά), την προώθηση των επεξεργασμένων πακέτων στο MAC CPS, που είναι υπεύθυνο για την αποστολή της πληροφορίας στον δέκτη και τη λήψη των πακέτων από το MAC CPS επίπεδο του αποστολέα και την αποσυμπίεση των επικεφαλίδων (προαιρετικά).

Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την ορθή αποστολή της πληροφορίας σύμφωνα με τις παραμέτρους QoS, τμηματοποίησης, αλληλουχίας και όλες τις υπόλοιπες λειτουργίες μεταφοράς που είναι συσχετισμένες με μία συγκεκριμένη σύνδεση. Αντίστοιχα είναι υπεύθυνο για την λήψη και παράδοση των πακέτων στα ανώτερα επίπεδα.

5.7.2 Επίπεδο MAC CPS

Το επίπεδο MAC CPS είναι ανεξάρτητο από το πρωτόκολλο των ανώτερων επιπέδων και εκτελεί λειτουργίες όπως προγραμματισμός, ARQ, κατανομή εύρους ζώνης και διαμόρφωση. Οι SDUs που φθάνουν στο επίπεδο MAC CPS από τα ανώτερα επίπεδα, συναρμολογούνται ώστε να δημιουργηθούν οι MAC PDUs, οι οποίες αποτελούν τις βασικές μονάδες που χειρίζονται το επίπεδο MAC και το φυσικό επίπεδο. Με βάση το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου (payload), πολλαπλά SDUs μπορεί να δημιουργήσουν μία MAC PDU ή μία ενιαία SDU να κατακερματιστεί σε πολλές MAC PDUs. Όταν μία SDU είναι κατακερματισμένη σε τμήματα, η θέση κάθε τμήματος φέρει έναν αύξοντα αριθμό, το οποίο επιτρέπει στον δέκτη να συναρμολογήσει σωστά την SDU.

Όπως παρουσιάζει η Εικόνα 5.3, όταν υπάρχουν πολλές MAC PDUs προς αποστολή και ο δέκτης είναι ο ίδιος, οι MAC PDUs τοποθετούνται συνεχόμενα και μεταδίδονται όλες μαζί, έτσι ώστε να επιτευχθεί η αποτελεσματική χρήση των πόρων του φυσικού επιπέδου.



Εικόνα 5.3 Κατακερματισμός και εντοποίηση των SDUs σε MAC PDUs

Στις συνδέσεις που δεν υπάρχει η δυνατότητα ARQ, κάθε τμήμα της κατακερματισμένης SDU μεταδίδεται με την σειρά, ενώ για τις συνδέσεις που παρέχεται η υπηρεσία ARQ, η SDU αρχικά χωρίζεται σε σταθερού μήκους ARQ τμήματα και ένας αύξων αριθμός ορίζεται σε κάθε ARQ τμήμα. Το μέγεθος του κάθε ARQ τμήματος καθορίζεται από το σταθμό βάσης, για κάθε CID, χρησιμοποιώντας την παράμετρο ARQBLOCK-SIZE. Η SDU παραμένει κατακερματισμένη σε ARQ τμήματα μέχρις ότου ο δέκτης επιβεβαιώσει (ACK) την σωστή λήψη τους. Μετά τον κατακερματισμό των SDUs σε τμήματα ARQ, οι SDUs συναρμολογούνται σε MAC PDUs, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3.

Μόλις δημιουργηθεί μία MAC PDU, παραδίδεται σε έναν scheduler, ο οποίος προγραμματίζει τις MAC PDUs, ανάλογα με τους διαθέσιμους πόρους του φυσικού επιπέδου. Ο scheduler ελέγχει το ID της ροής υπηρεσίας (service flow ID) και το CID της MAC PDU, τα οποία παρέχουν την δυνατότητα εκτίμησης των QoS απαιτήσεων. Με βάση τις απαιτήσεις αυτές, οι MAC PDUs που ανήκουν σε διαφορετικά CID και οι υπηρεσίες ροής, ο scheduler καθορίζει την βέλτιστη κατανομή των πόρων του φυσικού επιπέδου για κάθε MAC PDU. Η διαδικασία του προγραμματισμού βρίσκεται εκτός του πεδίου εφαρμογής του WiMAX και η υλοποίηση της έχει αφεθεί στους κατασκευαστές του εξοπλισμού WiMAX. Δεδομένου ότι ο αλγόριθμος προγραμματισμού παίζει σημαντικό ρόλο στη συνολική χωρητικότητα και τις επιδόσεις του συστήματος, αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό για την διάκριση των διαφορετικών υλοποιήσεων των διάφορων κατασκευαστών εξοπλισμού.

5.7.3 Ποιότητα Υπηρεσίας

Μία από τις σημαντικότερες λειτουργίες του επιπέδου MAC είναι να εξασφαλιστεί ότι οι απαιτήσεις QoS των MAC PDUs, που ανήκουν σε διαφορετικά CID και ροές υπηρεσίας τηρούνται τόσο αξιόπιστα όσο επιτρέπει η φόρτωση του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι οι διάφοροι δείκτες επιδόσεων που συνδέονται με την ποιότητα υπηρεσίας, όπως καθυστέρηση, ρυθμός δεδομένων, ρυθμός packet error και διαθεσιμότητα του συστήματος, πρέπει να πληρούνται για κάθε σύνδεση. Δεδομένου ότι οι απαιτήσεις ποιότητας των διάφορων υπηρεσιών δεδομένων μπορεί να ποικίλουν σε μεγάλο βαθμό, το WiMAX διαθέτει διάφορους μηχανισμούς για να αντιμετωπίσει τις διαφορετικές αυτές απαιτήσεις.

5.7.3.1 Υπηρεσίες προγραμματισμού

Το επίπεδο MAC διαθέτει υπηρεσίες προγραμματισμού ώστε να χειριστεί τις SDUs και τις MAC PDUs με διαφορετικές απαιτήσεις QoS. Μία υπηρεσία προγραμματισμού ορίζει τον μηχανισμό του δικτύου που θα χρησιμοποιηθεί κατά την κατερχόμενη (downlink, DL) και ανερχόμενη (uplink, UP) ζεύξη.

Το WiMAX ορίζει πέντε υπηρεσίες προγραμματισμού:

- Unsolicited grant service (UGS): Υποστήριξη για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου με σταθερό ρυθμό δεδομένων (CBR – Constant Bit Rate) όπως VoIP και εξομοίωση κυκλώματος.
- Real time polling services (rtPS): Υποστήριξη για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου με μεταβλητό ρυθμό δεδομένων (VBR – Variable Bit Rate) όπως streaming audio και video.
- Non Real time polling services (nrtPS): Υποστήριξη για υπηρεσίες όχι πραγματικού χρόνου, με αυξημένες απαιτήσεις ως προς τον ρυθμό μετάδοσης όπως υπηρεσίες FTP.
- Extended Real time polling services (ertPS): Υποστήριξη για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου με δυνατότητα δυναμικής επέκτασης του εύρους ζώνης.
- Best effort service (BE): Υποστήριξη για εφαρμογές χωρίς συγκεκριμένες απαιτήσεις ως προς την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

5.7.3.2 Ροές υπηρεσιών και λειτουργίες ποιότητας υπηρεσιών

Μία ροή υπηρεσίας είναι μία υπηρεσία μεταφοράς, η οποία παρέχεται από το MAC για UL και DL μετάδοση και αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής QoS. Κάθε ροή υπηρεσίας συνδέεται με ένα μοναδικό σύνολο παραμέτρων QoS. Μία ροή υπηρεσίας περιέχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Service flow ID: ID των 32 bit για κάθε ροή υπηρεσίας.
- Connection ID: ID των 16 bit για κάθε λογική σύνδεση που πρέπει να χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της ροής υπηρεσίας.
- ProvisionedQoSParamSet : Ένα σύνολο από εξωτερικές παραμέτρους για το QoS που έχουν να κάνουν με το MAC επίπεδο, όπως για παράδειγμα παράμετροι που έχουν να κάνουν με το σύστημα διαχείρισης του δικτύου

- **AdmittedQoSParamSet** : Ένα σύνολο παραμέτρων για τις οποίες ο σταθμός βάσης, πιθανότατα και ο συνδρομητής, δεσμεύουν πόρους (οι πόροι στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι απαραίτητα μόνο κάποιο εύρος ζώνης αλλά μπορεί να είναι μνήμη, επεξεργαστική ισχύς κοκ)
- **ActiveQoSParamSet** : Ένα σύνολο παραμέτρων που αντικατοπτρίζουν την πραγματική υπηρεσία που παρέχεται στην συσχετιζόμενη ενεργή ροή υπηρεσίας.
- **Authorization module**: Λειτουργία του σταθμού βάσης με την οποία εγκρίνει ή αρνείται κάθε αλλαγή στις απαιτήσεις QoS και των ταξινομητών που συνδέονται με μία ροή υπηρεσίας.

Οι διάφορες ροές υπηρεσίας που υπάρχουν σε ένα WiMAX δίκτυο, ομαδοποιούνται συνήθως σε κλάσεις ροών υπηρεσίας (service flow classes), κάθε μία από τις οποίες ταυτοποιείται από ένα μοναδικό σύνολο QoS απαιτήσεων. Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει τις οντότητες των υψηλότερων επιπέδων των κινητών σταθμών και των σταθμών βάσης να απαιτήσουν παραμέτρους QoS σε παγκόσμιο επίπεδο. Το WiMAX δεν προσδιορίζει ρητά τις κλάσεις ροών υπηρεσίας. Αντίθετα αφήνεται στους ίδιους τους κατασκευαστές να προσδιορίσουν τις ροές υπηρεσίας και τις κλάσεις ροών υπηρεσίας έτσι ώστε να έχουν τον πλήρη έλεγχο στη διαχείριση του QoS σε όλες τις εφαρμογές. Σε γενικές γραμμές, οι υπηρεσίες που απαιτούν διαφορετικές QoS υπηρεσίες, όπως VoIP, Web browsing, e-mail, συνδέονται συνήθως με διαφορετικές κλάσεις ροών υπηρεσίας.

5.8 Εφαρμογές WiMAX

Ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet: Οι ενσύρματες συνδέσεις DSL έχουν εδραιωθεί στην αγορά για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης του τελευταίου μιλίου σε κατοικήσιμες περιοχές και σε σπίτια όπως και σε μικρές επιχειρήσεις, ικανοποιώντας τις ανάγκες των χρηστών για ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet. Το WiMAX και ειδικότερα ένας σταθμός βάσης WiMAX, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου οι ενσύρματες εγκαταστάσεις δεν μπορούν να είναι διαθέσιμες. Η δυνατότητα του WiMAX να εξυπηρετεί περιοχές που άλλες τεχνολογίες δεν μπορούν, παρέχουν αξιοπιστία προς τους πελάτες, οι οποίοι το μόνο που πρέπει να κάνουν είναι να συνδεθούν σε έναν σταθμό βάσης WiMAX.

Οι ευρυζωνικές υπηρεσίες περιλαμβάνουν πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων στο Internet, τηλεφωνικές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας VoIP καθώς και άλλες

εφαρμογές που βασίζονται στο Internet. Οι σταθερές ασύρματες συνδέσεις που παρέχει το WiMAX έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές ενσύρματες λύσεις. Τα πλεονεκτήματα αυτά περιλαμβάνουν χαμηλό κόστος εγκατάστασης, ταχύτερη και ευκολότερη εγκατάσταση, χαμηλότερο κόστος συντήρησης, διαχείρισης και την λειτουργία του δικτύου.

Backhaul συνδέσεις: Η δυνατότητα των σταθμών βάσης WiMAX να συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργώντας backhaul συνδέσεις, παρέχει κάλυψη σε μία ευρεία περιοχή, προσφέροντας πρόσβαση στο Internet ακόμη και σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές.

Backhaul για WiFi hotspots: Η ανάπτυξη των WiFi hotspots αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια. Τα περισσότερα WiFi hotspots χρησιμοποιούν ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση για την παροχή ασύρματης πρόσβασης στο Internet. Το WiMAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία ταχύτερη και φθηνότερη εναλλακτική λύση από την ενσύρματη ευρυζωνική backhaul σύνδεση, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες μετάδοσης point to multipoint που διαθέτει.

Συνδεσιμότητα σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις: Η δυνατότητα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης που παρέχει το WiMAX είναι η κατάλληλη τεχνολογία για την ικανοποίηση των αναγκών των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων, καθώς προσελκύει πελάτες με διάφορα είδη υπηρεσιών, όπως hotspots, με συνέπεια την ολοένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη των επιχειρήσεων αυτών.[26][27]

5.9 Σύγκριση WiMAX και WiFi

Τα πρότυπα WiMAX και WiFi, αν και σχεδιάστηκαν για παροχή ασύρματων επικοινωνιών υψηλού εύρους ζώνης, λύνουν διαφορετικά προβλήματα. Οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ τους επικεντρώνονται στα εξής:

Εμβέλεια: Η τεχνολογία WiFi παρέχει πρόσβαση σε τοπικά δίκτυα με εμβέλεια το πολύ 100m και ταχύτητα μετάδοσης που ξεπερνάει τα 100Mbps. Αντίθετα, μία μόνο κεραία WiMAX έχει εμβέλεια πάνω από 10Km προσφέροντας ταχύτητα μετάδοσης περισσότερο από 70Mbps. Κατά συνέπεια η τεχνολογία WiMAX μπορεί να προσφέρει πρόσβαση στο Internet στα τοπικά WiFi δίκτυα.

Επεκτασιμότητα: Το WiFi υποστηρίζει LAN εφαρμογές και δεκάδες χρήστες, με κάθε χρήστη να έχει την δική του CPE (Customer Premise Equipment) και με σταθερό μέγεθος καναλιού στα 20MHz. Το WiMAX από την άλλη μεριά, σχεδιάστηκε για την αποτελεσματική υποστήριξη εκατοντάδων CPEs, με κάθε

CPE να εξυπηρετεί απεριόριστο αριθμό χρηστών. Επίσης στο WiMAX παρέχεται ευελιξία όσον αφορά το μέγεθος των καναλιών, το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 1,5 μέχρι 20MHz.

Ρυθμός μετάδοσης: Το WiFi λειτουργεί στα 2,7bps/Hz και μπορεί να πετύχει ταχύτητα μέχρι και 54Mbps σε κανάλι των 20MHz, ενώ το WiMAX λειτουργεί στα 5bps/Hz και μπορεί να πετύχει ταχύτητα μέχρι και 100Mbps σε κανάλι των 20MHz.

Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS): Το WiFi δεν εγγυάται υπηρεσίες QoS, ενώ το WiMAX παρέχει διάφορα επίπεδα QoS.[28]

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει συνοπτικά τις διαφορές των δύο προτύπων.

Πίνακας 5.2 Σύγκριση WiMAX και WiFi

Χαρακτηριστικά	WiMAX	WiFi
Εφαρμογή	Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση	Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα
Φάσμα συχνοτήτων	2-11GHz (αδειοδοτούμενες και μη)	2,4GHz και 5GHz
Half/Full Duplex	Full	Half
Φυσικό Επίπεδο	OFDM (256 υποφέρουσες)	DSSS
Εύρος καναλιού	Μεταβλητό από 1,25 μέχρι 20MHz	25MHz
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 16-, 64-, 256-QAM	QPSK
FEC	Convolutional Code Reed Solomon	Καμία
Κινητικότητα	Mobile WiMAX (802.16e)	Υπό εξέλιξη
Μηχανισμός πρόσβασης	Request/Grant	CSMA/CA
Αποδοτικότητα εύρους ζώνης	≤ 5 bps/Hz	$\leq 0,44$ bps/Hz
Κρυπτογράφηση	Υποχρεωτική – 3DES Προαιρετική - AES	Προαιρετική - RC4

5.10 Μειονεκτήματα του WiMAX

Το WiMAX παρόλα τα προτερήματα του, παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία συνοπτικά είναι:

Απαραίτητη οπτική επαφή για μεγαλύτερες αποστάσεις: Όταν υπάρχει οπτική επαφή, η ταχύτητα μετάδοσης φθάνει τα 10Mbps σε απόσταση 10km από τον σταθμό βάσης, ενώ όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή η ταχύτητα φθάνει τα 10Mbps μόνο μέχρι 2km απόσταση από τον σταθμό βάσης και όσο αυξάνει η απόσταση μειώνεται η ταχύτητα.

Εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες: Οι καιρικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα η βροχή μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές στο μεταδιδόμενο σήμα.

Διαμοιραζόμενο εύρος ζώνης: Το εύρος ζώνης μοιράζεται μεταξύ των πελατών σε μία συγκεκριμένη ζώνη. Αν υπάρχουν πολλοί χρήστες σε μία περιοχή, η ταχύτητα μετάδοσης μειώνεται σε 2, 4, 6, 8, 10Mbps από το μοιραζόμενο εύρος ζώνης.

Παρεμβολές από άλλες συσκευές: Το σήμα μετάδοσης σε ένα WiMAX μπορεί να υποστεί παρεμβολές από άλλες ασύρματες συσκευές, με συνέπεια να επηρεαστούν τα εκπεμπόμενα δεδομένα ή να επηρεαστεί η ταχύτητα μετάδοσης.

Υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας: Ένα δίκτυο WiMAX αποτελείται από μία μεγάλη υποδομή εγκαταστάσεων, όπως τους πύργους και τις κεραίες, με συνέπεια να καθίσταται συλλογικά ένα δίκτυο υψηλών δαπανών.

Κατανάλωση ενέργειας: Το WiMAX απαιτεί χρειάζεται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας λόγω της βαριάς υποδομής του, με συνέπεια να απαιτεί μεγάλη ενεργειακή υποστήριξη.[29]

Βιβλιογραφία

- Tanenbaum A. S., *Δίκτυα Υπολογιστών*, Τέταρτη αμερικανική έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- Stallings W., *Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα*, Εκδόσεις Τζιόλα
- Andrews J. G., Ghosh A., Muhamed R., *Fundamentals of WiMAX*, Prentice Hall
- Al-Adwany M. A. S., *A Performance Study of Wireless Broadband Access (WiMAX)*, Department of Computer & Information Engineering, College of Electronics Engineering, Ανακτήθηκε από: <http://www.ijeee.org/volums/volume7/IJEEE7PDF/Paper723.pdf>

Δικτυακοί τόποι

- Wireless LAN, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN
- Ασύρματο δίκτυο, ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ - Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Ανακτήθηκε από: http://el.wikipedia.org/wiki/Ασύρματο_δίκτυο
- Bluetooth, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- Bluetooth, ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ - Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, Ανακτήθηκε από: <http://el.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- HomeRF, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: <http://en.wikipedia.org/wiki/HomeRF>
- Technical Summary of the SWAP Specification, palowireless, Ανακτήθηκε από: <http://www.palowireless.com/homerf/docs/hrfwgtec.zip>
- Wireless Networking Choices for the Broadband Internet Home, palowireless, Ανακτήθηκε από: http://www.palowireless.com/homerf/docs/homerfbroadband_whitepaper.zip
- Rune T. , *High Performance LAN*, Wireless Communication, Ανακτήθηκε από: <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr01/wrlslans/hiperlan.htm>
- IEEE 802.11, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- Frequency Hopping Spread Spectrum Radio, Wireless Center, Ανακτήθηκε από: <http://www.wireless-center.net/WLANs-WPANs/1380.html>

- Direct-sequence spread spectrum, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: http://en.wikipedia.org/wiki/Direct-sequence_spread_spectrum
- 802.11a :5-GHz OFDM, Computer Network laboratory, Ανακτήθηκε από: http://netlab18.cis.nctu.edu.tw/html/wlan_course/powerpoint/chap-11.pdf
- 802.11a Wireless LAN, VOCAL Technologies, Ανακτήθηκε από: http://www.vocal.com/redirect/802_11a.html
- Villanen J., *802.11 a/g OFDM PHY*, 802.11 wireless networks, Ανακτήθηκε από: <http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004slides/topic15.pdf>
- 802.11 PHY layers, Ανακτήθηκε από: http://media.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/CWAP_ch8.pdf
- Neelakantham, P. K., *Wireless Networking Study of IEEE 802.11 Specification*, Ανακτήθηκε από: http://www30.homepage.villanova.edu/phani.neelakantham/Comm_Nets/Wireless_Networking_802.11.htm
- WiMAX IEEE 802.16 technology tutorial, Radio-Electronics.com, Ανακτήθηκε από: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax>
- WiMAX Tutorial, TUTORIALS POINT, Ανακτήθηκε από: <http://www.tutorialspoint.com/wimax>
- WiMAX, WiFiNotes, Ανακτήθηκε από: <http://www.wifinotes.com/wimax/>

Αναφορές

- [1] Advantages and Disadvantages of WLANs, Wireless Center - All Wireless Articles, Ανακτήθηκε από: <http://www.wireless-center.net/Wi-Fi-Security/Advantages-and-Disadvantages-of-WLANs.html>
- [2] Exposed node problem, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: http://en.wikipedia.org/wiki/Exposed_node_problem
- [3] Hidden node problem, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: http://en.wikipedia.org/wiki/Hidden_node_problem
- [4] Multipath propagation, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: http://en.wikipedia.org/wiki/Multipath_propagation

[5] Bluetooth Advantages – Why Use Bluetooth?, BlueTomorrow.com, Ανακτήθηκε από: <http://www.bluetomorrow.com/about-bluetooth-technology/general-bluetooth-information/bluetooth-advantages.html>

[6] Advantages and Disadvantages of using Bluetooth technology, HubPages, Ανακτήθηκε από: <http://hubpages.com/hub/Advantages-And-Disadvantages-of-using-Bluetooth-technology>

[7] Technical Summary of the SWAP Specification, palowireless, Ανακτήθηκε από: <http://www.palowireless.com/homerf/docs/hrfwgtec.zip>

[8] HiperLAN, WIKIPEDIA - The Free Encyclopedia, Ανακτήθηκε από: <http://en.wikipedia.org/wiki/HiperLAN>

[9] Wireless Standards - 802.11b 802.11a 802.11g and 802.11n, About.com, Ανακτήθηκε από: <http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard.htm>

[10] Wiegandt D. A., Wu Z., Nassar C. R., *High-performance, high-throughput IEEE 802.11 DSSS WLAN via carrier-interferometry chip-shaping*, IEEE Xplore, Ανακτήθηκε από: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=979438>

[11] IEEE 802.11b Wireless LANs, 3COM, Ανακτήθηκε από: http://www.3com.com/other/pdfs/infra/corpinfo/en_US/50307201.pdf

[12] What is the big deal about 802.11n?, TechRepublic, Ανακτήθηκε από: <http://www.techrepublic.com/blog/wireless/what-is-the-big-deal-about-80211n/160>

[13] Stallings W., *Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα*, Εκδόσεις Τζιόλα, σελ 596 - 601.

[14] Brenner P., *A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol*, BREEZECOM Wireless Communications, Ανακτήθηκε από: http://www.sss-mag.com/pdf/802_11tut.pdf

[15] Wu H., Cheng S., Peng Y., Long K., Ma J. *IEEE 802.11 Distributed Coordination Function (DCF): Analysis and Enhancement*, Ανακτήθηκε από: http://www.cs.nccu.edu.tw/~ttsai/mobilecomm_ttsai/papers/0605wu.pdf

[16] Point Coordination Function (PCF), WirelessCenter, Ανακτήθηκε από: <http://www.wireless-center.net/WLANs-WPANs/1436.html>

[17] Youssef M. A., Miller R. E., *Analyzing the Point Coordinator Function of the IEEE 802.11 WLAN Protocol using a System of the Communicating Machines*

- Specification*, Ανακτήθηκε από:
http://www.cs.umd.edu/~moustafa/papers/pcf_tr.pdf
- [18] Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα – William Stallings, σελ 595 - 596.
- [19] Hu C., Kim H., Hou J. C., *An Analysis of the Binary Exponential Backoff Algorithm in Distributed MAC Protocols*, Ανακτήθηκε από:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.113.7982&rep=rep1&type=pdf>
- [20] IEEE 802.16 WiMAX Standards, Radio-Electronics.com, Ανακτήθηκε από:
<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/ieee-802-16-standards.php>
- [21] WiMAX Salient Features, Tutorials Point, Ανακτήθηκε από:
http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_salient_features.htm
- [22] Features of WiMAX Technology, FreeWiMAXinfo.com, Ανακτήθηκε από:
<http://www.freewimaxinfo.com/wimax-features.html>
- [23] WiMAX Reference Network Model, Tutorials Point, Ανακτήθηκε από:
http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm
- [24] WiMAX Network Architecture, Radio-Electronics.com, Ανακτήθηκε από:
<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/network-architecture.php>
- [25] Ergen M., *Mobile Broadband: Including WiMAX and LTE*, SpringerLink, Ανακτήθηκε από:
<http://www.springerlink.com/content/tw4413325v241747/fulltext.pdf>
- [26] WiMAX Applications – WiMAX Applications and Solutions, WiFi Notes, Ανακτήθηκε από: <http://www.wifinotes.com/wimax/wimax-applications.html>
- [27] Applications of Wimax Technology, FreeWiMAXInfo.com, Ανακτήθηκε από:
<http://www.freewimaxinfo.com/wimax-applications.html>
- [28] WiMAX and WiFi Comparison, Tutorials Point, Ανακτήθηκε από:
http://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_wifi_comparison.htm
- [29] Disadvantages of WiMAX Technology, FreeWiMAXinfo.com, Ανακτήθηκε από: <http://www.freewimaxinfo.com/wimax-disadvantages.html>