

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων»



Της φοιτήτριας
Σαουντζή Χρυσούλας
Αρ. Μητρώου: 175071

Επιβλέπων Καθηγητής
Βασίλειος Βίτσας

Σεπτέμβριος 2023

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Σαπουντζή Χρυσούλα που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η γρήγορη ανάπτυξη της χρήσης του κινητού τηλεφώνου, οι διάφορες δορυφορικές υπηρεσίες και τώρα το ασύρματο Internet προκαλούν τρομακτικές αλλαγές στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα. Τα ασύρματα δίκτυα έχουν εισβάλει σε κάθε τομέα της ζωής των ανθρώπων και έχουν αναπτυχθεί διάφορες εφαρμογές πάνω σε αυτά. Οι ασύρματες επικοινωνίες προσφέρουν σε οργανισμούς και χρήστες πολλά οφέλη, όπως φορητότητα και ευελιξία, αυξημένη παραγωγικότητα και χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης. Ακόμη είναι γεγονός ότι η εξέλιξη της Πληροφορικής ακολουθεί αλματώδεις ρυθμούς και κατά συνέπεια δημιουργούνται αυξημένες απαιτήσεις εκπαίδευσης τόσο για τους φοιτητές όσο και τους επαγγελματίες του κλάδου.

Ένα ασύρματο δίκτυο αναφέρεται σε ένα δίκτυο υπολογιστών που χρησιμοποιεί συνδέσεις ραδιοκυμάτων (Radio Frequency - RF) μεταξύ κόμβων στο δίκτυο. Τα ασύρματα δίκτυα είναι μια δημοφιλής λύση για κατοικίες και επιχειρήσεις. Πολύ σημαντική είναι επίσης, η δυνατότητα χρήσης ασυρμάτων δικτύων σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Έτσι, μπορεί κανείς να συνεχίσει να χρησιμοποιεί το ήδη υπάρχον ενσύρματο δίκτυο και ταυτόχρονα να το επεκτείνει όπου χρειάζεται με ένα ασύρματο. Επιπλέον οι άνθρωποι συχνά υποθέτουν ότι όλα τα ασύρματα δίκτυα είναι το Wi-Fi ωστόσο πολλοί θα εκπλαγούν αν ανακαλύψουν ότι αυτά τα δύο δεν είναι συνώνυμα.

Σήμερα τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπολογιστών, υλοποιούνται βασισμένα στις προδιαγραφές που ορίζει η οικογένεια πρωτοκόλλων του IEEE 802.11. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε και θα αναφέρουμε στο πως ξεκίνησαν τα ασύρματα δίκτυα, τα διάφορα είδη τους και τις κύριες εφαρμογές τους.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση και ανάλυση των Ασύρματων Δικτύων και πιο συγκεκριμένα η αρχιτεκτονική και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται καθώς και οι προδιαγραφές τους. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Παρουσιάζεται η εξέλιξη των ασύρματων τοπικών δικτύων, η αρχιτεκτονική τους, οι κατηγορίες που διακρίνονται, τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι εφαρμογές τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα κυριότερα πρότυπα των ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το Bluetooth, το Zigbee, το HomeRF, το HiPerLAN 1 και 2 και γίνεται μια σύντομη περιγραφή για όλα τα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τεχνικές διαμόρφωσης FHSS, DSSS, OFDM και Υπέρυθρες Ακτίνες στο φυσικού επιπέδου. Επιπλέον το τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενή περιγραφή στο επίπεδο έλεγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC). Επεξηγούνται βασικές έννοιες του υποεπιπέδου όπως οι χρόνοι αναμονής μέχρι να μεταδοθούν τα πλαίσια, το παράθυρο συμφόρησης, οι δύο μηχανισμοί πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης DCF και PCF. Επίσης επεξηγούνται το πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου (Hidden Node Problem) και του Εκτεθειμένου Κόμβου (Exposed Node Problem). Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γενικά χαρακτηριστικά του πρότυπο IEEE 802.16. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή και ανάλυση της τεχνολογίας Li-Fi, όπως και περιγραφή των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων της. Στο τέλος της εργασίας, αναφέρονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που προκύπτουν.

«Wireless Network Technologies»

«Chrisoula Sapountzi»

Abstract

The purpose of this thesis is the presentation and analysis of Wireless Networks and more specifically the architecture and protocols involved and their requirements. In the first chapter, an introduction to wireless local networks is given. The evolution of wireless local networks, their architecture, their categories their applications and their advantages and disadvantages are presented. In the second chapter, the main standards of wireless local networks are analyzed, such as Bluetooth, Zigbee, HomeRF, HiperLAN 1 and 2, and a brief description is made of all the standards of the IEEE 802.11 family. The third chapter describes FHSS, DSSS, OFDM and Infrared modulation techniques in the physical layer. In addition the fourth chapter gives an extensive description on the medium access control (MAC) layer. Basic concepts of digest such as waiting times until frames are transmitted, congestion window, two media access mechanisms DCF and PCF are explained. The Hidden Node Problem and the Exposed Node Problem are also explained. In the fifth chapter, reference is made to the general characteristics of the IEEE 802.16 standard. In the sixth chapter there is a description and analysis of Li-Fi technology, as well as a description of its advantages and disadvantages. At the end of the paper, the conclusions and the resulting proposals are stated.

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων, του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος (ΔΙ.Π.Α.Ε.) υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Βίτσα Βασίλειου.

Ο πρώτος άνθρωπος που θα ήθελα να ευχαριστήσω είναι ο επιβλέπων καθηγητής της εργασίας μου κ. Βίτσα Βασίλειο, για την συνεχή καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και την άμεση ανταπόκριση του σε όλα τα ζητήματα και τις απορίες που προέκυψαν.

Τέλος, ένα θερμό ευχαριστώ θα ήθελα να πω στους γονείς μου και στον αγαπημένο μου αδερφό Βάϊο για όλα όσα μου έχουν μάθει και προσφέρει στα μέχρι στιγμής χρόνια της ζωής μου καθώς και για τη διαρκή ηθική και υλική υποστήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iii
Περίληψη.....	iv
Abstract	v
Ευχαριστίες	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Εικόνων	xi
Κεφάλαιο 1ο: Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ορισμός Ασύρματων Δικτύων	1
1.3 Ιστορική Ανάδρομη.....	1
1.4 Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων	2
1.4.1 WBAN – Wireless Body Area Network (Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων σε Περιοχή του Σώματος).....	2
1.4.2 WPAN – Wireless Personal Area Networks (Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο).....	3
1.4.3 WLAN – Wireless Local Area Network (Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο).....	4
1.4.4 WMAN – Wireless Metropolitan Area Network (Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο)..	5
1.4.5 WWAN – Wireless Wide Area Network (Ασύρματο Δίκτυο Ευρείας Περιοχής).....	6
1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ασύρματης Δικτύωσης.....	6
1.6 Εφαρμογές Ασύρματων δικτύων.....	7
1.6.1 Οικιακή Χρήση.....	7
1.6.2 Εργασιακός Τομέας - Βιομηχανία.....	7
1.6.3 Τομέας Υγείας.....	8
1.6.4 Ψυχαγωγία.....	8
1.6.5 Περιπτώσεις Έκτακτης Ανάγκης.....	8
1.6.6 Εκπαίδευση.....	9
1.6.7 Στρατιωτικός Τομέας	9
1.7 Δομικά Στοιχεία	9
1.8 Επίλογος.....	11
Κεφάλαιο 2ο: Πρότυπα Ασύρματης Δικτύωσης	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Bluetooth	12
2.2.1 Ιστορική αναδρομή.....	13

2.2.2	Αρχιτεκτονική του Bluetooth.....	13
2.2.3	Τα επίπεδα των πρωτοκόλλων Bluetooth.....	14
2.2.4	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Bluetooth.....	16
2.3	Zigbee.....	17
2.3.1	Τοπολογία ZigBee.....	18
2.3.2	Επίπεδα Πρωτοκόλλου Zigbee.....	19
2.4	HomeRF	20
2.4.1	Η τοπολογία του πρότυπου HomeRF.....	21
2.4.2	Χαρακτηριστικά του HomeRF	22
2.5	HiperLAN.....	22
2.5.1	HiperLAN-1	23
2.5.2	HiperLAN-2	24
2.5.3	Δομή του πλαισίου MAC	25
2.6	Το πρότυπο IEEE 802.11	27
2.6.1	IEEE 802.11a.....	27
2.6.2	IEEE 802.11b	27
2.6.3	IEEE 802.11g	27
2.6.4	IEEE 802.11n	27
2.6.5	IEEE 802.11ac.....	28
2.7	Επίλογος.....	28
Κεφάλαιο 3ο: Φυσικό Επίπεδο Του Προτύπου IEEE 802.11		29
3.1	Εισαγωγή.....	29
3.2	Το φυσικό επίπεδο του προτύπου IEEE 802.11	29
3.3	Διασπορά Φάσματος (Spread Spectrum)	31
3.4	Διασπορά φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum - FS ή FHSS).....	31
3.4.1	Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση FHSS.....	32
3.5	Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS).....	33
3.5.1	Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση DSSS.....	34
3.6	Σύγκριση DSSS-FHSS	35
3.7	Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM).....	35
3.7.1	Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση OFDM.....	36
3.8	Υπέρυθρες Ακτίνες (Infrared - IR).....	37
3.9	Επίλογος.....	38

Κεφάλαιο 4ο: Το MAC επίπεδο του προτύπου IEEE 802.11	39
4.1 Εισαγωγή.....	39
4.2 Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο του IEEE 802.11 (MAC Layer)	39
4.3 Δομή πλαισίων MAC	39
4.4 Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσου.....	41
4.5 Χρονικά Διαστήματα Πρόσβασης.....	42
4.6 Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος	43
4.7 Κατανεμημένη Συνάρτηση Συντονισμού (Distributed Coordination Function - DCF)	43
4.8 Λειτουργία του DCF με την χρήση RTS/CTS	45
4.9 Σημειακή Συνάρτηση Συντονισμού (Point Coordination Function -PCF).....	46
4.10 Η τεχνική του τεμαχισμού (Fragmentation).....	46
4.11 Το πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου (Hidden Node Problem) και του Εκτεθειμένου Κόμβου (Exposed Node Problem)	47
4.12 Υπηρεσίες του προτύπου IEEE 802.11	50
4.13 Επίλογος.....	51
Κεφάλαιο 5ο: Το πρότυπο IEEE 802.16	52
5.1 Εισαγωγή.....	52
5.2 Γενικά Χαρακτηριστικά	52
5.3 Οικογένεια Προτύπων IEEE 802.16	54
5.4 Αρχιτεκτονική WiMAX Δικτύου.....	55
5.5 Φυσικό Επίπεδο.....	56
5.6 Διαχείριση Πόρων	58
5.7 Επίπεδο MAC.....	59
5.8 Σύγκριση WiMAX και WiFi.....	60
5.9 Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας.....	63
5.10 Επίλογος.....	63
Κεφάλαιο 6ο: Li-Fi (Light Fidelity) Technology	64
6.1 Εισαγωγή.....	64
6.2 Light Fidelity Li-Fi.....	64
6.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος Li-Fi	64
6.4 Πλεονεκτήματα, Μειονεκτήματα και Εφαρμογές Li-Fi.....	66
6.5 Επίλογος.....	67
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Ιδέες.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1: Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων.....	2
Εικόνα 1.2: Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων Σώματος.....	3
Εικόνα 1.3: Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο	4
Εικόνα 1.4: Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο	5
Εικόνα 1.5: Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο	5
Εικόνα 1.6: Ασύρματο Δίκτυο Ευρείας Περιοχής	6
Εικόνα 1.7: Ορισμένες εφαρμογές ασύρματων δικτύων.....	9
Εικόνα 1.8: Ανεξάρτητο Δίκτυο.....	10
Εικόνα 1.9: Δίκτυο Υποδομής.....	11
Εικόνα 2.1: Bluetooth Version.....	13
Εικόνα 2.2: Δομή ενός δικτύου Bluetooth	14
Εικόνα 2.3: Στοιβάς πρωτοκόλλων Bluetooth	16
Εικόνα 2.4: Τοπολογίες δικτύων	19
Εικόνα 2.5: Πρωτόκολλο Zigbee	20
Εικόνα 2.6: Τοπολογία δικτύου SWAP.....	21
Εικόνα 2.7: Τα επίπεδα δικτύου του HomeRF.....	22
Εικόνα 2.8: Συνοπτική απεικόνιση των τύπων του προτύπου HiperLan	23
Εικόνα 2.9: Αρχιτεκτονική του προτύπου.....	24
Εικόνα 2.10: Λειτουργία του φυσικού στρώματος HIPERLAN-2	25
Εικόνα 2.11 Δομή του πλαισίου MAC του HIPERLAN-2	26
Εικόνα 3.1: Μοντέλο αναφοράς OSI	29
Εικόνα 3.2: Επίπεδα του προτύπου 802.11	30
Εικόνα 3.3: Εξάπλωση ενός σήματος στενής ζώνης με την τεχνική διασποράς φάσματος.....	31
Εικόνα 3.4: Παράδειγμα Frequency hopping.....	32
Εικόνα 3.5: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα FHSS.....	33
Εικόνα 3.6: Παράδειγμα DSSS	34
Εικόνα 3.7: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα DSSS	35
Εικόνα 3.8: Εξοικονόμηση φάσματος OFDM σε σχέση με FDM	36
Εικόνα 3.9: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα OFDM.....	37
Εικόνα 3.10: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα με υπέρυθρες ακτίνες	38
Εικόνα 4.1: Τυποποιημένη μορφή πλαισίου IEEE 802.11.....	41
Εικόνα 4.2: Αρχιτεκτονική του επιπέδου MAC.....	42
Εικόνα 4.3: Τιμές των χρόνων αναμονής σε κάθε σύστημα μετάδοσης ανάλογα με το φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιείται.	42
Εικόνα 4.4: Λειτουργία του DCF	44
Εικόνα 4.5: Αποστολή RTS/CTS/data/ACK και καθορισμός του NAV	45
Εικόνα 4.6: Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου.....	48
Εικόνα 4.7: Χειραγία RTS/CTS	48
Εικόνα 4.8: Διάρκεια RTS/CTS	49
Εικόνα 4.9: Το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου	49
Εικόνα 4.10: Το RTS/CTS δεν λύνει το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου	50
Εικόνα 5.1: Διάδοση οπτικής επαφής LOS.....	52
Εικόνα 5.2: Αποστάσεις επικοινωνίας σε PTP και PMP μετάδοση.....	53
Εικόνα 5.3: Τοπολογία πρόσβασης WiMAX.....	54

Εικόνα 5.4: Εξέλιξη του Προτύπου IEEE 802.16	55
Εικόνα 5.5: Μοντέλο αναφοράς OSI όπου το WiMAX όρισε μόνο τα δύο πρώτα επίπεδα.....	56
Εικόνα 5.6: Προσαρμόσιμη Διαμόρφωση.....	57
Εικόνα 5.7: Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος.....	58
Εικόνα 5.8: Χαρακτηριστικά αλγορίθμων	58
Εικόνα 5.9: Τα υπο-επίπεδα του MAC Layer	60
Εικόνα 5.10: Σύγκριση εμβέλειας δικτύων Wimax και WiFi.....	61
Εικόνα 5.11: Ζώνες συχνοτήτων Wimax	62
Εικόνα 6.1: Διάγραμμα του υποσυστήματος Li-Fi	65
Εικόνα 6.2: Σύστημα Li-Fi που συνδέει συσκευές σε ένα δωμάτιο.....	65
Εικόνα 6.3: Σύγκριση μεταξύ WI-FI και LI-FI.....	66

Κεφάλαιο 1ο: Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα

1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό. Η εξέλιξη αυτή έχει επηρεάσει τον τρόπο ζωής μας. Τα ασύρματα LAN είναι ένα απαραίτητο συμπλήρωμα στα παραδοσιακά ενσύρματα LAN, για να ικανοποιήσουν απαιτήσεις όπως η κινητικότητα, η μετεγκατάσταση και κάλυψη τοποθεσιών που είναι δύσκολο να καλωδιωθούν. Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή και αναλύονται η κατηγορίες των ασύρματων δικτύων. Ακόμα περιγράφονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους καθώς και η εφαρμογές τους.

1.2 Ορισμός Ασύρματων Δικτύων

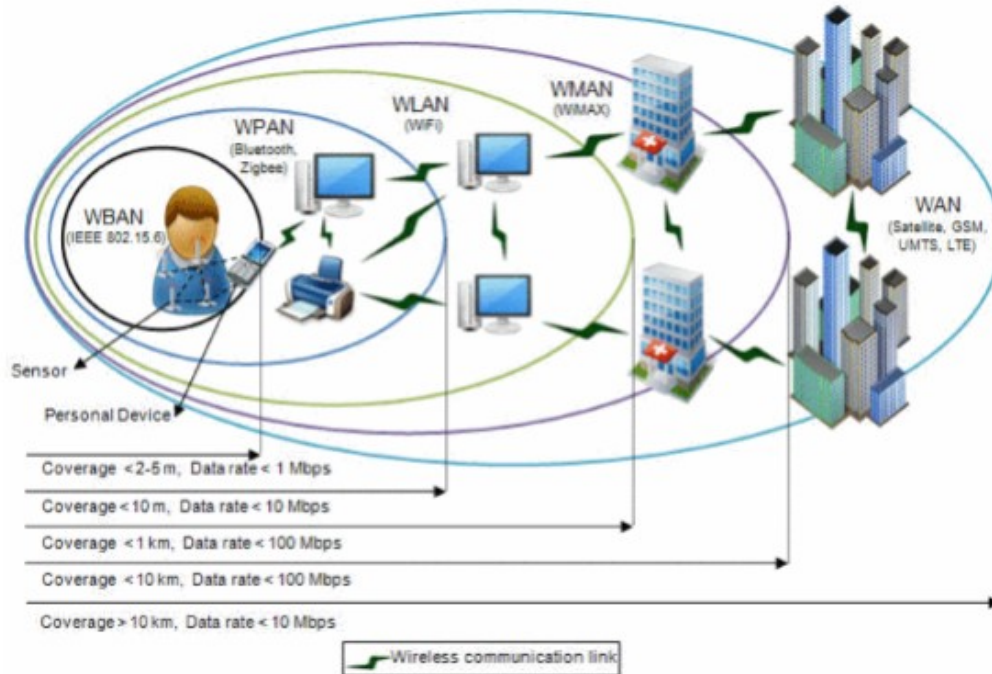
Είναι γεγονός ότι τα Ασύρματα δίκτυα έχουν ξεκινήσει μια νέα επανάσταση στη βιομηχανία της πληροφορίας. Ένα ασύρματο δίκτυο είναι ένα δίκτυο το οποίο δεν χρησιμοποιεί καλώδια για τις συνδέσεις των διαφόρων συσκευών που δικτυώνονται σε αυτό. Για την μετάδοση χρησιμοποιούνται ειδικά διαμορφωμένα ραδιοκυματικά σήματα ή οπτικά ή υπέρυθρα τα οποία μεταδίδονται μέσω του αέρα.[1] Οι τύποι ασύρματων δικτύων ως προς την γεωγραφική κάλυψη είναι τα Ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα Ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα Ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). [2]

1.3 Ιστορική Ανάδρομη

Η ασύρματη δικτύωση βρίσκει τις ρίζες της στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Το 1971, το Πανεπιστήμιο της Χαβάης παρουσίασε το πρώτο ασύρματο δίκτυο. Ο Norman Abramson ανέπτυξε το ερευνητικό πρόγραμμα ALOHAnet, ένα ραδιοδίκτυο πακέτων, το οποίο επέτρεπε στους υπολογιστές της πανεπιστημιούπολης της Χαβάης που εκτίνονταν σε τέσσερα νησιά να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο Vic Hayes, που ονομάστηκε «πατέρας του Wi-Fi», άρχισε να εργάζεται για την τεχνολογία σήμερα γνωστή ως WaveLAN κάτω από την ομπρέλα της NCR Corporation το 1974, οδηγώντας έτσι την ανάπτυξη του Wi-Fi. Επιπλέον το Μάιο του 1985, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών των Η.Π.Α (FCC) ανακοινώσε εξουσιοδοτημένες ασύρματες ζώνες χωρίς άδεια. Η ζώνη ISM ήταν πολύ ελκυστική για τους προμηθευτές ασύρματου LAN αφού δεν χρειαζόταν να αποκτήσει FCC άδεια λειτουργίας. Το 1991, η AT&T Corporation και η NCR Corporation εφηύρε τον πρόδρομο του 802.11, που προοριζόταν για χρήση σε συστήματα ταμείου. Το 1991 ιδρύθηκε η πρώτη ομάδα IEEE που δημιούργησε την πρώτη έκδοση του προτύπου IEEE 802.11 Οι πρώτες συσκευές λειτουργούσαν σύμφωνα με το πρότυπο pre-802.11, αλλά δεν ήταν συμβατές με το μεταγενέστερο πρότυπο IEEE. Το IEEE 802.11 επικυρώθηκε το 1997 και παρέχει ταχύτητες σύνδεσης έως και 2 Mbit/s. Το IEEE 802.11a και IEEE 802.11b εμφανίστηκαν το 1999 έχοντας καλύτερες διαμορφώσεις προσέφεραν καλύτερες ταχύτητες. Ακολούθησε το 802.11g το 2003 και το 802.11n το 2009. Το όνομα Wi-Fi που χρησιμοποιείται από τον Αύγουστο του 1999, και που είναι γνωστό μέχρι σήμερα είναι της Wi-Fi Alliance το οποίο χρησιμοποιείται από τους κατασκευαστές σε πιστοποιημένα προϊόντα τα οποία αναπτύχθηκαν για ασύρματα τοπικά δίκτυα και λειτουργούν βάσει του 802.11 προτύπου. Εξαιτίας της στενής του σχέσης με το 802.11, ο όρος Wi-Fi πολλές φορές χρησιμοποιείται σαν συνώνυμο της τεχνολογίας 802.11. [3]

1.4 Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων

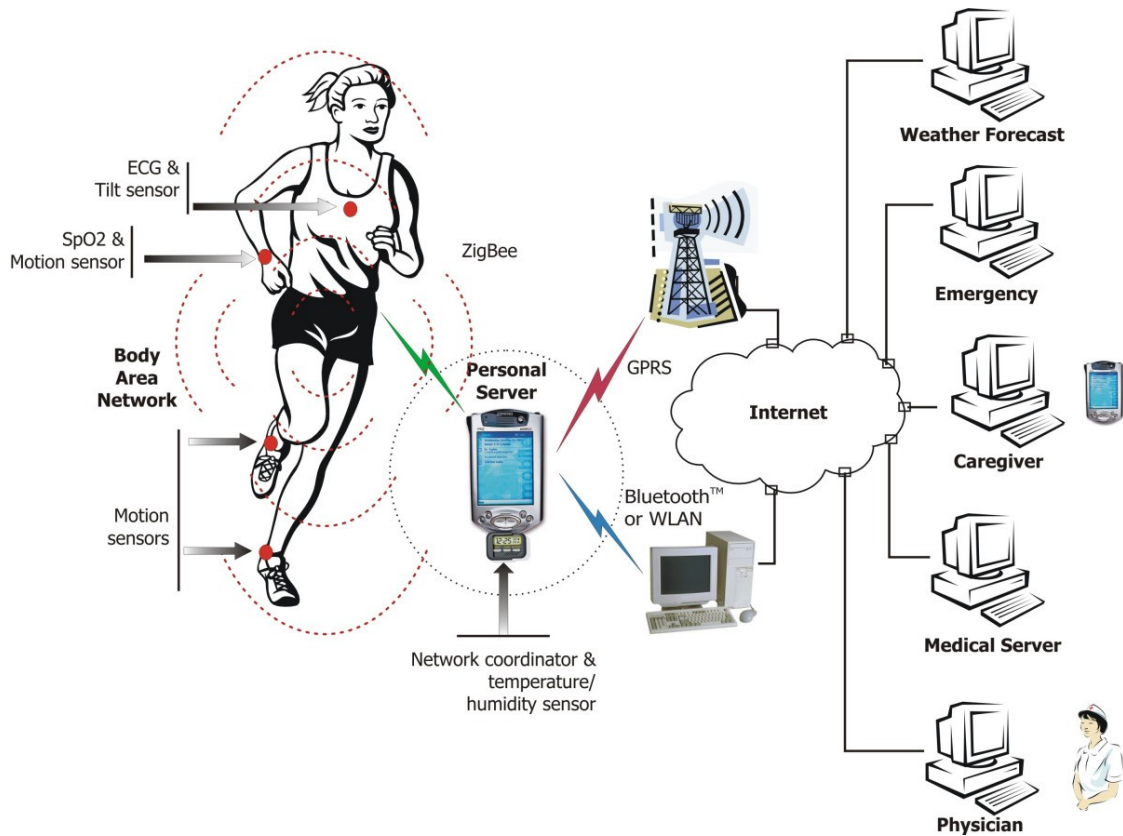
Όπως προαναφέραμε τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε συγκεκριμένες ομάδες ανάλογα με την περιοχή της εφαρμογής και του εύρους σήματος που καλύπτουν όπως διακρίνουμε στην Εικόνα 1.1. Παρακάτω αναλύουμε τις κατηγορίες αυτές.



Εικόνα 1.1: Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων [2]

1.4.1 WBAN – Wireless Body Area Network (Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων σε Περιοχή του Σώματος)

Είναι ένα δίκτυο αισθητήρων ειδικού σκοπού σχεδιασμένο να λειτουργεί αυτόνομα για να συνδέει διάφορους ιατρικούς αισθητήρες και συσκευές, που βρίσκονται μέσα και έξω από ένα ανθρώπινο σώμα όπως παρατηρούμε στην επομένη εικόνα. Η εισαγωγή ενός WBAN για ιατρική παρακολούθηση προσφέρει ευελιξίες και επιλογές εξοικονόμησης κόστους τόσο στους επαγγελματίες υγείας όσο και στους ασθενείς. Ένα σύστημα WBAN μπορεί να προσφέρει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα πρώτον λόγω της φορητότητας ένας ασθενής δεν χρειάζεται να μείνει στο κρεβάτι, αλλά μπορεί να κινείται ελεύθερα στο δωμάτιο ή ακόμη και να φύγει από το νοσοκομείο για λίγο με αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας ζωής του ασθενούς και δεύτερον τα δεδομένα που συλλέγονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα προσφέρουν πιο χρήσιμες πληροφορίες, επιτρέποντας μια πιο ακριβή και μερικές φορές ακόμη πιο γρήγορη διάγνωση. [4]



Εικόνα 1.2: Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων Σώματος [4]

1.4.2 WPAN – Wireless Personal Area Networks (Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο)

Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα καλύπτουν απόσταση μέχρι 100 μέτρων γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που χρειάζονται μικρή εμβέλεια. Τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα συνήθως χρησιμοποιούνται για να διασυνδέουν έναν προσωπικό υπολογιστή με τα διάφορα περιφερειακά του, όπως πληκτρολόγιο, ποντίκι, εκτυπωτή και πολλές ακόμα συσκευές όπως παρατηρούμε την Εικόνα 1.3. Αυτά τα δίκτυα χαρακτηρίζονται από χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και χαμηλό ρυθμό μετάδοσης bit. Τέτοιου είδους γνώστες τεχνολογίες είναι το Bluetooth και το ZigBee. Από την άποψη της εφαρμογής, το Bluetooth είναι το πρότυπο με τη μεγαλύτερη αποδοχή για τέτοιες συνδέσεις όπως πχ. ακουστικά hands-free και scanner κτλ. ενώ το ZigBee έχει σχεδιαστεί για αξιόπιστα ασύρματα δίκτυα παρακολούθησης και ελέγχου.



Εικόνα 1.3: Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο [5]

1.4.2.1 Bluetooth

Το Bluetooth αντιστοιχεί στο πρότυπο IEEE 802.15.1. Είναι στην ουσία μία τεχνολογία «υποκατάστασης καλωδίου» χαμηλής ισχύος, μικρής εμβέλειας και χαμηλού κόστους. [6]

- Συχνότητες : 2.4 GHz
- Εύρος : Περίπου 10-100 μέτρα
- Τιμές δεδομένων : 1 Mbps

1.4.2.2 ZigBee

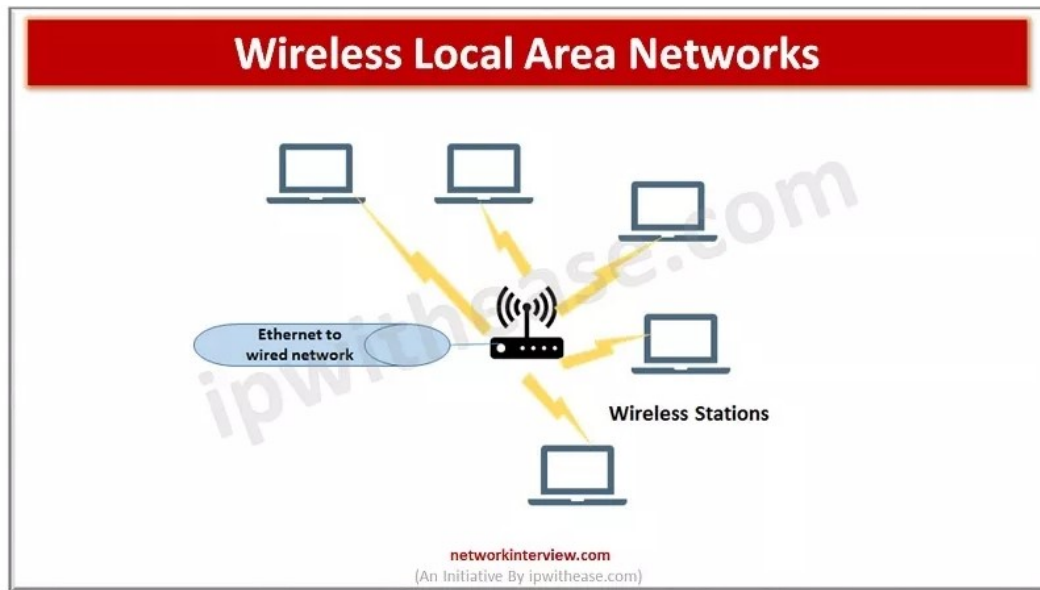
Δεύτερο σημαντικό πρότυπο είναι το 802.14.5. Έχει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα σε συστήματα που προσφέρουν λειτουργία χαμηλής ισχύος, χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων, υψηλή ασφάλεια, ανθεκτικότητα και υψηλή επεκτασιμότητα καθώς είναι σε θέση να εκμεταλλευτείτε τον ασύρματο έλεγχο. Έχει σχεδιαστεί ειδικά για βιομηχανικούς χώρους όπου απαιτείται χαμηλή ισχύς και λιγότερη για το δίκτυο των καταναλωτών.

- Συχνότητες : 2.4 Ghz
- Εύρος : Περίπου 10-100 μέτρα
- Τιμές δεδομένων : 250 kbps

1.4.3 WLAN – Wireless Local Area Network (Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο)

Τοπικά είναι τα δίκτυα εκείνα όπου όλα τα στοιχεία που τα απαρτίζουν όπως οι υπολογιστές, οι επικοινωνιακές συσκευές οι διασυνδέσεις και οι γραμμές, βρίσκονται στον ίδιο γεωγραφικό χώρο. Συνήθως όλοι οι υπολογιστές σε ένα δίκτυο LAN είναι συνδεδεμένοι σε ένα κοινό μέσο μετάδοσης όπως φαίνεται την Εικόνα 1.4. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ασύρματη πρόσβαση σε περιοχές με τυπική εμβέλεια έως 100 μέτρα και χρησιμοποιούνται κυρίως στο σπίτι, στο σχολείο, εργαστήριο υπολογιστών ή περιβάλλοντα γραφείου. Αυτό δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα την ανταλλαγή πληροφοριών και την κοινή χρήση αρχείων και δεδομένων. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των σταθμών:

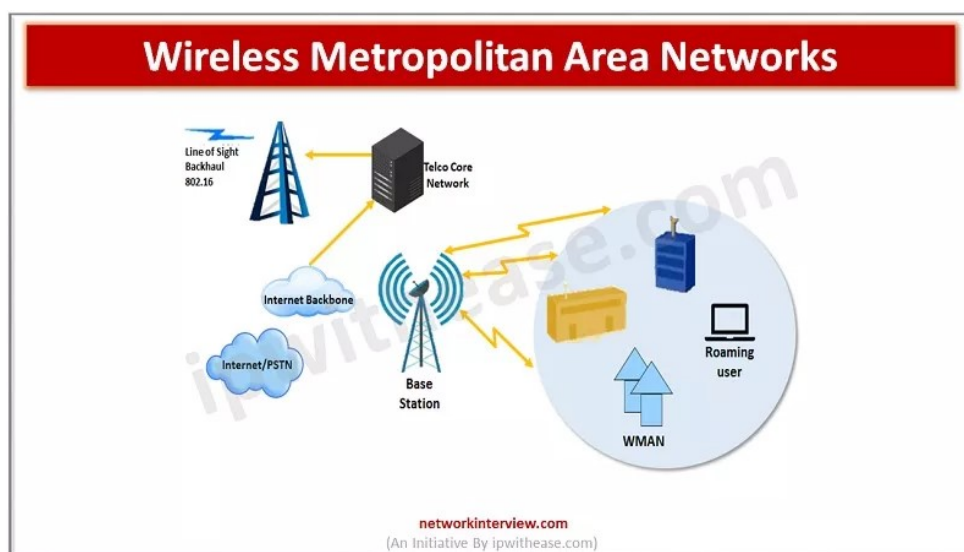
- Δίκτυο peer-to-peer, γνωστό και ως ad hoc δίκτυο
- Δίκτυο με access point [7]



Εικόνα 1.4: Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο [5]

1.4.4 WMAN – Wireless Metropolitan Area Network (Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο)

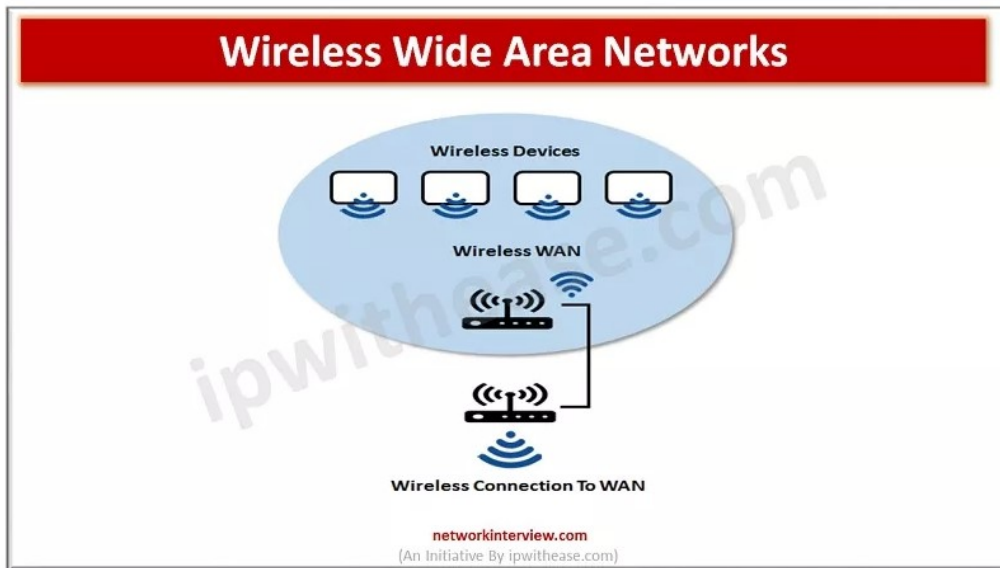
Τα Μητροπολιτικά δίκτυα εξυπηρετούν τα όρια μιας πόλης. Τα WMAN βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.16 το οποίο συχνά καλείται WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Το WiMax είναι ένα ευρυζωνικό ασύρματο μητροπολιτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα που προσφέρει πρόσβαση σε δίκτυα δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Δημιουργήθηκε το 2001 και καλύπτει αποστάσεις μέχρι 50 Km σε συχνότητες 10-66GHz. Το WiMAX μπορεί να λειτουργήσει με οπτική και μη οπτική επαφή. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ένα WMAN.



Εικόνα 1.5: Ασύρματο Μητροπολιτικό Δίκτυο [5]

1.4.5 WWAN – Wireless Wide Area Network (Ασύρματο Δίκτυο Ευρείας Περιοχής)

Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής είναι ένα σύνολο υπολογιστών που εκτείνονται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή και δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι τα διάφορα τραπεζικά, τα δημόσια δίκτυα δεδομένων και τα των αεροπορικών εταιρειών που εκτείνονται διεθνώς. Το μεγαλύτερο διαδίκτυο είναι το Internet. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μια ασύρματη σύνδεση στο δίκτυο ευρείας περιοχής.



Εικόνα 1.6: Ασύρματο Δίκτυο Ευρείας Περιοχής [5]

1.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ασύρματης Δικτύωσης

Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων υπήρξε ραγδαία. Οι ευελιξίες που παρέχουν τα ασύρματα τοπικά δίκτυα έχει δώσει τεράστια ώθηση στην εξάπλωσή τους. Η πλειονότητα των υπολογιστών που πωλούνται στους καταναλωτές σήμερα είναι εξοπλισμένοι με όλη την απαραίτητη τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης. Τα πλεονεκτήματα του WLAN είναι: [8]

- Το κόστος των ασύρματων δικτύων είναι σημαντικά μικρότερο σε σύγκριση με τα ενσύρματα δίκτυα διότι τα καλώδια είναι πιο ακριβά και χρειάζονται συντήρηση.
- Η εγκατάσταση αυτών των ασύρματων δικτύων είναι αρκετά απλή και οι χρήστες δεν χρειάζονται καμία επαγγελματική καθοδήγηση. Επιπλέον η προσθήκη ή η αφαίρεση οποιουδήποτε χρήστη είναι αρκετά απλή.
- Παρέχει υψηλό ρυθμό δεδομένων λόγω μικρής κάλυψης περιοχής.
- Το WLAN μπορεί να είναι χρήσιμο σε καταστάσεις καταστροφών, π.χ. σεισμό και πυρκαγιά. Οι άνθρωποι εξακολουθούν να μπορούν να επικοινωνούν μέσω του ασύρματου δικτύου κατά τη διάρκεια μιας καταστροφής.
- Αυξημένη αποτελεσματικότητα. Η βελτιωμένη επικοινωνία δεδομένων οδηγεί σε ταχύτερη μεταφορά πληροφοριών εντός επιχειρήσεις και μεταξύ συνεργατών και πελατών με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγικότητας.

Υπάρχουν επίσης ορισμένα μειονεκτήματα που σχετίζονται με τη χρήση ασύρματων δικτύων. Τα μειονεκτήματα του WLAN είναι: [8]

- **Ασφάλεια:** Η ασύρματη μετάδοση είναι πιο ευάλωτη σε επιθέσεις από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες, επομένως πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή.
- **Ταχύτητες μετάδοσης:** Η ασύρματη μετάδοση μπορεί να είναι πιο αργή και λιγότερο αποτελεσματική από τα ενσύρματα δίκτυα.
- **Αξιοπιστία:** Το σήμα μπορεί να επηρεαστεί από το περιβάλλον (βροχή ή βροντή) σε σύγκριση με τη χρήση καλωδίων.
- **Εμβέλεια:** Η τυπική εμβέλεια ενός κοινού δικτύου 802,11g με στάνταρ εξοπλισμό είναι της τάξης των δεκάδων μέτρων. Αν και επαρκεί για ένα τυπικό σπίτι, θα είναι ανεπαρκές σε μια μεγαλύτερη δομή. Για να αποκτήσετε επιπλέον εμβέλεια, θα πρέπει να αγοράσουν repeaters. Το κόστος για αυτά τα στοιχεία μπορεί να αυξηθεί γρήγορα.
- **Προβλήματα εγκατάστασης:** Μπορεί να υποστείτε παρεμβολές εάν άλλοι στο ίδιο κτίριο χρησιμοποιούν επίσης ασύρματη σύνδεση. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε κακή επικοινωνία ή σε ακραίες περιπτώσεις, απώλεια ασύρματης επικοινωνίας εντελώς.
- Σε ορισμένα κτίρια η σταθερή κάλυψη μπορεί να είναι δύσκολη. Για παράδειγμα, σε κατασκευές που κατασκευάζονται με χάλυβα μπορεί να δυσκολευτείτε να λάβετε τις χρησιμοποιούμενες ραδιοσυχνότητες.

1.6 Εφαρμογές Ασύρματων δικτύων

Με βάση την Εικόνα 1.7 ακολουθεί μια λίστα εφαρμογών της ασύρματης επικοινωνίας.

1.6.1 Οικιακή Χρήση

Κάποια παραδείγματα παραδοσιακής χρήσης της ασύρματης σύνδεσης μπορεί να είναι ο φορητός υπολογιστής, η κάμερα και οι εκτυπωτές. Επιπλέον, στις μέρες μας το Wi-Fi μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα προϊόντα για την προώθηση της ανάπτυξης του IoT (Internet of Things) όπως φούρνος, επαγωγική κουζίνα, ψυγείο, πλυντήριο ρούχων, σύστημα κλειδαριάς πόρτας, σύστημα ποτίσματος φυτών, λάμπες, ηλεκτρικές πρίζες και πολλά άλλα γνωστό ευρέως με τον όρο Smart Home.

1.6.2 Εργασιακός Τομέας - Βιομηχανία

Μια επιχείρηση μπορεί να προσφέρει:

- Άμεση πρόσβαση σε αρχεία πελατών που είναι αποθηκευμένα σε κεντρική τοποθεσία.
- Συνεπείς βάσεις δεδομένων για όλους.
- Μπορεί η εταιρεία να παρακολουθεί όλες τις δραστηριότητες των εργαζομένων που ταξιδεύουν.

Στο γραφείο η ασύρματη τεχνολογία εξοικονομεί σε επιχειρήσεις ή εταιρείες σημαντικό χρηματικό ποσό από το κόστος εγκατάστασης. Η ασύρματη επικοινωνία έχει πολλές πτυχές και στην βιομηχανία. Με τη λειτουργικότητα και τα χαρακτηριστικά της μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη των συνδέσεων μεταξύ οχημάτων μεταφοράς φορτίου αλλά και των υλικών που μεταφέρονται σε αυτά. Επομένως, ο ιδιοκτήτης ή ο ελεγκτής μπορεί να παρακολουθεί τη θέση των μεταφερόμενων εμπορευμάτων καθώς και να ελέγχει την κατάστασή τους. Περαιτέρω, σε συνδυασμό

με ορισμένα άλλα συστήματα, όπως αισθητήρες και σύστημα επεξεργασίας δεδομένων, η ασύρματη τεχνολογία θα είναι σε θέση να δημιουργήσει ένα σύστημα που θα μπορεί να αναλύει τα δεδομένα, να τα επεξεργάζεται και να παρέχει την έξοδο με τη μορφή συστήματος αυτοματισμού. Σίγουρα, είναι κάτι ωφέλιμο στον βιομηχανικό κόσμο, ειδικά στη μείωση του κόστους παραγωγής και στην ελαχιστοποίηση της ανθρώπινης παρέμβασης. Επιπρόσθετα στο χώρο της αυτοκινητοβιομηχανία έχουν αναπτυχθεί πολλές εφαρμογές για τα smartphones όπου μέσω της ασύρματης σύνδεσης με το σύστημα του αυτοκινήτου μπορούμε να έχουμε τον πλήρη έλεγχο του.

1.6.3 Τομέας Υγείας

Όλο και περισσότερα νοσοκομεία αναπτύσσουν ασύρματα δίκτυα για τη βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και ευκολίας. Το προσωπικό του νοσοκομείου μπορεί να χρησιμοποιήσει φορητές συσκευές για να αυξήσει την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια κατά τη φροντίδα των ασθενών. Τα κέντρα υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να διατηρούν ακριβή αρχεία για να διασφαλίζουν την ποιοτική φροντίδα των ασθενών. Ένα απλό λάθος μπορεί να κοστίζει τη ζωή κάποιου. Η χρήση μιας φορητής συσκευής συλλογής δεδομένων που μεταδίδει ασύρματα τα δεδομένα σε μια κεντρική βάση δεδομένων αυξάνει σημαντικά την ακρίβεια και αυξάνει την ορατότητα των δεδομένων σε όσους χρειάζονται τις πληροφορίες. Μια άλλη εφαρμογή του νοσοκομείου είναι η παρακολούθηση των φαρμακευτικών προϊόντων. Η χρήση φορητών συσκευών εκτύπωσης και σάρωσης αυξάνει δραματικά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια όλων των συναλλαγών φαρμάκων, όπως η παραλαβή, η συλλογή, η διανομή, το απόθεμα και οι ημερομηνίες λήξης. Το πιο σημαντικό, ωστόσο, διασφαλίζει ότι το προσωπικό του νοσοκομείου μπορεί να χορηγήσει το σωστό φάρμακο στο σωστό άτομο έγκαιρα.

1.6.4 Ψυχαγωγία

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σε χώρους ψυχαγωγίας όπως πχ μουσεία, θέατρα, γήπεδα κλ. Μπορούμε να επιλέξουμε θέση για μια ταινία ή για μια πτήση και να πληρώσουμε ηλεκτρονικά. Ακόμα τα ασύρματα δίκτυα σε έναν ταξιδιώτη μπορούν να του προσφέρουν πληθώρα πληροφοριών όπως:

- Μέσα μεταφοράς
- Μέρη για να επισκεφτεί και να διασκεδάσει
- Προτεινόμενα καταλύματα και εστιατόρια
- Χάρτες

1.6.5 Περιπτώσεις Έκτακτης Ανάγκης

Οι ακόλουθες υπηρεσίες μπορούν να παρέχονται σε επείγουσες κατάστασης:

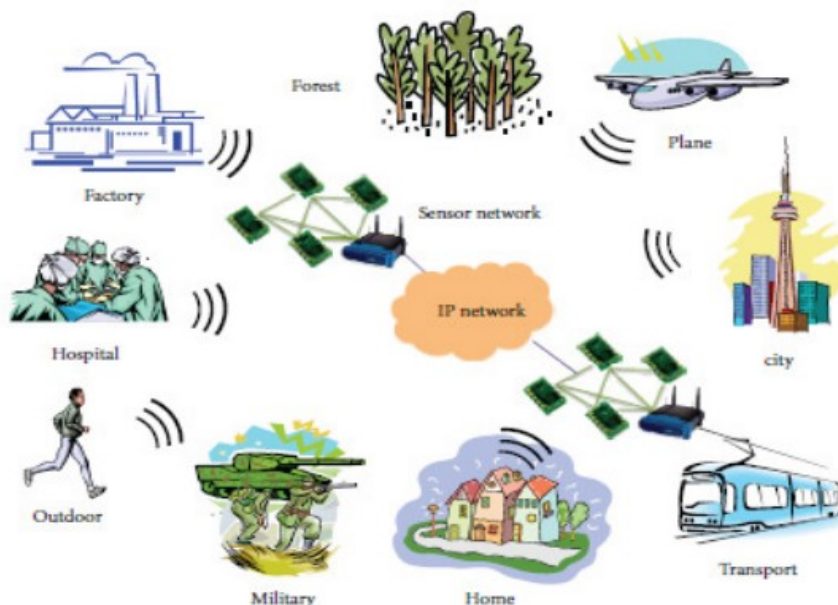
- **Επικοινωνία μέσω βίντεο:** Οι ανταποκριτές συχνά χρειάζεται να μοιράζονται ζωτικές πληροφορίες. Θα μπορούσε να είναι απαραίτητη η μετάδοση καταστάσεων βίντεο σε πραγματικό χρόνο..
- **Μηνύματα κειμένου σε πραγματικό χρόνο:** Τα μηνύματα κειμένου είναι μια αποτελεσματική και γρήγορη λύση για την αποστολή ειδοποιήσεων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

1.6.6 Εκπαίδευση

Τα περισσότερα σχολεία έχουν ήδη ολοκληρωθεί με κάλυψη σήματος WLAN, έτσι ώστε οι μαθητές και οι δάσκαλοι να έχουν πρόσβαση σε απεριόριστες πληροφορίες που θέλουν να υποστηρίξουν τη διαδικασία της διδασκαλίας και μάθησης. Με την κατάλληλη ασφάλεια και επίβλεψη, οι δάσκαλοι θα μπορούν να φιλτράρουν το περιεχόμενο στο οποίο μπορούν να έχουν πρόσβαση οι μαθητές. Τα πανεπιστήμια, οι δημόσιες βιβλιοθήκες και τα ερευνητικά κέντρα με τη δωρεάν πρόσβαση στο δίκτυο, παρέχουν στους σπουδαστές απεριόριστο περιεχόμενο. Επίσης στις μέρες μας έχουμε και την άνθηση της σύγχρονης και της ασύγχρονης εκπαίδευσης.

1.6.7 Στρατιωτικός Τομέας

Από όσα είναι δυνατόν να είναι γνωστά εξαιτίας του στρατιωτικού απορρήτου, η ασύρματη τεχνολογία έχει πολύ σημαντικό ρόλο. Οι στρατιωτικές επιχειρήσεις εκτελούνται συχνά υπό πίεση, επομένως η ταχύτητα είναι ένας κρίσιμος παράγοντας. Παρόλο που η επικοινωνία είναι απαραίτητη, ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Οι ασύρματες τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων, κατά τη διάρκεια μιας εμπόλεμης κατάσταση παρέχοντας παράλληλα την ευελιξία της μετακίνησης ελεύθερα.



Εικόνα 1.7: Ορισμένες εφαρμογές ασύρματων δικτύων [9]

1.7 Δομικά Στοιχεία

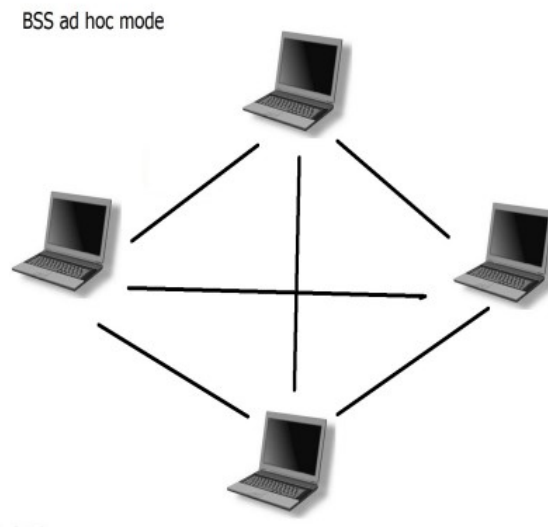
Για να γίνει όμως εφικτή η ασύρματη μετάδοση δεδομένων από ένα σταθμό σε ένα άλλο, είναι απαραίτητη η χρήση κάποιων δομικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά βοηθούν στην αποστολή, λήψη και επεξεργασία των σημάτων. Τα δομικά στοιχεία είναι: [10]

- Σταθμοί (Stations - STA): Είναι ένας προσωπικός υπολογιστής ή μια συσκευή με ασύρματη σύνδεση.
- Σημείο πρόσβασης (Access Point - AP): Η γέφυρα μεταξύ του ασύρματου και του ενσύρματου δικτύου.

- Ασύρματο Μέσο (Wireless Medium): είναι η ασύρματη διεπαφή που συνδέει ένα σταθμό με το σημείο πρόσβασης. Η επικοινωνία γίνεται μέσω ραδιοκυμάτων.
- Σύστημα διανομής (Distribution System - DS): Πραγματοποιεί την ένωση και την ανταλλαγή πλαισίων των σημείων πρόσβασης που βρίσκονται εντός του ίδιου δικτύου.
- Βασικά Πακέτα Υπηρεσιών (Basic Service Set - BSS): Θεωρείται το θεμελιώδες βασικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής. Είναι ένα σύνολο σταθμών που επικοινωνούν με ένα Access Point (AP) και η λειτουργία ξεκινάει από το ίδιο το AP. Υπάρχουν δύο τύποι Αρχιτεκτονικής BSS στο WLAN:

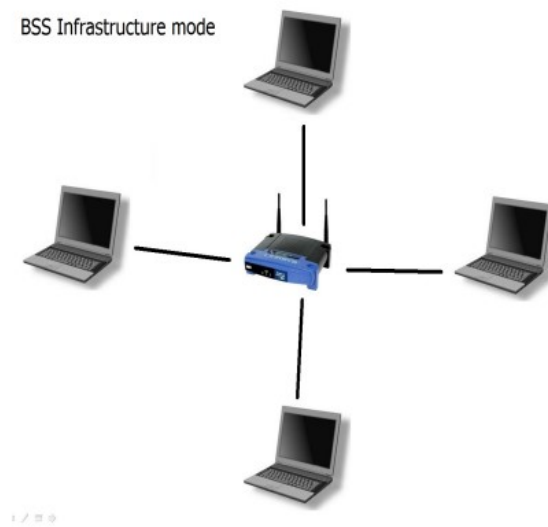
1. Ανεξάρτητα Δίκτυα (Independent BSS ή Ad-hoc): Σε αυτή τη περίπτωση οι σταθμοί μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας μεταξύ τους όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8.

Ένα ad hoc δίκτυο μπορεί να δημιουργηθεί όταν συναθροίζονται άνθρωποι με φορητούς υπολογιστές σε μία αίθουσα διασκέψεων, σε ένα τραίνο ή σε ένα αυτοκίνητο και θέλουν να ανταλλάξουν δεδομένα, όταν δεν υπάρχει ένα κεντρικό AP. [11]



Εικόνα 1.8: Ανεξάρτητο Δίκτυο [11]

2. Δικτύων Υποδομής (Infrastructure Networks) : Αντίθετα όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 1.9 σε αυτή τη περίπτωση η επικοινωνία των σταθμών δεν μπορεί να γίνει απευθείας αλλά μέσω ενός AP.



Εικόνα 1.9: Δίκτυο Υποδομής [11]

1.8 Επίλογος

Η αγορά WLAN εκρήγνυται, με αναφερόμενα ποσοστά ετήσιας ανάπτυξης 300%. Τα συστήματα WLAN είναι μια τεχνολογία που παρέχει πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και αντιπροσωπεύει έναν ελκυστικό τρόπο εγκατάστασης σε περιβάλλοντα όπου η εγκατάσταση καλωδίων είναι δαπανηρή ή αδύνατη. Το παρόν κεφάλαιο ήταν μια εισαγωγή για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες και πρότυπα που υπάρχουν για την ασύρματη δικτύωση συσκευών.

Κεφάλαιο 2ο: Πρότυπα Ασύρματης Δικτύωσης

2.1 Εισαγωγή

Τα πρότυπα ασύρματης σύνδεσης είναι ένα σύνολο υπηρεσιών και πρωτοκόλλων που υπαγορεύουν πώς θα λειτουργεί ένα δίκτυο. Με την συνεχή τεχνολογική εξέλιξη έχουν αναπτυχθεί διάφορα ασύρματα πρότυπα. Ακολουθεί μια αναλυτική περιγραφή των πιο διαδεδομένων όπως το Bluetooth, το ZigBee, το HomeRF κλ. καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά της οικογένειας προτύπων 802.11.

2.2 Bluetooth

Οι τεχνολογίες για τα WPAN αποτελούν ένα μεγάλο χώρο για νέες λύσεις και νέες εφαρμογές που θα μπορούσαν να αλλάξουν ριζικά την καθημερινή ζωή. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία Bluetooth είναι κάτι παραπάνω από ασύρματη σύνδεση για νομαδική πρόσβαση στο Internet ή για αντικατάσταση του καλωδίου. Έχει ως στόχο να καταστεί μια τεχνολογία που θα υποστηρίζει την απανταχού κινητικότητα των συσκευών και των υπηρεσιών. Η αρχή που βρίσκεται πίσω από το Bluetooth είναι η παροχή ασύρματης δυνατότητας μικρής εμβέλειας γενικής χρήσης. Το Bluetooth είναι μία συνεχούς λειτουργίας ραδιοκυματική ζεύξη μικρής εμβέλειας που βρίσκεται πάνω σε ένα μικροτσίπ. Χρησιμοποιεί τη ζώνη των 2.4 GHz, που είναι παγκοσμίως διαθέσιμη για χρήση χωρίς άδεια ενώ ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 1 Mbps. Το Bluetooth χρησιμοποιεί FHSS με αλλαγή συχνότητας 1600 hops/sec για την αποφυγή παρεμβολών. Οι τρεις κύριοι στόχοι για το Bluetooth ήταν: μικρό μέγεθος, ελάχιστη κατανάλωση ισχύος και μικρό κόστος. [13] Το Bluetooth υποστηρίζει τρία γενικά πεδία εφαρμογών που χρησιμοποιούν ασύρματη ζεύξη μικρής εμβέλειας:

- Σημεία πρόσβασης δεδομένων και φωνής
- Αντικατάσταση καλωδίων
- Ad hoc δικτύωση

Το Bluetooth προορίζεται για την υποστήριξη μιας μεγάλης και εξελισσόμενης λίστας εφαρμογών, όπως δεδομένα (π.χ., αριθμοί τηλεφώνων), ήχο, γραφικά, βίντεο καλ. Έχει εμβέλεια από 10 έως 100m. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό της προδιαγραφής εκπομπής ραδιοκυμάτων είναι ο ορισμός τριών κατηγοριών πομπών βάση της ισχύος εξόδου:

- Κατηγορία 1: Εμβέλεια 100 m. Ισχύς εκπομπής μέχρι 100mW.
- Κατηγορία 2: Εμβέλεια 20 m. Ισχύ εκπομπής μέχρι 2.5 mW.
- Κατηγορία 3: Εμβέλεια 10 m. Ισχύ εκπομπής μέχρι 1 mW.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν απαιτείται η οπτική επαφή του πομπού και του δέκτη για την επίτευξη της ζεύξης.

Τέλος επισημάνουμε ότι οι εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι πολλαπλές:

- Ασύρματη μεταφορά ψηφιακών αρχείων
- Απομακρυσμένος έλεγχος συσκευών πχ. κάμερες ασφαλείας
- Εφαρμογές στην ιατρική με ειδικές συσκευές bluetooth όπως καρδιακούς μετρητές
- Ασύρματα περιφερειακά, όπως εκτυπωτές
- Ορισμένοι δέκτες GPS μεταφέρουν πληροφορίες μέσω Bluetooth

- Smartwatches με βιομετρήσεις πάνω στο σώμα μας

2.2.1 Ιστορική αναδρομή

Το 1994 η σουηδική εταιρεία κατασκευής κινητών τηλεφώνων Ericsson, ξεκίνησε μια μελέτη για την εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων για τη σύνδεση των κινητών τηλεφώνων με τα εξαρτήματά της. Τον Φεβρουάριο του 1998 μαζί με τις εταιρείες IBM, Intel, Nokia και Toshiba, δημιούργησε μία Ομάδα Ειδικών Ενδιαφερόντων Special Interest Group, SIG) για την αναπτύξει ενός προτύπου ασύρματης διασύνδεσης ετερογενών φορητών συσκευών σε πολύ μικρή εμβέλεια. Τον Ιούλιο του 1999, η Bluetooth SIG δημοσίευσε την έκδοση 1.0 των προδιαγραφών Bluetooth. Έκτοτε έχουν υπάρξει πολλές εκδόσεις της τεχνολογίας οι οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

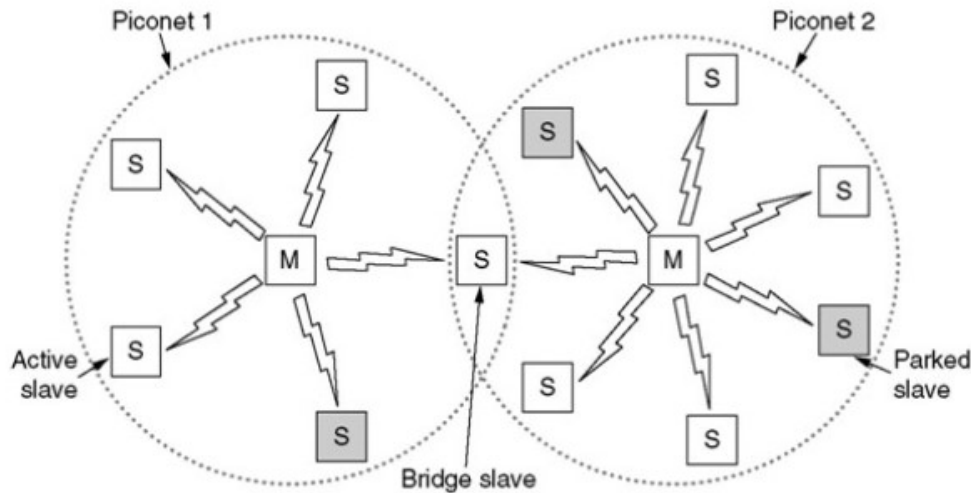
Year Introduced	Bluetooth Version	Feature
2004	2.0	Enhanced Data Rate
2007	2.1	Secure Simple Pairing
2009	3.0	High Speed with 802.11 Wi-Fi Radio
2010	4.0	Low-energy protocol
2013	4.1	Indirect IoT device connection
2014	4.2	IPv6 protocol for direct internet connection
2016	5.0	4x range, 2x speed, 8x message capacity + IoT

Εικόνα 2.1: Bluetooth Version [17]

Από τότε το ενδιαφέρον για την Bluetooth SIG έχει αυξηθεί, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πάνω από 2500 εταιρείες μέλη. Το πρότυπο πήρε το όνομά του από τον Βασιλιά Harald Blaaland (Bluetooth) της Δανίας (10ος αι. μ.Χ.). Σε αντίθεση με τους Βίκινγκ ομότιτλους του, ο Βασιλιάς Harald είχε μαύρα μαλλιά (γι' αυτό και το όνομα Bluetooth, που σήμαινε μία σκοτεινή όψη, μορφή) και του αποδίδεται ο εκχριστιανισμός της Σκανδιναβίας μαζί με την ενοποίηση της Δανίας με τη Νορβηγία. Όμοια το Bluetooth στοχεύει στην ένωση των προσωπικών συσκευών. Το 2002 η ομάδα εργασίας δημοσίευσε το πρώτο πρότυπο IEEE 802.15.1 για τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα που αφορούσε την τεχνολογία Bluetooth. [14]

2.2.2 Αρχιτεκτονική του Bluetooth

Η βασική μονάδα ενός δικτύου Bluetooth είναι ένα μικροσκοπικό δίκτυο (piconet). Ένα piconet αποτελείται από μια έως και 8 ενεργές συσκευές σε σχέση **master-slave**. Μια από αυτές της συσκευές αναλαμβάνει τον ρόλο του κύριου αφέντη (master) και όλες οι άλλες συσκευές είναι σκλάβοι (slaves) που επικοινωνούν με τον master. Η επικοινωνία μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος κόμβου μπορεί να είναι ένα προς ένα ή ένα προς πολλά. Η επικοινωνία γίνεται μόνο μεταξύ του κυρίου και του σκλάβου. Η επικοινωνία σκλάβου-σκλάβου δεν είναι δυνατή. Επιπλέον 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 2.2.



Εικόνα 2.2: Δομή ενός δικτύου Bluetooth [15]

Μία συσκευή σε ένα piconet μπορεί να συνυπάρχει και ως μέρος ενός άλλου piconet και μπορεί να λειτουργεί είτε ως δευτερεύουσα είτε ως κύρια στο καθένα από αυτά. Αυτή η μορφή επικάλυψης λέγεται **scatternet**. Το πλεονέκτημα μιας διάταξης **piconet/scatternet** είναι ότι επιτρέπει σε πολλές συσκευές να μοιράζονται την ίδια φυσική περιοχή και να κάνουν αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης. Ένα piconet έχει εμβέλεια περίπου 10 μ και ο ρυθμός μεταφοράς είναι μεταξύ 400 με 700 KBIT/s. Η κατάσταση ενός τερματικού σε ένα piconet μπορεί να είναι επίσης **Stand by** ή **Parked/Hold**. Αν δεν υπάρχει δυνατότητα πρόσβασης, μπορεί ένα τερματικό να είναι στην κατάσταση **Stand by** και να περιμένει να συνδεθεί αργότερα, διατηρεί όμως την MAC διεύθυνσή του. Στην κατάσταση **Parked** το τερματικό συνδέεται με χαμηλή ισχύ και απελευθερώνει την MAC διεύθυνσή του. [12]

2.2.3 Τα επίπεδα των πρωτοκόλλων Bluetooth

Το Bluetooth ορίζεται ως μία αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων με στρώματα όπως παρατηρείτε στην Εικόνα 2.3 που ακολουθεί και αποτελείται από: [16]

- τα πρωτόκολλα πυρήνα
- το πρωτόκολλο αντικατάστασης καλωδίου
- τα πρωτόκολλα ελέγχου τηλεφωνίας και τα υιοθετημένα πρωτόκολλα

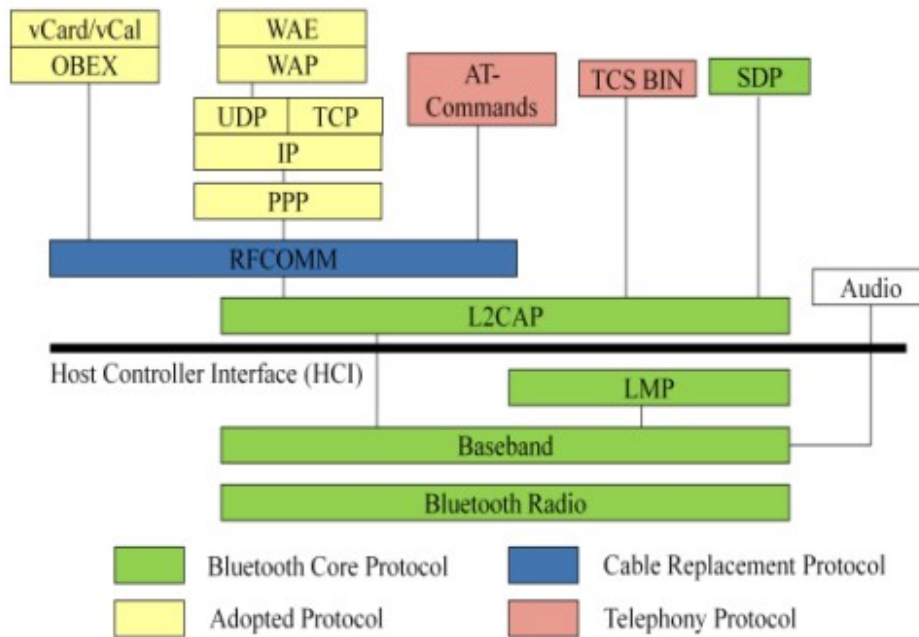
Τα πρωτόκολλα πυρήνα (core protocols) σχηματίζουν μία στοίβα πέντε στρωμάτων που αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- **Ασύρματη Μετάδοση (Bluetooth Radio):** Καθορίζει τις λεπτομέρειες της διεπαφής αέρα: όπως η συχνότητα, η χρήση αναπήδησης συχνότητας, η μέθοδος διαμόρφωσης και η ισχύς εκπομπής.
- **Βασική ζώνη (Baseband):** Ασχολείται: με την πραγματοποίηση ζεύξης, τη διευθυνσιοδότηση, τη μορφή των πακέτων, το χρονοισμό και τον έλεγχο ισχύος.
- Η ετικέτα **Audio:** Δεν είναι πρωτόκολλο αλλά εμφανίζεται λόγω της μεγάλης χρήσης της στις επικοινωνίες Bluetooth. Ο ήχος μεταφέρεται απευθείας από το επίπεδο baseband.

- **Πρωτόκολλο διαχειριστή ζεύξεων (Link Management Protocol -LMP):** Έχει την ευθύνη για την δημιουργία και την ρύθμιση μιας σύνδεσης μεταξύ συσκευών Bluetooth, Το ίδιο πρωτόκολλο ελέγχει τα θέματα ασφαλείας, όπως η πιστοποίηση και η κρυπτογράφηση, καθώς επίσης ρυθμίζει το μέγεθος των πακέτων
- Το **HCI (Host Controller Interface):** Είναι ένα περιβάλλον εργασίας με το οποίο μπορούμε να ελέγξουμε το baseband controller και του link manager μέσω εντολών.
- **Πρωτόκολλο ελέγχου λογικής ζεύξης και προσαρμογής (Logical Link Control and Adaptation Protocol -L2CAP):** Προσαρμόζει τα πρωτόκολλα ανώτερων στρωμάτων στο στρώμα βασικής ζώνης.
- **Πρωτόκολλο αναζήτησης υπηρεσιών (Service Discovery Protocol -SDP):** Βρίσκει τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών και συνδέει δύο ή περισσότερες συσκευές Bluetooth για την υποστήριξη μιας υπηρεσίας.

Το RFCOMM είναι το πρωτόκολλο **αντικατάστασης καλωδίου (Cable Replacement Protocol):** Χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο προσομοίωσης ελέγχου σειριακής γραμμής RS-232 και σηματοδοσίας δεδομένων που εξομοιώνει την σειριακή θύρα των υπολογιστών για την σύνδεση ασύρματων ηλεκτρολογίων και άλλα. Το Bluetooth καθορίζει ένα πρωτόκολλο **ελέγχου τηλεφωνίας (Telephony Control Protocol -TCS):** Είναι ένα πρωτόκολλο που λειτουργεί σε επίπεδο bit και το οποίο ορίζει τη σηματοδοσία ελέγχου κλήσεων και προσδιορίζει τον τρόπο μεταφοράς ήχου και δεδομένων μεταξύ συσκευών Bluetooth. **Τα υιοθετημένα πρωτόκολλα (adopted protocols):** ορίζονται στις προδιαγραφές που εκδίδονται από άλλους οργανισμούς δημιουργίας προτύπων και ενσωματώνονται μέσα στη συνολική αρχιτεκτονική του Bluetooth. Τα υιοθετημένα πρωτόκολλα περιλαμβάνουν τα εξής:

- **PPP (point-to-point protocol)**
- **TCP/UDP/IP**
- **OBEX (OBject EXchange)**
- **WAE/WAP**



Εικόνα 2.3: Στοιβάς πρωτοκόλλων Bluetooth [16]

2.2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του Bluetooth

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Bluetooth αναφέρονται παρακάτω:

- Επικοινωνία συσκευών είναι δυνατές χωρίς τη χρήση καλωδίων
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Χαμηλό κόστος κατασκευής
- Μικρές παρεμβολές
- Έχει φθινό κόστος
- Είναι απλό στη χρήση

Μερικά από τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας Bluetooth αναφέρονται παρακάτω:

- Ζητήματα ασφαλείας κατά τη μεταφορά δεδομένων
- Είναι πιο αργή σε σύγκριση με άλλες ασύρματες τεχνολογίες
- Η εμβέλεια της τεχνολογίας
- Έχει παρατηρηθεί ότι το Bluetooth μπορεί μερικές φορές να χάσει τη σύνδεσή του
- Προβλήματα συμβατότητας

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Bluetooth ξεπερνούν τα μειονεκτητά τους. Και για αυτόν το λόγο οι αναλυτές υπολογίζουν ότι το 75% των φορητών συσκευών θα υποστηρίξουν την τεχνολογία Bluetooth.

2.3 Zigbee

Το ZigBee είναι ένα τεχνολογικό πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας για προσωπικό δίκτυο (PAN). Δημιουργήθηκε για δίκτυα ελέγχου αισθητήρων και βασίζεται στο IEEE 802.15.4. Η ονομασία Zigbee προέρχεται από τον χορό «ζιγκ-ζαγκ». Με τον χορό αυτό οι μέλισσες επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν ανά πάσα στιγμή πληροφοριακό υλικό.

Το Zigbee στοχεύει σε:

- Εφαρμογές χαμηλότερης ισχύος
- Εύκολη εγκατάσταση
- Χαμηλότερο ρυθμό δεδομένων και χαμηλότερη καθημερινή χρήση από το Bluetooth
- Αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων
- Μικρής εμβέλειας λειτουργία
- Εξαιρετικά χαμηλό κόστος
- Μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας

Οι προδιαγραφές καθορίζουν μόνο τα δυο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου αναφοράς δικτύωσης OSI: το φυσικό και το Media Access Control (MAC). Το Zigbee ορίζει ρυθμούς καναλιού 20, 40, 100 και 250 Kbps, ανάλογα με την συχνότητα του καναλιού. Η εμβέλεια της όσον αφορά τη μετάδοση φτάνει έως και 100 μέτρα και το μέγεθος του δικτύου στις 264 συσκευές. Η συχνότητα της λειτουργίας της μπορεί να εκπέμπει και στα 784 MHz, 868 MHz και στα 915 MHz. Η ανάπτυξη του Zigbee οφείλεται στην Zigbee Alliance το έτος 2005, στις 13 Ιουνίου.

Η επικοινωνία σε ένα δίκτυο Zigbee χωρίζεται σε τρεις τρόπους:

- Broadcast: Παραλήπτης του μηνύματος είναι όλες οι συσκευές οι οποίες λαμβάνουν το μήνυμα
- Multicast: Παραλήπτης του μηνύματος είναι μια ομάδα συσκευών του δικτύου
- Unicast: Παραλήπτης του μηνύματος είναι μία συγκεκριμένη συσκευή. Οποίος είναι ο προεπιλεγμένος τρόπος επικοινωνίας

Επιπλέον τα δίκτυα ZigBee καθορίζει δύο τύπους από κόμβους:

- Συσκευές Μειωμένης Λειτουργίας (Reduced Function Devices – RFDs): Σε αυτή τη λειτουργία η συνολική κατανάλωση ενέργειας είναι χαμηλή, επειδή οι περισσότερες συσκευές βρίσκονται σε ανενεργή κατάσταση για μεγάλα χρονικά διαστήματα στο δίκτυο. Όταν δεν υπάρχει επικοινωνία δεδομένων τότε οι συσκευές μπαίνουν σε κατάσταση αδράνειας. Περιοδικά “ξυπνάνε” και μεταδίδουν στους δρομολογητές του δικτύου.
- Συσκευές Πλήρους Λειτουργίας (Full Function Devices – FFDs): Παρακολουθούν συνεχώς την ενεργή κατάσταση των εισερχόμενων δεδομένων, επομένως καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια. Σε αυτή τη λειτουργία, οι συσκευές δεν κοιμούνται επειδή ανά πάσα στιγμή οποιοσδήποτε κόμβος μπορεί να ξυπνήσει και να επικοινωνήσει.

Σε ένα IEEE 802.15.4 οι συσκευές Zigbee παίζουν τρεις διαφορετικούς ρόλους: [67]

- Coordinators: Υπάρχει ένα σε κάθε δίκτυο και είναι υπεύθυνο για την εκκίνηση του δικτύου
- Routers: Προωθεί δεδομένα σε μακρινούς κόμβους. Μπορεί να υπάρχουν πολλοί routers κόμβοι σε ένα δίκτυο.
- End devices: Δρα ως πομπός-δέκτης δεδομένων αλλά δεν μπορεί να προωθήσει δεδομένα, παρά μόνο στον γειτονικό του router ή coordinator κόμβο

2.3.1 Τοπολογία ZigBee

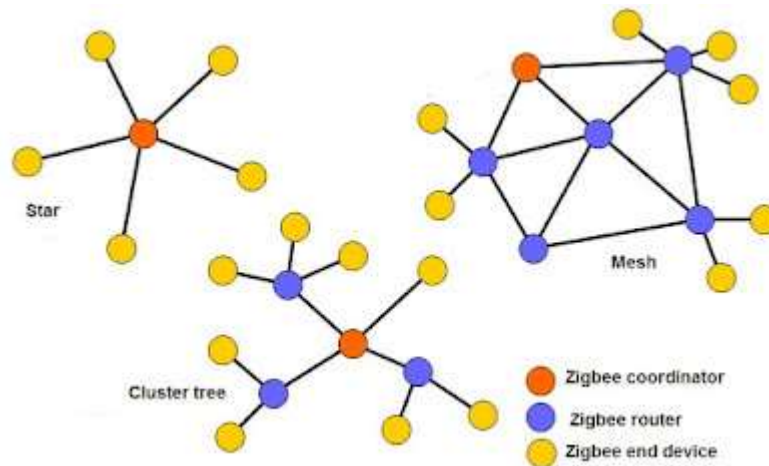
Το ZigBee υποστηρίζει μόνο τοπολογίες star, tree, και mesh όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4. Με τον όρο τοπολογία αναφερόμαστε στον τρόπο με τον οποίο οι διάφοροι τερματικοί σταθμοί συνδέονται μεταξύ τους. [67]

Σε μια τοπολογία star: Το δίκτυο αποτελείται από έναν συντονιστή που είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση και τη διαχείριση των συσκευών μέσω του δικτύου. Όλες οι άλλες συσκευές ονομάζονται τελικές συσκευές που επικοινωνούν απευθείας με τον συντονιστή. Η τοπολογία star προσφέρει απλότητα και ευκολία εφαρμογής ωστόσο το βασικό μειονέκτημα της τοπολογίας αστέρα είναι ότι σε περίπτωση βλάβης του κεντρικού κόμβου όλο το δίκτυο σταματά να λειτουργεί και επιπλέον, δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή.

Σε μια τοπολογία tree: Σε αυτήν την τοπολογία, το δίκτυο αποτελείται από έναν κεντρικό κόμβο (δέντρο ρίζας), ο οποίος είναι ένας συντονιστής, αρκετοί δρομολογητές και τελικές συσκευές. Η λειτουργία του δρομολογητή είναι να επεκτείνει την κάλυψη του δικτύου. Οι τερματικοί κόμβοι που συνδέονται με τον συντονιστή ή τους δρομολογητές ονομάζονται παιδιά. Μόνο οι δρομολογητές και ο συντονιστής μπορούν έχουν παιδιά. Κάθε τελική συσκευή μπορεί να επικοινωνεί μόνο με τον γονέα της (δρομολογητή ή συντονιστή). Τα μειονεκτήματα της τοπολογίας δέντρων είναι:

- Εάν ένας από τους γονείς γίνει απενεργοποιημένος, τα παιδιά του απενεργοποιημένου γονέα δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλες συσκευές στο δίκτυο.
- Ακόμα κι αν δύο κόμβοι βρίσκονται γεωγραφικά κοντά ο ένας στον άλλο, δεν μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας. Αυτή η εξάρτηση από έναν μόνο γονικό κόμβο μπορεί να οδηγήσει σε απομόνωση δικτύου και περιορισμένη συνδεσιμότητα.

Σε μια τοπολογία mesh: Αναφέρεται επίσης ως δίκτυο peer-to-peer. Η τοπολογία mesh αποτελείται από έναν συντονιστή, πολλούς δρομολογητές και τελικές συσκευές. Μια τοπολογία mesh μοιάζει με δομή tree, στην οποία ορισμένα φύλλα συνδέονται άμεσα. Κάθε συσκευή στο δίκτυο πλέγματος μπορεί να επικοινωνήσει με οποιαδήποτε άλλη συσκευή, δημιουργώντας μια δομή που μοιάζει με ιστό. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει αυξημένη εμβέλεια δικτύου, καθώς μπορούν να προστεθούν πρόσθετες συσκευές για την επέκταση της περιοχής κάλυψης. Επιπλέον, εάν μια διαδρομή μετάδοσης αποτύχει ή παρεμποδιστεί, ο επηρεαζόμενος κόμβος μπορεί να βρει δυναμικά μια εναλλακτική διαδρομή για να φτάσει στον προορισμό του, εξαλείφοντας έτσι τις νεκρές ζώνες μέσα στο δίκτυο. Αυτή η ικανότητα αυτοθεραπείας ενισχύει την αξιοπιστία και την ευρωστία του δικτύου Zigbee. Επιπλέον, η τοπολογία πλέγματος απλοποιεί τη διαδικασία προσθήκης ή αφαίρεσης συσκευών από το δίκτυο. Αυτή η ευελιξία και η επεκτασιμότητα καθιστούν την τοπολογία mesh εξαιρετικά κατάλληλη για εφαρμογές IoT.



Εικόνα 2.4: Τοπολογίες δικτύων [69]

Το πεδίο εφαρμογών της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι πράγματι πολύ μεγάλο. Κάποια παραδείγματα εφαρμογής της τεχνολογίας ZigBee είναι:

- Βιομηχανικός Αυτοματισμός
- Εφαρμογές Smart Home
- Παρακολούθηση Smart Grid
- Συλλογή Ιατρικών Δεδομένων
- Smart City

Είναι γεγονός ότι οι ασύρματοι αισθητήρες έχουν σημαντικό αντίκτυπο σε όλες σχεδόν τις μεγάλες βιομηχανίες καθώς και τη ζωή του σπιτιού μας. Οι βασικές απαιτήσεις σχεδιασμού περιστρέφονται γύρω από τη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και το χαμηλό κόστος για την υποστήριξη της επικοινωνίας μεταξύ μεγάλου αριθμού συσκευών σε ένα διαλειτουργικό και πολλαπλών εφαρμογών περιβάλλον.

2.3.2 Επίπεδα Πρωτοκόλλου Zigbee

Κάθε επίπεδο εκτελεί ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών και παρέχει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο επίπεδο μέσω μιας διεπαφής που ονομάζεται σημείο πρόσβασης υπηρεσιών (service access point, SAP). Τα 4 επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του ZigBee είναι τα παρακάτω (Εικόνα 2.5) [68]

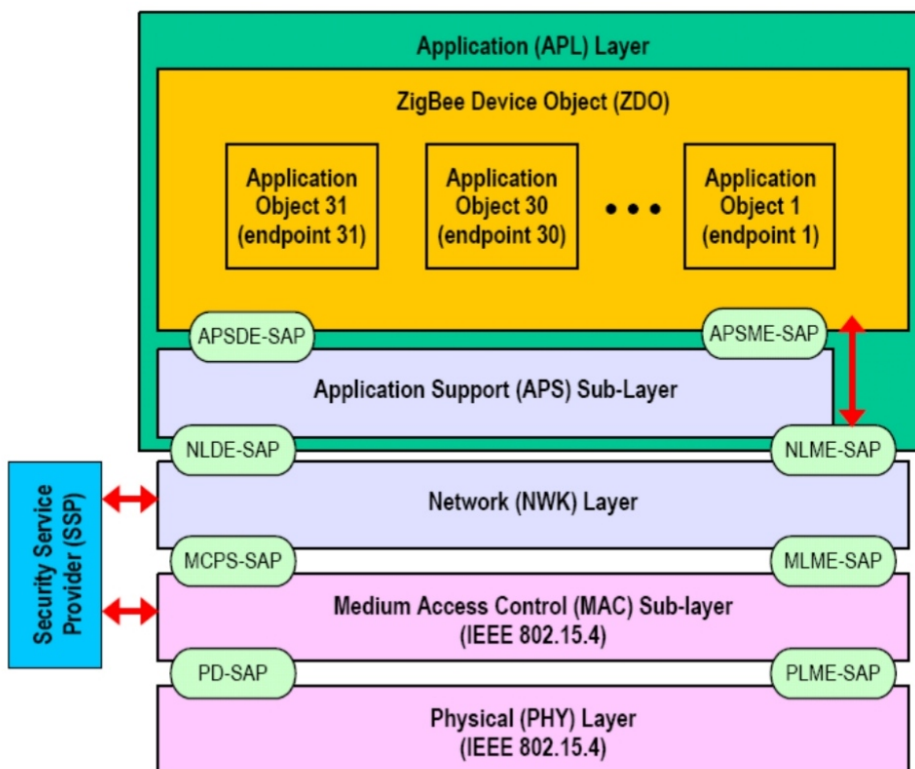
Το φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY): Το βασικό καθήκον του επιπέδου PHY είναι η μετάδοση και η λήψη δεδομένων. Το επίπεδο PHY είναι επίσης υπεύθυνο για τις ακόλουθες εργασίες: Ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του πομποδέκτη και για εκτίμηση της κατάστασης των καναλιών.

Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC): Υπεύθυνο για την παροχή αξιόπιστων επικοινωνιών μεταξύ ενός κόμβου και των άμεσων γειτόνων του, βοηθώντας στην αποφυγή συγκρούσεων και στη βελτίωση της απόδοσης. Το στρώμα MAC είναι επίσης υπεύθυνο για τη συναρμολόγηση και αποσύνθεση πακέτων και πλαισίων δεδομένων.

Το επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK): Τα καθήκοντά του περιλαμβάνουν την εκκίνηση του δικτύου, την προσθήκη και την αφαίρεση συσκευών στο δίκτυο, την ασφάλεια, την δρομολόγηση μηνυμάτων και τον εντοπισμό διαδρομής.

Το επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL): Το ανώτερο επίπεδο στη στοίβα πρωτοκόλλου ZigBee αποτελείται από:

- **Το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS):** Υπεύθυνο για την παροχή υπηρεσίας δεδομένων στην εφαρμογή και στα προφίλ συσκευής ZigBee.
- **Το πλαίσιο εφαρμογών (Application framework, AF):** Παρέχει μια περιγραφή του τρόπου δημιουργίας ενός προφίλ ZigBee (για να διασφαλιστεί ότι τα προφίλ μπορούν να δημιουργηθούν με συνεπή τρόπο).
- **Τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO):** Καθορίζει το ρόλο μιας συσκευής εντός του δικτύου, δημιουργεί μια ασφαλή σχέση μεταξύ του δικτύου και των συσκευών. Παρέχει επίσης ένα πλούσιο σύνολο εντολών διαχείρισης που ορίζονται στο προφίλ της συσκευής ZigBee.



Εικόνα 2.5: Πρωτόκολλο Zigbee [69]

2.4 HomeRF

Δύο κύριοι παράγοντες έδωσαν μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη του HomeRF. Πρώτον η εκρηκτική ανάπτυξη και αύξηση της χρήσης του Internet και δεύτερον το μικρό κόστος των PC και η ευρεία χρησιμοποίησή τους στα σπίτια. Το HomeRF αναπτύχθηκε από την HomeRF Working Group (WG), η οποία αρχικά περιελάμβανε τη Siemens, τη Motorola, και τη Philips αλλά έκτοτε επεκτάθηκε σε περισσότερες από 100 εταιρείες. Αυτή η ομάδα ξεκίνησε το 1998 με στόχο την ανάπτυξη προϊόντων ασύρματης οικιακής δικτύωσης που είναι απλά, ασφαλή, αξιόπιστα, οικονομικά και προσιτά στον καταναλωτή.

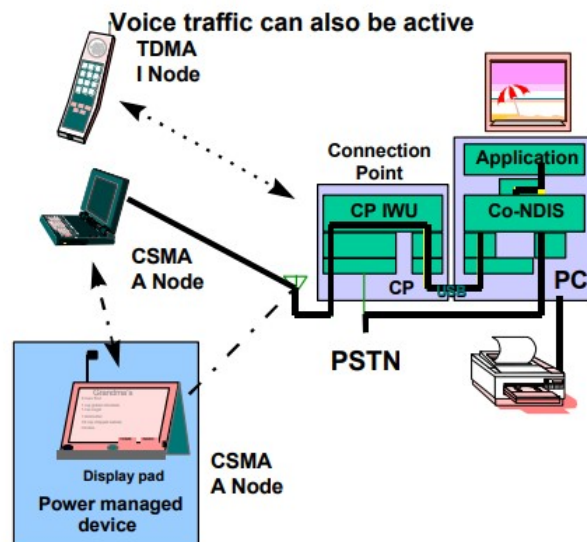
Το 2001 αυτή η ομάδα δημιούργησε το πρωτόκολλο SWAP (Shared Wireless Access Protocol). Το SWAP χρησιμοποιεί μεγάλα τμήματα από τα ήδη προτυποποιημένα πρωτόκολλα, απλοποιώντας τα όπου χρειάζεται για το οικιακό περιβάλλον. Ουσιαστικά, οι προδιαγραφές του SWAP ορίζουν μια νέα

κοινή διεπαφή που υποστηρίζει ασύρματη διαδίκτυωση για φωνή και δεδομένα στο σπίτι. Για αυτό έπειτα μετονομάστηκε HomeRF. Το HomeRF χρησιμοποιούσε τη διασπορά φάσματος με μεταπήδηση συχνότητας (FHSS), η πρώτη έκδοση του HomeRF λειτουργεί στα 2,45 GHz και πετυχαίνει ταχύτητες 1.6Mbps. Στην δεύτερη έκδοση HomeRF 2.0 υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 20Mbps, σε απόσταση 50 μέτρων και το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει έως και 127 συσκευές.[19] Ενώ η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς είναι τα 100mW (20dBm).

2.4.1 Η τοπολογία του πρότυπου HomeRF

Τρία είδη συσκευών μπορούν να βρίσκονται σε ένα δίκτυο SWAP όπως παρατηρούμε στην επομένη εικόνα: [64]

- Το σημείο σύνδεσης (Connection Points, CP), το οποίο είναι μια συσκευή που ενεργεί ως πύλη και συνδέει τον υπολογιστή με το δίκτυο HomeRF, το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής και με άλλες συσκευές
- Ισόχρονος κόμβος (Isochronous nodes) πχ. ασύρματο τηλέφωνο (οι οποίες ονομάζονται I-nodes)
- Ασύγχρονες συσκευές δεδομένων (Asynchronous nodes) οι οποίες ονομάζονται A-nodes πχ. laptop
- Ο συνδυασμός ασύγχρονων και ισόχρονων κόμβων (AI nodes).



Εικόνα 2.6: Τοπολογίας δικτύου SWAP [64]

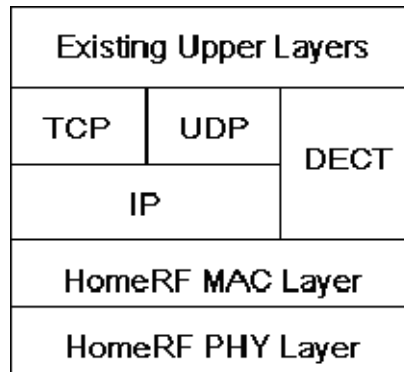
Η προδιαγραφή για το HomeRF είναι μικτή κατά πολλούς τρόπους: [28]

- Είναι λειτουργία client-server μεταξύ του CP και συσκευών που χρησιμοποιούν την ισόχρονη και ασύγχρονη υπηρεσία με προτεραιότητες.
- Είναι λειτουργία μεταξύ ομότιμων μεταξύ τους συσκευών που χρησιμοποιούν ασύγχρονη υπηρεσία δεδομένων. Οι ισόχρονες υπηρεσίες είναι μεταγωγής κυκλώματος και πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου, ενώ οι ασύγχρονες και οι ασύγχρονες με προτεραιότητες είναι υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου και πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος.

Αυτή ακριβώς η πληθωρικότητα προσδίδει στο HomeRF την δυνατότητα ευρείας χρήσης στο περιβάλλον του σπιτιού. Δεν είναι σχεδιασμένο να υποστηρίζει εκατοντάδες χρηστών που κάνουν παρόμοια πράγματα σε ένα μέρος, αλλά για να υποστηρίξει πληθώρα εφαρμογών στο χώρο μιας κατοικίας.

2.4.2 Χαρακτηριστικά του HomeRF

Το πρότυπο ακολουθεί το μοντέλο του OSI με τροποποιήσεις του φυσικού και του υποστρώματος MAC. Στα πιο πάνω επίπεδα χρησιμοποιούνται τα γνωστά πρωτόκολλα IP (επίπεδο δικτύου) και TCP, UDP (επίπεδο μεταφοράς) για την μεταφορά δεδομένων και το DECT για την διασύνδεση του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου (PSTN) με τις συσκευές HomeRF και τη μεταφορά φωνής.



Εικόνα 2.7: Τα επίπεδα δικτύου του HomeRF [18]

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. Το πρωτόκολλο SWAP συνδυάζει την αποδοτικότητα του CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) και του TDMA (Time Division Multiple Access) για την μεταφορά δεδομένων και φωνής αντίστοιχα.

Αν και η ομάδα εργασίας HomeRF προσπάθησε να προωθήσει τα προϊόντα της που βασίζοντα σε SWAP έως το 2001, ωστόσο η αγορά της οικιακή δικτύωση είχε ουσιαστικά μονοπωληθεί από προϊόντα 802.11b. Η Ομάδα Εργασίας διαλύθηκε τελικά τον Ιανουάριο του 2003.

2.5 HiperLAN

Το πρότυπο HiperLAN (High Performance Radio LAN) καθιερώθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τυποποίησης Τηλεπικοινωνιών (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) το 1996. Η οικογένεια προτύπων HIPERLAN απευθύνεται σε τέσσερις τύπους HIPERLAN: HIPERLAN Τύπος 1 (ασύρματο υψηλής ταχύτητας LAN), HIPERLAN Type 2 (ασύρματη πρόσβαση μικρής εμβέλειας σε δίκτυα ATM), HIPERLAN Type 3 (ασύρματο απομακρυσμένο πρόσβαση σε δίκτυα ATM) και HIPERLAN Type 4 (ασύρματη διασύνδεση ATM). Αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα μαζί με τις συχνότητες λειτουργίας και τον ενδεικτικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων στη διεπαφή αέρα. Για το HiperLan-2 θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί το ευρωπαϊκό αντίστοιχο του 802.11a και είναι αυτό που θα μας απασχολήσει.

HIPERLAN Type 1	HIPERLAN Type 2	HIPERACCESS	HIPERLINK
Compatible with wired LANs like Ethernet & Token Ring.	Connects portable devices with broadband networks that are based on IP, ATM and other technologies. Operates as an ad hoc network. Capable of supporting multi-media applications by providing mechanisms to handle QoS.	Provides outdoor, high speed fixed radio access to customer premises and is capable of supporting multimedia applications (used for residential households and small businesses).	Provides very high speed radio links for static interconnections and is capable of multimedia applications.
layers:	layers:	layers:	layers:
MAC	DLC	DLC	DLC
PHY (5 GHz) 19 Mbps/s	PHY (5 GHz) (20 Mbps/s)	PHY (5 GHz) (20 Mbps/s)	PHY (17 GHz) (155 Mbps/s)

Εικόνα 2.8: Συνοπτική απεικόνιση των τύπων του προτύπου HiperLan [66]

2.5.1 HiperLAN-1

Ο σχεδιασμός για την πρώτη έκδοση του προτύπου, που ονομάζεται HiperLAN-1, ξεκίνησε το 1991 και απευθύνεται στο φυσικό επίπεδο και στο υπόστρωμα MAC του μοντέλου OSI. Ο στόχος του ήταν ο υψηλός ρυθμός δεδομένων, υψηλότερος από το πρότυπο 802.11. Το πρότυπο εγκρίθηκε το 1997. Το φυσικό στρώμα του HIPERLAN-1 χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων 5.1– 5.35 GHz και 17.1-17.3 GHz. Η ισχύς εκπομπής μπορεί να φθάσει μέχρι 1 W, η μέθοδος διαμόρφωσης είναι Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) απλού φέροντος. Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων φτάνει τα 23.5 Mbps και η τελική απόσταση είναι στα 50 μέτρα.

Το πρωτόκολλο MAC βασίζεται σε έναν μηχανισμό ανίχνευσης φέροντος, που είναι εντελώς διαφορετικός από εκείνον που χρησιμοποιείται στο πρότυπο IEEE 802.3 (Ethernet) ή στο IEEE 802.11. Η ανίχνευση φέροντος στο HIPERLAN-1 είναι ενεργητική σε σύγκριση με την παθητική του IEEE 802.11 και η επίλυση των συγκρούσεων καθώς και οι επαληθεύσεις είναι υποχρεωτικές. Το πρωτόκολλο MAC του HIPERLAN ορίζει προτεραιότητες και χρόνο ζωής για κάθε πακέτο, γεγονός που διευκολύνει τον έλεγχο της ποιότητας υπηρεσίας. Ακόμα το υποεπίπεδο MAC ορίζει τις παραμέτρους για την ασφάλεια και την εξοικονόμηση ενέργειας. Κάποια από τα χαρακτηριστικά του HiperLAN-1 είναι:

- Ρυθμός δεδομένων της τάξης των 24 Mbps
- Λειτουργία στη συχνότητα των 5 GHz
- Έχει εμβέλεια έως 50 μέτρα με ισχύ μετάδοσης 1W
- Αργή κινητικότητα 1,4 m/s
- Υποστηρίζει ασύγχρονη και σύγχρονη κίνηση
- Ήχος 32 kbit/s, με καθυστέρηση 10 ns

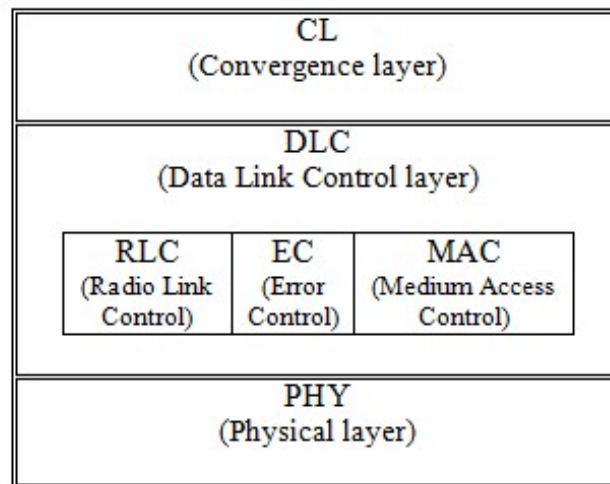
- Βίντεο 2 Mbit/s, με καθυστέρηση 100 ns
- Το HiperLAN/1 δεν παρεμβάλλεται από τους φούρνους μικροκυμάτων και άλλες συσκευές κουζίνας, οι οποίες βρίσκονται στα 2,4 GHz.

2.5.2 HiperLAN-2

Η λειτουργική προδιαγραφή HiperLAN-2 ολοκληρώθηκε τον Φεβρουάριο του 2000, υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 54Mbps και χρησιμοποιεί την συχνότητα των 5GHz. Το πρότυπο HIPERLAN-2 υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας : [65]

1. Τον κεντρικό τρόπο (centralized mode): Ένα AP είναι συνδεδεμένο σε ένα κεντρικό δίκτυο που εξυπηρετεί τα κινητά τερματικά που σχετίζονται με αυτό. Όλη η κυκλοφορία πρέπει να περάσει από το AP.
2. Τον άμεσο (direct mode): Τα τερματικά μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα απευθείας μεταξύ τους όπως συμβαίνει σε ένα ad hoc δίκτυο.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική των επιπέδων του προτύπου.



Εικόνα 2.9: Αρχιτεκτονική του προτύπου [66]

Το ανώτερο επίπεδο που παρουσιάζεται στο πρότυπο είναι το επίπεδο σύγκλισης (CL). Η κύρια λειτουργία του είναι η λήψη και αποστολή πακέτων από και προς τα υψηλότερα επίπεδα με αποτελεσματικό τρόπο.

Το επίπεδο ελέγχου ζεύξης δεδομένων (DLC) αποτελείται από τα υποεπίπεδα ελέγχου ραδιοζεύξης (RLC), ελέγχου σφαλμάτων (EC) και ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC).

•RLC: Καθορίζει τον τρόπο μετάδοσης (transmission strategy mode)

•EC: Είναι υπεύθυνο για την συσχέτιση και επιβεβαίωση της ταυτότητας του χρήστη (association, authentication), τη κωδικοποίηση (encryption), τη δυναμική επιλογή συχνότητας (dynamic frequency selection), το έλεγχος ισχύος (power control) και τη εξοικονόμηση ενέργειας (power saving).

•MAC: Το υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο είναι υπεύθυνο για την κατασκευή των πλαισίων.

Τέλος, χαμηλότερα βρίσκεται το φυσικό επίπεδο (PHY). Το Φυσικό επίπεδο είναι βασισμένο σε OFDM ικανό να παρέχει ταχύτητα μεταφοράς έως και 54 Mbps. Ένα κύριο χαρακτηριστικό του

φυσικού στρώματος είναι ότι υποστηρίζει πολλούς τρόπους λειτουργίας με διαφορετικούς ρυθμούς κωδικοποίησης και διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης. Τα σχήματα διαμόρφωσης που υποστηρίζονται είναι Binary Phase Shift Keying (BPSK), Quaternary PSK (QPSK), 16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM) και 64-QAM, ενώ οι ρυθμοί κωδικοποίησης είναι 1/2, 3/4, και 9/16. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι επτά τρόποι λειτουργίας φυσικού στρώματος που έχουν προδιαγραφεί, αναφορικά με τα σχήματα διαμόρφωσης και τους ρυθμούς κωδικοποίησης καθώς και οι προκύπτοντες ρυθμοί μετάδοσης φυσικού επιπέδου.

Mode	Modulation	Code rate	PHY bit rate
1	BPSK	1/2	6 Mbps
2	BPSK	3/4	9 Mbps
3	QPSK	1/2	12 Mbps
4	QPSK	3/4	18 Mbps
5	16QAM	9/16	27 Mbps
6	16QAM	3/4	36 Mbps
7	64QAM	3/4	54 Mbps

Εικόνα 2.10: Λειτουργία του φυσικού στρώματος HIPERLAN-2 [28]

2.5.3 Δομή του πλαισίου MAC

Το πρωτόκολλο του MAC βασίζεται στην αμφιδρόμηση διαίρεσης χρόνου (TDD) και στη δυναμική πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA). Ένα τυπικό δίκτυο HiperLan-2 υποστηρίζει επικοινωνία μεταξύ AP και κινητού τερματικού καθώς και επικοινωνία μεταξύ τερματικών. Η βασική δομή του πλαισίου MAC η οποία φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί στην ασύρματη διεπαφή έχει σταθερή διάρκεια 2 ms. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από τέσσερα ή πέντε τμήματα (phases). Αυτά είναι:

- Το τμήμα εκπομπής προς όλα τα τερματικά (Broadcast phase)
- Το τμήμα λήψης πληροφοριών (Downlink phase)
- Το τμήμα άμεσης ζεύξης (Direct Link phase)
- Το τμήμα αποστολής πληροφοριών (Uplink phase)
- Το τμήμα τυχαίας πρόσβασης (Random access phase)

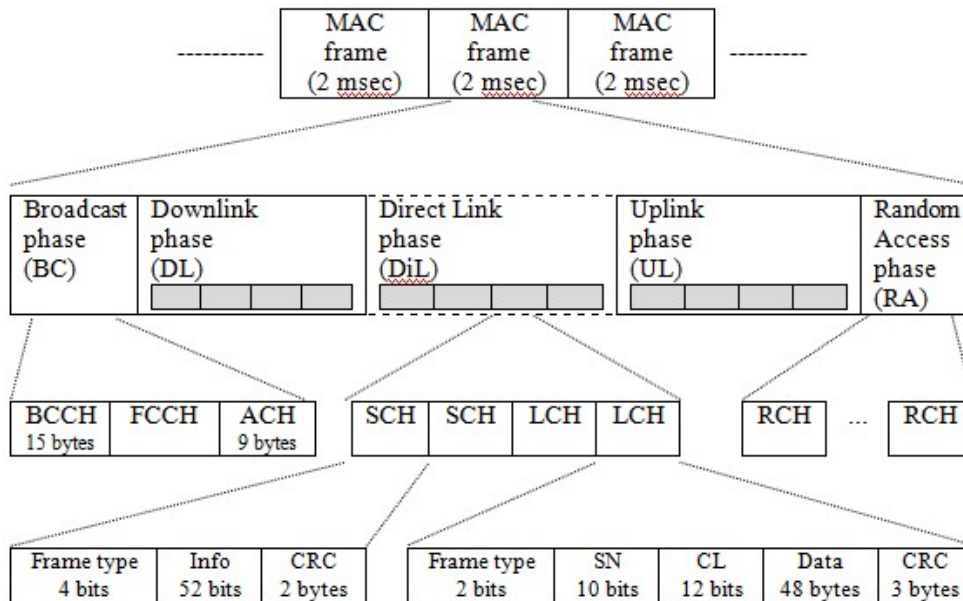
Broadcast phase: Αποτελείται από τρία μέρη:

1. Το **BCCH (broadcast control channel)**: Περιέχει τις πληροφορίες ελέγχου που στέλνονται σε κάθε πλαίσιο MAC.
2. Το **FCCH (frame control channel)**: Περιγράφει την κατανομή των πόρων στο τρέχον πλαίσιο MAC.
3. Το **ACH (access feedback channel)**: Περιέχει τις πληροφορίες για τις προηγούμενες προσπάθειες τυχαίας πρόσβασης.

Τα πεδία **uplink phase** και **downlink phase**: Περιέχουν τα δεδομένα από και προς τα κινητά τερματικά, αντίστοιχα. Υποδιαιρούνται σε βραχείς διαύλους (SCH) και μακρούς διαύλους (LCH), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μετάδοση δεδομένων και έχουν μήκη 9 και 54 byte, αντίστοιχα.

Το πεδίο **direct link**: Περιέχει τις πληροφορίες που ανταλλάσσονται απ' ευθείας μεταξύ κινητών τερματικών.

Το πεδίο **RCH**: Περιέχει χρονοσχισμένες τυχαίες πρόσβασης και χρησιμοποιείται από τα κινητά τερματικά για την εγκατάσταση συνδέσεων με τα AP.



Εικόνα 2.11: Δομή του πλαισίου MAC του HIPERLAN-2 [66]

Μια ιδιαιτερότητα του HiperLAN που πρέπει να επισημάνουμε είναι η δυνατότητα QoS (Quality Of Service, Ποιότητα Υπηρεσιών). [20] Με το QoS μπορούν τα πακέτα δεδομένων να κατηγοριοποιούνται και να αποκτούν διαφορετική σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το είδος. Ακόμα παρέχει την δυνατότητα 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)[] ενώ παράλληλα υποστηρίζει την πιστοποίηση και κρυπτογράφηση για να επιτυγχάνει μεγαλύτερη ασφάλεια. Τέλος κάποια από τα χαρακτηριστικά της 2 έκδοσης είναι:

- Υψηλή ταχύτητα μετάδοσης
- Υποστήριξη Quality of Service (QoS)
- Αυτόματη κατανομή συχνοτήτων
- Υποστήριξη ασφάλειας
- Υποστήριξη της κινητικότητας
- Ανεξαρτησία δικτύου και εφαρμογών
- Εξοικονόμηση ενέργειας

2.6 Το πρότυπο IEEE 802.11

Το 1997 δημιουργήθηκε το πρότυπο IEEE 802.11 της IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) το οποίο σχεδιάστηκε σύμφωνα με τους κανόνες της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών των Η.Π.Α (FCC). Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που υποστηρίζει ξεκινάει από τα 1 Mbps και φτάνει τα 2 Mbps με τη χρήση διαμόρφωσης φάσματος στις ζώνες συχνοτήτων ISM (Industrial Scientific Medical) στα 2.4-2.4835 GHz. Το 802.11 αποτελεί το πρώτο πρότυπο για ασύρματη δικτύωση και ακολουθείται από τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα μέχρι και σήμερα. Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν συμπληρωματικά πρότυπα όπως το IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n και IEEE 802.11ac με αρκετές βελτιώσεις και επιπλέον λειτουργίες.

Τα διάφορα πρότυπα της οικογένεια IEEE 802.11 συνοψίζονται παρακάτω έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά: [21]

- Χρησιμοποιούν όλα το ίδιο πρωτόκολλο προσπέλασης μέσου, το CSMA/CA
- Χρησιμοποιούν την ίδια δομή πλαισίου για τα πλαίσια επιπέδου ζεύξης.
- Το σημαντικότερο είναι ότι τα προϊόντα 802.11 είναι συμβατότητα το ένα με το άλλο.

2.6.1 IEEE 802.11a

Η τροποποίηση 802.11a στο αρχικό πρότυπο IEEE 802.11 επικυρώθηκε το 1999. Το IEEE 802.11a σε ιδανικές συνθήκες επιτυγχάνει ρυθμό μετάδοσης έως 54 Mbps και λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων 5,15 - 5,875GHz. Το 802.11a χρησιμοποιεί Ορθογώνια Πολύπλεξη συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) το οποίο παρέχει υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. [22]

2.6.2 IEEE 802.11b

Το 2000 ανακοινώθηκε το IEEE 802.11b το οποίο υποστηρίζει δύο ταχύτητες, 5,5 Mbps και 11 Mbps, χρησιμοποιώντας τη ζώνη συχνοτήτων 2,4 GHz. Τα 11 Mbps είναι εφικτά σε ιδανικές συνθήκες. Το 802.11b χρησιμοποιεί Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) αυτό το σχήμα μετάδοσης χρησιμοποιείται για την παροχή υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης bit.

Σε μη ιδανικές συνθήκες χρησιμοποιούνται ταχύτητες 5,5 Mbps, 2Mbps και 1 Mbps. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το 802.11b χρησιμοποιεί την ίδια ζώνη συχνοτήτων με αυτή που χρησιμοποιείται από φούρνοι μικροκυμάτων και ασύρματα τηλέφωνα με μειονέκτημα να υπάρχουν παρεμβολές.

2.6.3 IEEE 802.11g

Το IEEE 802.11g εμφανίστηκε το 2003, λειτουργεί με ρυθμό μετάδοσης bit έως και 54 Mbps, αλλά λειτουργεί στα 2,4 GHz ζώνη συχνοτήτων και χρησιμοποιεί Ορθογώνια Πολύπλεξη συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM). Από το καλοκαίρι του 2003, τα περισσότερα προϊόντα που υποστήριζαν τα δύο πρότυπα 802.11a/b, υποστήριζαν πλέον και το 802.11g. [22]

2.6.4 IEEE 802.11n

Το πρότυπο IEEE 802.11n παρουσιάστηκε το 2009 στοχεύει στη βελτίωση της απόστασης (έως 250 m) σε σχέση με τα δύο προηγούμενα πρότυπα, 802.11a και 802.11g. Το τυπικό εύρος του ρυθμού μετάδοσης είναι από 150Mb/s έως και 600Mb/s. Ενσωματώνει την τεχνολογία MIMO, η οποία

χρησιμοποιεί κεραίες πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων στον πομπό και στον δέκτη. Το 802.11n λειτουργεί στη μπάντα των 2,4GHz και στη μπάντα των 5GHz.

2.6.5 IEEE 802.11ac

Λειτουργεί στη ζώνη των 5GHz και χρησιμοποιεί κεραίες πολλαπλών εισόδων-πολλαπλών εξόδων (multiple input-multiple output, MIMO) όπως και το πρότυπο IEEE 802.11n, δηλαδή, δύο ή περισσότερες κεραίες στην πλευρά αποστολής και δύο ή περισσότερες κεραίες στην πλευρά λήψης, που μεταδίδουν/λαμβάνουν διαφορετικά σήματα για την παροχή ταχυτήτων δεδομένων από 450Mb/s μέχρι και 6.77Gb/s. [22]

2.7 Επίλογος

Στο παραπάνω κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια εκτενής αναφορά στα ασύρματα WLAN πρότυπα και τη χρήση τους. Τα ασύρματα δίκτυα προσφέρουν ευκολία στην εγκατάσταση και τη διαχείριση και βέβαια μεγάλη ευελιξία στη χρήση. Υπάρχουν πολλές ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών οι οποίες μπορούν να διαφοροποιηθούν από τη συχνότητα, το εύρος ζώνης, την έκταση την οποία μπορούν να καλύψουν και από τις εφαρμογές. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο φυσικό επίπεδο του προτύπου IEEE 802.11.

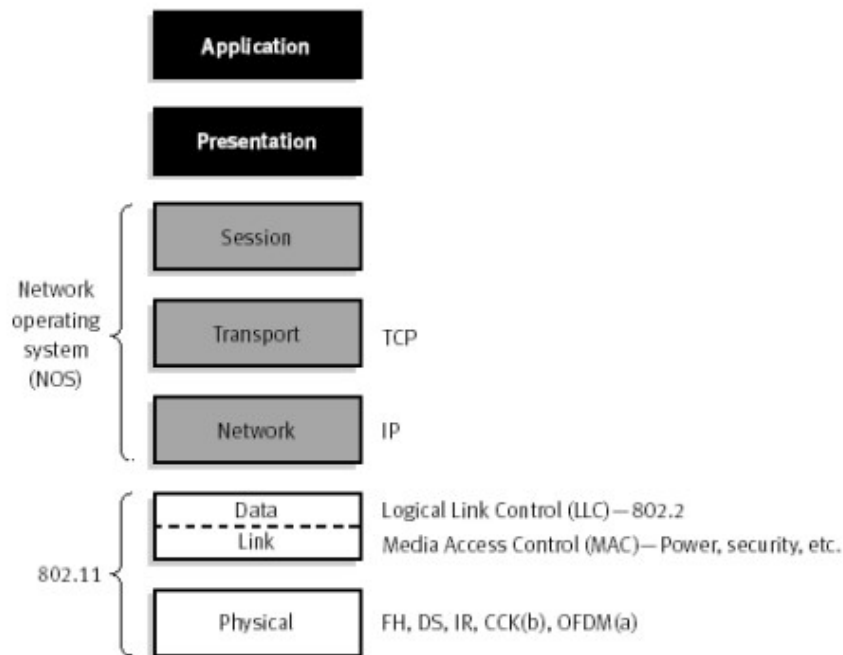
Κεφάλαιο 3ο: Φυσικό Επίπεδο Του Προτύπου IEEE 802.11

3.1 Εισαγωγή

Ένα σημαντικό συστατικό της αρχιτεκτονικής του προτύπου 802.11 είναι το φυσικό επίπεδο στο οποίο αναφέρεται το παρόν κεφάλαιο, καθώς και το υπόστρωμα MAC, στο οποίο θα αναφερθούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Επιπρόσθετα στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των τεχνικών διασποράς φάσματος που χρησιμοποιούνται.

3.2 Το φυσικό επίπεδο του προτύπου IEEE 802.11

Το 1983 ο διεθνής οργανισμός τυποποιήσεων ISO, σε συνεργασία με τον διεθνή οργανισμό τηλεπικοινωνιακών τυποποιήσεων την ITU - International Telecommunications Union ανακοίνωσαν το μοντέλο OSI (Open System Interconnection reference model). Το OSI είναι ένα μοντέλο αναφοράς, ένα πρότυπο αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, που έχει σκοπό να αποτελέσει το πλαίσιο τυποποιήσεων για την επίλυση όλων των επί μέρους προβλημάτων στις επικοινωνίες μεταξύ διαφορετικών υπολογιστών. Το μοντέλο OSI διαχωρίζει τις διάφορες λειτουργίες που απαιτούνται για την επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών συστημάτων καταθέτοντας τες σε επτά διακριτά επίπεδα ή στρώματα που σχετίζονται μεταξύ τους με λογική ιεραρχία τα οποία αναπαριστώνται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Μοντέλο αναφοράς OSI [1]

Το IEEE 802.11 είναι το πρώτο πρότυπο που δημιουργήθηκε για ασύρματη δικτύωση όπως ήδη έχουμε προαναφέρει. Σε αυτό ορίζονται το υπο-επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC) και το φυσικό επίπεδο (PHY) όπως διακρίνουμε στην Εικόνα 3.2. Το φυσικό επίπεδο είναι το πρώτο επίπεδο που συναντάμε στο πρότυπο IEEE 802.11. Το επίπεδο αυτό αποτελείται από τρία διαφορετικά υπο-επίπεδα, το πρώτο είναι το υπο-επίπεδο εξάρτησης φυσικού μέσου (Physical medium dependent - PMD - sublayer), το δεύτερο είναι το υπο-επίπεδο διαδικασίας σύγκλισης του φυσικού επιπέδου (Physical layer convergence procedure - PLCP - sublayer) και το τρίτον το υπόστρωμα διαχείρισης φυσικού στρώματος (PHY sublayer management): [25]

- Υπόστρωμα διαχείρισης φυσικού στρώματος (Physical Layer Management, PLM): Καθορίζει την τεχνική διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για τη σηματοδότηση στο φυσικό μέσο και το υπόστρωμα διαχείρισης αποφασίζει για τον συντονισμό του διαύλου για τις διάφορες παραλλαγές του κάθε φυσικού μέσου.
- Διαδικασία σύγκλισης φυσικού επιπέδου (physical layer convergence procedure, PLCP): Είναι η πιο βασική μονάδα που εκτελείται στο φυσικό στρώμα. Επικοινωνεί με το υπο-επίπεδο MAC μέσω κάποιων στοιχείων υπηρεσίας τα οποία λέγονται service primitives με την βοήθεια των Service Access Points του φυσικού στρώματος. Όταν αυτό το υπόστρωμα MAC δώσει εντολή για μετάδοση των primitives αλλά και των πακέτων τότε ετοιμάζονται κάποιες μονάδες η οποίες ονομάζονται MAC Protocol Data Units ώστε να μπορέσει να μεταφέρει μέσω τον μονάδων αυτών την πληροφορία από το PLCP στο υπο-επίπεδο MAC.

Αρα η λειτουργία που κάνει το PLCP είναι να προσαρτίζει κάποια πεδία μέσα στο MAC Protocol Data Units που περιέχουν πληροφορίες που χρειάζονται οι πομποί και οι δέκτες του φυσικού στρώματος. Η πληροφορία που χρειάζονται είναι το package size δηλαδή πόσο είναι το μήκος του πακέτου για να ξέρει ακριβώς ο δέκτης ή ο πομπός αυτό το πακέτο που θα πάρει που αρχίζει και που τελειώνει. [1]

- Υπο-επίπεδο εξαρτώμενο από το φυσικό μέσο (physical medium dependent sublayer, PMD): Συνεργάζεται με το PLCP και ορίζει τα χαρακτηριστικά και τη μέθοδο εκπομπής και λήψης δεδομένων των χρηστών διαμέσου ενός ασύρματου μέσου ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους σταθμούς.

Επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Data link layer)	Υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (Medium Access Control - MAC sublayer)	Διαχείριση υποεπιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC sublayer management)	Διαχείριση σταθμού (Station management)
Φυσικό επίπεδο (Physical layer)	Υποεπίπεδο διαδικασίας σύγκλισης του φυσικού επιπέδου (Physical layer convergence procedure - PLCP - sublayer)	Διαχείριση φυσικού υποεπιπέδου (PHY sublayer management)	
	Υποεπίπεδο εξάρτησης φυσικού μέσου (Physical medium dependent - PMD - sublayer)		

Εικόνα 3.2: Επίπεδα του προτύπου 802.11 [23]

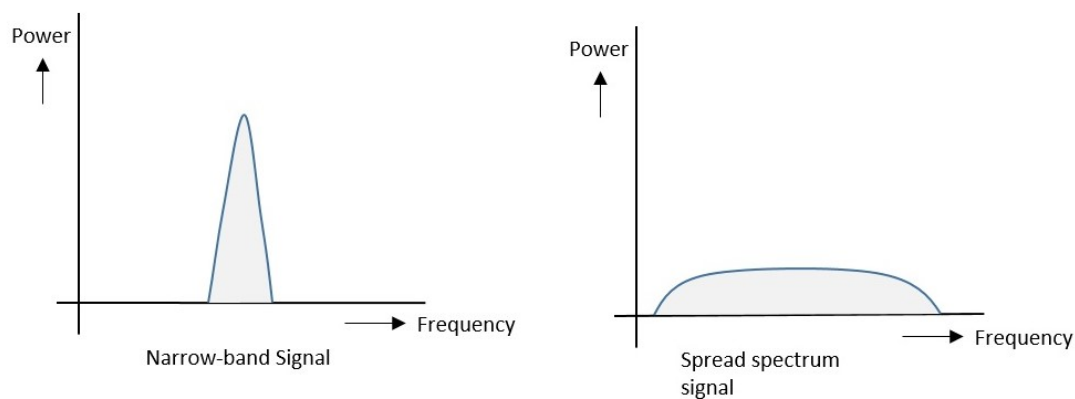
- Για την εκτέλεση των λειτουργιών του υποστρώματος PLCP, το 802.11 καθορίζει την χρήση των μηχανών κατάστασης (state machines). Κάθε μηχανή κατάστασης εκτελεί μία από τις παρακάτω λειτουργίες: [1]
- Ανίχνευση φέροντος (carrier sense): Η λειτουργία αυτή είναι η πρώτη και η πιο σημαντική που κάνει το φυσικό επίπεδο και αφορά τον καθορισμό της κατάστασης του μέσου. Δηλαδή αν το μέσο είναι ελεύθερο για αποστολή ή για λήψη η αν το μέσο είναι κατειλημμένο
- Μετάδοση: Η λειτουργία αυτή αναφέρεται στην αποστολή των διαδοχικών bytes ενός πλαισίου δεδομένων
- Λήψη: Η λειτουργία αυτή αναφέρεται στην λήψη διαδοχικών bytes ενός πλαισίου δεδομένων

3.3 Διασπορά Φάσματος (Spread Spectrum)

Η τεχνολογία διασποράς φάσματος (spread spectrum) αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για δεκαετίες σε στρατιωτικές εφαρμογές και έχει τρία σημαντικά πλεονεκτήματα τα οποία είναι:

- η αντοχή της σε παρεμβολές
- η ελάχιστη πιθανότητα ανίχνευσης
- η δυσκολία υποκλοπής

Η Διασπορά Φάσματος (Spread spectrum) είναι μια τεχνική επικοινωνιών η οποία απλώνει ένα τηλεπικοινωνιακό σήμα στενής ζώνης σε μια ευρύτερη ζώνη συχνοτήτων για εκπομπή και στη συνέχεια ανακτάται το αρχικό σήμα στο δέκτη. [29] Μειονεκτήματα τους η αυξημένη πολυπλοκότητα και οι μεγαλύτερες φασματικές απαιτήσεις. Στην Εικόνα 3.3 που ακολουθεί, φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται οι τεχνικές spread spectrum.



Εικόνα 3.3: Εξάπλωση ενός σήματος στενής ζώνης με την τεχνική διασποράς φάσματος [31]

Όσον αφορά το πρότυπο IEEE 802.11 προδιαγράφονται τέσσερις τεχνικές διαμόρφωσης ασύρματης μετάδοσης αυτές είναι :

- Διασπορά φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread

Spectrum - FHSS)

- Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS)
- Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division

Multiplexing - OFDM)

- Υπέρυθρες Ακτίνες (Infrared)

Στις δύο πρώτες τεχνικές υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης 1 και 11Mbps στην ζώνη συχνοτήτων 2.4 – 2.4835GHz, ενώ η OFDM χρησιμοποιείται στην ζώνη συχνοτήτων 5GHz και ο ρυθμοί μετάδοσης είναι έως και 54Mbps. [26]

3.4 Διασπορά φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum - FS ή FHSS)

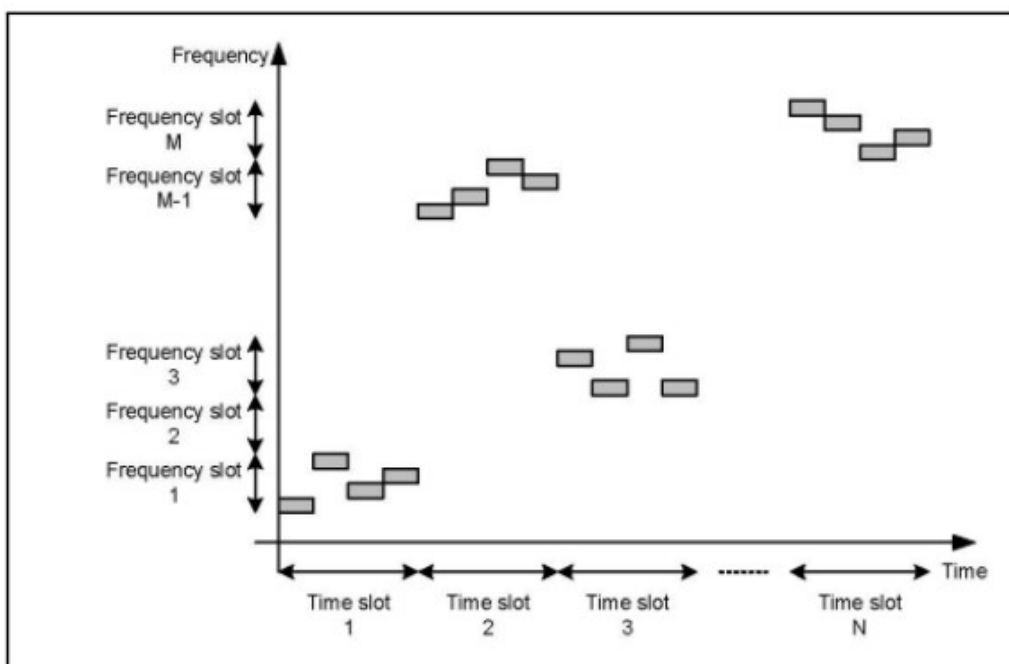
Στα συστήματα FHSS, η συχνότητα με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα λαμβάνει διάφορες τιμές που επιλέγονται από μια ομάδα συχνοτήτων. Έτσι, ο πομπός στέλνει δεδομένα σε δοθείσα συχνότητα για ένα σταθερό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια μεταπηδάει στην επόμενη συχνότητα για ένα άλλο σταθερό χρονικό διάστημα. Το σχέδιο μεταπήδησης συχνότητας είναι γνωστό στον πομπό και

στον δέκτη, οπότε ο συνθέτης συχνοτήτων στον δέκτη μπορεί να κάνει μεταπηδήσεις συγχρονισμού και να ανακάτ το αρχικό σήμα δεδομένων. [26]

Τα συστήματα FHSS, που ορίζονται στο φυσικό στρώμα του 802.11, είναι αργά συστήματα όσον αφορά τη μεταπήδηση συχνότητας. καθότι μεταδίδουν πολλαπλά διαδοχικά σύμβολα στην ίδια συχνότητα. Στα συστήματα FHSS, γειτονικές ή επικαλυπτόμενες κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικά σχέδια μεταπήδησης.

Το FHSS χρησιμοποιεί ως τεχνική διαμόρφωσης την 2-level GFSK και την 4-level GFSK (Gaussian FSK) για 2 Mbps. Το 802.11 προβλέπει τη διαίρεση του χρήσιμου φάσματος στα 2,4 GHz σε 79 κανάλια (Αμερική και Ευρώπη ενώ για την Ιαπωνία είναι 23 κανάλια) του 1 MHz. Ο μέγιστος χρόνος εκπομπής του πομπού σε κάθε κανάλι είναι 400 msec ισοδύναμα 2,5 hops/sec. [24]

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4 ο κατακόρυφος άξονας του γραφήματος που αναπαριστά την συχνότητα διαιρείται σε κανάλια συχνοτήτων. Ξεκινώντας από κάτω ορίζουμε κάθε κανάλι με F1, F2, F3 και ούτω καθεξής έπειτα, διαιρούμε επίσης έναν χρόνο διαδρομής δεδομένων σε μικρότερες χρονικές μονάδες ή τμήματα και τα ορίζουμε με T1 T2, T3 κτλ. Η ακολουθία των συχνοτήτων δεν είναι πραγματικά τυχαία, αλλά αντίθετα υπολογίζεται αλγοριθμικά από μια γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών. Ο συγχρονισμός των αλμάτων (hops) από την μια συχνότητα στην άλλη είναι το κλειδί για την επιτυχία.



Εικόνα 3.4: Παράδειγμα Frequency hopping [24]

3.4.1 Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση FHSS

Η επικεφαλίδα του πλαισίου PLCP μεταδίδεται πάντοτε με τον χαμηλότερο ρυθμό για δύο κυρίως λόγους: [28]

- διευκολύνει τον συγχρονισμό του δέκτη και
- η έναρξη διαλόγου μεταξύ δέκτη και πομπού διευκολύνεται από τη χρήση επικεφαλίδας της ίδιας μορφής.

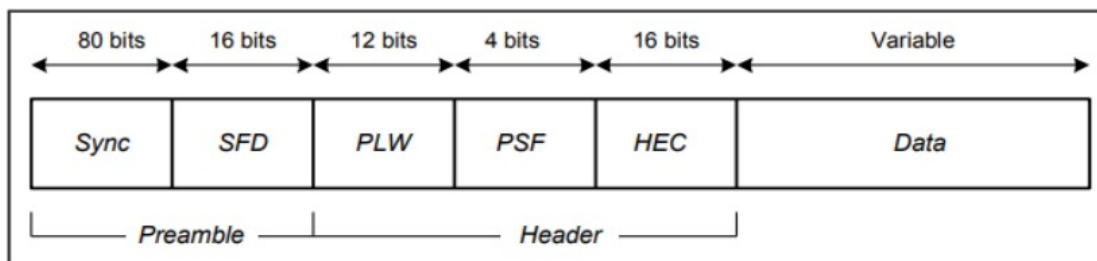
Στην Εικόνα 3.5 φαίνεται η μορφή του πλαισίου PLCP για IEEE 802.11 που χρησιμοποιεί φυσικό στρώμα με FHSS:

PLCP Preamble: Χρησιμεύει για τον συγχρονισμό πομπού και δέκτη και για τον ορισμό της αρχής του πλαισίου. Περιέχει τα πεδία :

- Το πεδίο **SYNC**: έχει μήκος 80 bit και είναι μια εναλλαγή από 1 και 0.
- Το πεδίο **SFD (Start Frame Delimiter)**: είναι η ειδική ακολουθία 16 bit 0000110010111101 και οριοθετεί την έναρξη του πλαισίου.

Στο **PLCP header (Επικεφαλίδα)** περιλαμβάνονται τρία πεδία:

- Το πεδίο **PLW (Packet Length Width)**: έχει μήκος 12 bit και δείχνει το μήκος του πλαισίου.
- Το πεδίο **PSF (Packet Signaling Field)**: έχει μήκος 4 bit και δείχνει τον χρησιμοποιούμενο ρυθμό μετάδοσης.
- Το πεδίο **HEC (Header Error Check)**: Για να προστατευτεί από τα λάθη το PLCP header, υπολογίζει από τα περιεχόμενα του header ένα CRC μεγέθους 16 bit.
- **Data**: Η PDU του MAC διέρχεται πρώτα από έναν αναδευτή (scrambler), ώστε να τυχαιοποιηθεί η ακολουθία των μεταδιδόμενων bit. [28]

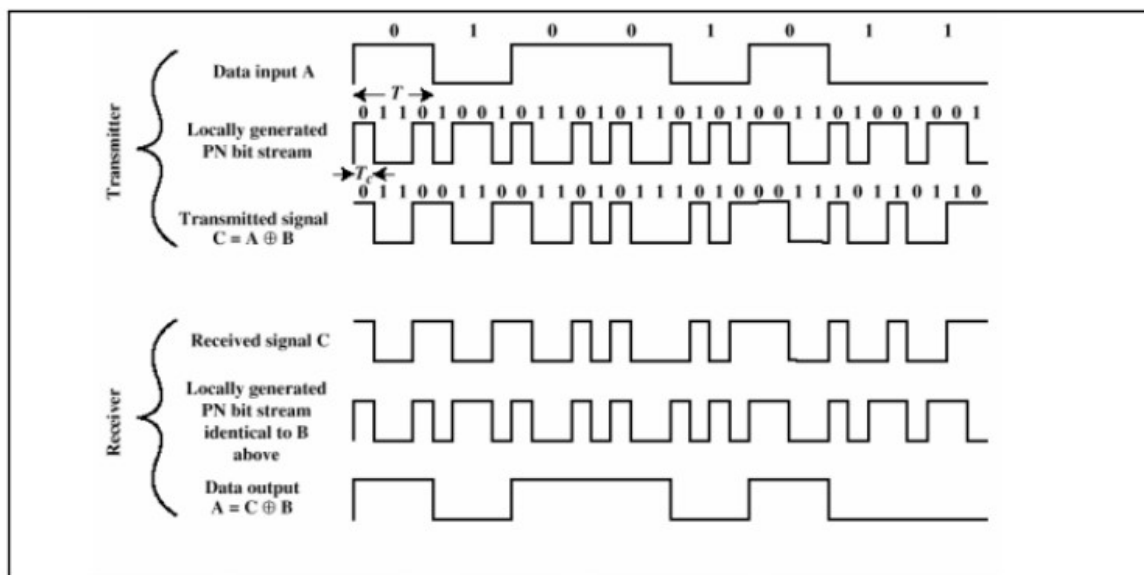


Εικόνα 3.5: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα FHSS [27]

3.5 Διασπορά φάσματος άμεσης ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS)

Το DSSS είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μέθοδος διαμόρφωσης και μετάδοσης στις ασύρματες επικοινωνίες. Η DSSS συνδυάζει τα bits πληροφορίας (σήμα δεδομένων) με μια ακολουθία bit υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης ψευδοτυχαίων αριθμών (pseudorandom number, PN). Η PN ονομάζεται Chipping Code. Τα bits που προκύπτουν από τον συνδυασμό των bits πληροφορίας με τον chipping code ονομάζονται chips τα οποία είναι και αυτά που τελικά εκπέμπονται. Όσο υψηλότερο είναι το processing gain (περισσότερα chips) τόσο μεγαλώνει η αντίσταση του σήματος σε παρεμβολές καθώς το σήμα απλώνεται σε περισσότερες συχνότητες. [29]

Για το πρότυπο 802.11 η ακολουθία ψευδοτυχαίων αριθμών είναι 11 bit. Σημειωτέον ότι ο λόγος chips/bit ονομάζεται Λόγος Διασποράς (spreading ratio) και χαρακτηρίζει το βαθμό διασποράς στη ζώνη συχνοτήτων. Στο δέκτη το λαμβανόμενο σήμα πολλαπλασιάζεται πάλι με την ίδια ψευδοτυχαία ακολουθία και έτσι απομονώνουμε το αρχικό σήμα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται καλύτερα πως διαμορφώνεται/αποδιαμορφώνεται το σήμα μετάδοσης στη DSSS.



Εικόνα 3.6: Παράδειγμα DSSS [25]

Η γνώση της ψευδοτυχαίας ακολουθίας στο δέκτη μας δίνει τη δυνατότητα να ξεχωρίσουμε το σήμα από το θόρυβο και λοιπές παρεμβολές, έτσι αντιμετωπίζονται προβλήματα παρεμβολών. Ισχυρό σημείο του DSSS είναι το γεγονός ότι η διασπορά σε ευρύτερο φάσμα το κάνει να ανθεκτικό σε παρεμβολές. Το DSSS χρησιμοποιεί τεχνική διαμόρφωσης DB-PSK (Differential Binary PSK) για μετάδοση δεδομένων σε ταχύτητα 1 Mbps και DQ-PSK (Differential Quadrature PSK) για ρυθμό μετάδοσης 2 – 11 Mbps. [26]

Το κύριο πρόβλημα όμως στη DSSS είναι το φαινόμενο Near-Far. Αυτό συμβαίνει όταν ένας 'άσχετος' χρήστης βρίσκεται πιο κοντά στο δέκτη απ' ότι ο χρήστης του οποίου την εκπομπή θέλουμε να λάβουμε. [25] Τότε είναι πιθανό η παρεμβολή από τον άσχετο χρήστη να έχει μεγαλύτερη ισχύ από το επιθυμητό σήμα.

3.5.1 Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση DSSS

Η επικεφαλίδα του πλαισίου PLCP μεταδίδεται πάντοτε με τον χαμηλότερο ρυθμό.

Στην Εικόνα 3.7 φαίνεται η μορφή του πλαισίου PLCP για IEEE 802.11 που χρησιμοποιεί φυσικό στρώμα με DSSS:

PLCP Preamble: Το τμήμα αυτό χρησιμεύει για το συγχρονισμό πομπού και δέκτη και για τη δήλωση της αρχής του πλαισίου. Περιέχει τα πεδία :

- **Το πεδίο SYNC:** έχει μήκος 128 bit, μεγαλύτερο από εκείνο του FHSS, διότι το DSSS χρειάζεται περισσότερο χρόνο να συγχρονιστεί.
- **Το πεδίο SFD (Start Frame Delimiter):** είναι η ειδική ακολουθία 16 bit 1111001110100000.

Στο PLCP header (Επικεφαλίδα) περιλαμβάνονται τα πεδία:

- **Το πεδίο Signal:** έχει μήκος 8 bit και δείχνει τον χρησιμοποιούμενο ρυθμό μετάδοσης.
- **Το πεδίο Service:** είναι δεσμευμένο για μελλοντική χρήση και δεν υπάρχει στο πλαίσιο PLCP του FHSS.
- **Το πεδίο Length:** με μήκος 16 bit καθορίζει τη διάρκεια της PDU του MAC σε msec.

- Το πεδίο **CRC(Cyclic Redundancy Code)**: Κυκλικός κώδικας πλεονασμού που προστατεύει τα υπόλοιπα πεδία του header.
- **Data**: PDU του MAC δεν διέρχεται από αναδευτή, διότι κάθε bit μεταδίδεται ως ακολουθία τυχαίων chip. [28]

PLCP Preamble		PLCP Header				Data
Sync	SFD	Signal	Service	Length	CRC	Data
128	16	8	8	16	16	

Εικόνα 3.7: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα DSSS [27]

3.6 Σύγκριση DSSS-FHSS

Βασικό πλεονέκτημα της DSSS έναντι της FHSS είναι η μεγαλύτερη χωρητικότητα που παρέχει. Όμως εμφανίζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε εξωτερικούς παράγοντες. Τυπικές εφαρμογές της DSSS έχουμε σε ασύρματα LANs μικρά τοπικά δίκτυα εσωτερικού χώρου και point-to-point ζεύξεις μεταξύ κτιρίων. Στην DSSS η ακολουθία chip είναι γνωστή καθώς επίσης και η φέρουσα είναι σταθερή, με αποτέλεσμα να μπορεί εύκολα να γίνει υποκλοπή της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Ένα DSSS σύστημα έχει ρυθμό στο φυσικό μέσο μέχρι 11 Mbps ενώ τα FHSS συστήματα έχουν ρυθμούς μέχρι 3 Mbps.

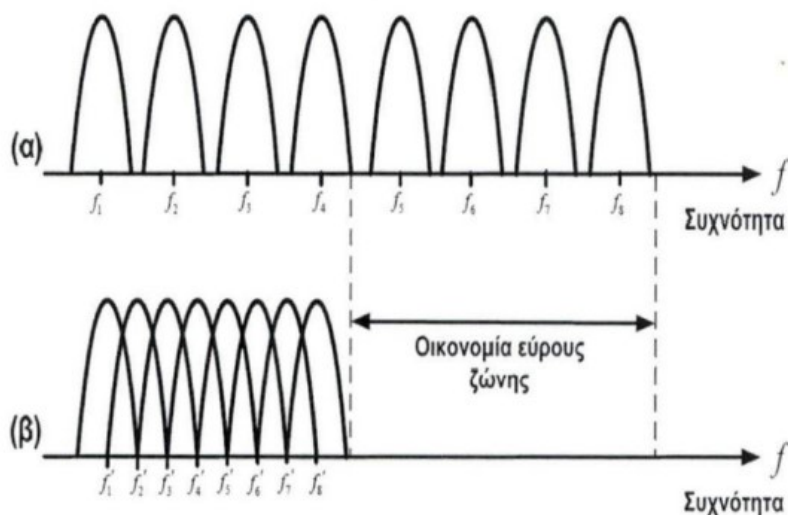
Η FHSS αντίθετα εμφανίζει μεγάλη ανθεκτικότητα σε θορύβους, ανακλάσεις και παρεμβολές γενικότερα και αυτοί οι λόγοι την καθιστούν επαρκέστερη για point-to-multipoint (σημείο προς σημεία) εφαρμογές και συνίσταται για κάλυψη μεγάλων περιοχών. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης είναι απλή. Ενώ οι υποκλοπείς, μπορούν να λάβουν μόνο μέρος της πληροφορίας το κομμάτι πληροφορίας που μεταδίδεται στην συχνότητα που υποκλέπεται.

3.7 Ορθογωνική πολύπλεξη διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM)

Η Ορθογώνια Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνοτήτων (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) είναι μια μορφή διαμόρφωσης που βασίζεται στην τεχνική FDM και είναι γνωστή από την δεκαετία του 1960. Βασική αρχή της είναι ο διαχωρισμός του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε υποφορείς (subcarriers), ώστε να έχουμε ταυτόχρονη μετάδοση πληροφορίας από κανάλια χαμηλού ρυθμού όσο ο αριθμός των υποφορέων.

Ωστόσο, η OFDM είναι βελτιωμένη σε σχέση με την FDM, όπως παρατηρούμε στην παρακάτω εικόνα αφού κατανέμει τα δεδομένα σε ένα μεγάλο αριθμό επικαλυπτόμενων καναλιών των οποίων οι φέρουσες απέχουν τακτά διαστήματα μεταξύ τους. Η συχνοτική απόσταση των φερουσών επιλέγεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ορθογωνικές μεταξύ τους και άρα να μην παρεμβάλει το περιεχόμενο της μιας στην άλλη και να χρησιμοποιείται αποδοτικά το διαθέσιμο εύρος ζώνης.

Αυτό το πλεονέκτημα της OFDM παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα, όπου φαίνεται το εύρος ζώνης που απαιτείται για μετάδοση μέσω οκτώ διαφορετικών υποφορέων με (α) για την τεχνική FDM και (β) για την τεχνική OFDM.



Εικόνα 3.8: Εξοικονόμηση φάσματος OFDM σε σχέση με FDM [32]

Με αυτό τον τρόπο παρόλο που τα κανάλια είναι πολύ κοντά στη συχνότητα και τα φάσματα τους επικαλύπτονται, τα μηνύματα σε διαφορετικά κανάλια δεν παρεμποδίζουν το ένα το άλλο, δεδομένου ότι η ανίχνευση σε ένα κανάλι γίνεται στο σημείο όπου όλα τα άλλα είναι μηδενικά.

Μεγάλο πλεονέκτημα της OFDM είναι ότι εμφανίζει μεγάλη αντοχή στο θόρυβο και σε λοιπές παρεμβολές καθώς και ότι αντιμετωπίζει ικανοποιητικά το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών (multipath effect). [25]

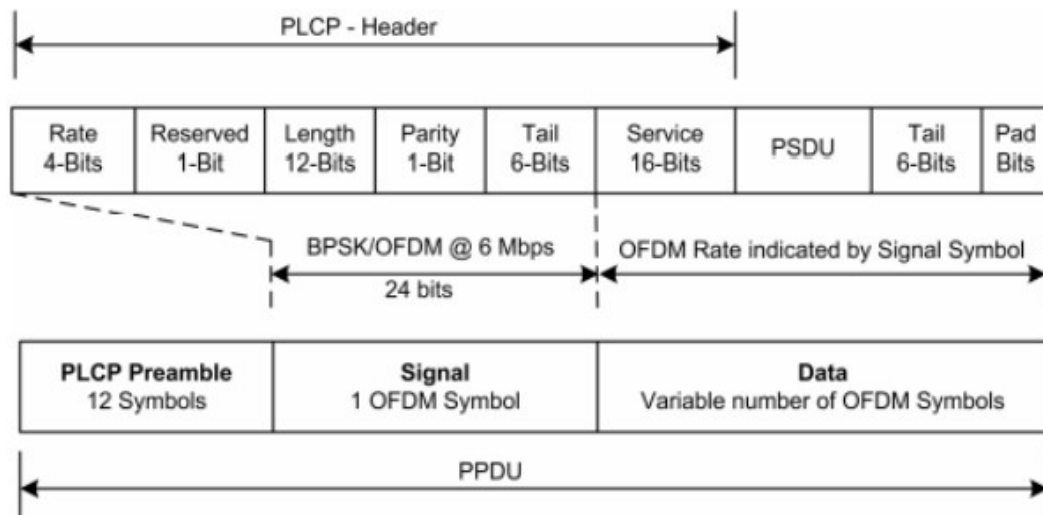
Η OFDM τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μετάδοσης ήχου, στο βίντεο και στα συστήματα επικοινωνίας, σημαντικές εφαρμογές περιλαμβάνουν: Ασύμμετρη ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (ADSL), Digital Video Broadcasting (DVB), τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV), στο WiMAX, Wireless LAN (WLAN) χρησιμοποιείται στα πρότυπα 802.11a, 802.11g, 802.11n και τέταρτης γενιάς (4G) συστήματα κινητών επικοινωνιών.

3.7.1 Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση OFDM

Στην Εικόνα 3.9 φαίνεται η μορφή του πλαισίου PLCP για IEEE 802.11 που χρησιμοποιεί φυσικό στρώμα με OFDM: [33]

- **PLCP Preamble:** Το τμήμα αυτό χρησιμεύει για το συγχρονισμό πομπού και δέκτη και για τη δήλωση της αρχής του πλαισίου. Αυτό το επιτυγχάνει με τη χρήση 12 συμβόλων.
- **Το πεδίο Signal:** μετά το preamble ένα OFDM σύμβολο.
- **Το πεδίο Rate:** Αποτελείται από 4 bits που χρησιμοποιούνται για να κωδικοποιούν τον ρυθμό μετάδοσης.
- **Το πεδίο Reserved:** Αποτελείται από 1 bit και έχει οριστεί σε 0, καθώς δεν χρησιμοποιείται αυτήν τη στιγμή.
- **Το πεδίο Length:** Πεδίο μήκους 12 bits, το οποίο περιέχει το μήκος του πλαισίου σε οκτάδες.
- **Το πεδίο Parity:** Είναι ένα bit άρτιας ισοτιμίας για τα 16 πρώτα bit του πεδίου Rate, Reserved και Length.
- **Το πεδίο Tail:** Πεδίο μήκους 6 bit, το οποίο ορίζεται πάντα με 0 και χρησιμοποιείται για διόρθωση λαθών.

- **Το πεδίο Service:** Αποτελείται από 16 bits η τιμή των οποίων είναι μηδέν. Τα πρώτα 7 bits χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό. Τα υπόλοιπα 9 δεσμεύονται για μελλοντική χρήση.
- **Το πεδίο Trailer Tail:** Πεδίο μήκους 6 bit, τα tail bits το οποίο είναι πάντα 0 είναι προσαρτημένα στο τέλος του MAC frame.
- **Το πεδίο Pad Bits:** Το πεδίο αυτό περιέχει τουλάχιστον 6 bit, αλλά στην πραγματικότητα στόχος του είναι να δημιουργήσει ένα μέγεθος δεδομένων ώστε αυτό να γίνει ακέραιο πολλαπλάσιο του αριθμού των κωδικοποιημένων bits σε ένα OFDM σύμβολο (48.96,192 288). Τα bit αυτά προστίθενται στο τέλος του πλαισίου.



Εικόνα 3.9: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα OFDM [33]

3.8 Υπέρυθρες Ακτίνες (Infrared - IR)

Η προδιαγραφή για τις υπέρυθρες ακτίνες καθορίζει μήκη κύματος στην περιοχή 850 έως 950nm και με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps. Γίνεται κωδικοποίηση του βασικού ρυθμού πρόσβασης 1 Mbps χρησιμοποιώντας διαμόρφωση 16-PPM, όπου 4 bit δεδομένων αντιστοιχούνται σε 16 κωδικοποιημένα bit προς μετάδοση. Ο αυξημένος ρυθμός, πρόσβασης 2 Mbps κωδικοποιείται με διαμόρφωση 4-PPM, όπου 2 bit δεδομένων αντιστοιχούνται σε 4 κωδικοποιημένα bit προς μετάδοση. [28] Η μετάδοση βασίζεται σε παλμούς διάρκειας 250ns. Η ακτίνα λειτουργίας του μπορεί να φτάσει περίπου τα 20 μέτρα.

Η υπέρυθρη περιοχή σχεδιάζεται μόνο για χρήση μέσα κτίρια και λειτουργεί με μη κατευθυνόμενες εκπομπές. Η σχεδίαση επιτρέπει στους σταθμούς να λαμβάνουν μεταδόσεις οπτικής επαφής καθώς και ανακλώμενες. Το υπέρυθρο φως δεν διαπερνά τοίχους ή άλλα αδιαφανή αντικείμενα.

Αυτό έχει δύο πλεονεκτήματα. Πρώτον, οι υπέρυθρες επικοινωνίες μπορούν να ασφαλιστούν πιο εύκολα από την υποκλοπή και δεύτερον, μια ξεχωριστή εγκατάσταση υπέρυθρων μπορεί να λειτουργήσει σε κάθε δωμάτιο ενός κτιρίου χωρίς παρεμβολές, επιτρέποντας την κατασκευή πολύ μεγάλων υπέρυθρων LANS. Ένα άλλο πλεονέκτημα των υπέρυθρων είναι ότι ο εξοπλισμός είναι σχετικά φθηνός και απλός. [30]

3.8.1 Μορφή πλαισίου PLCP με χρήση Υπέρυθρες Ακτίνες

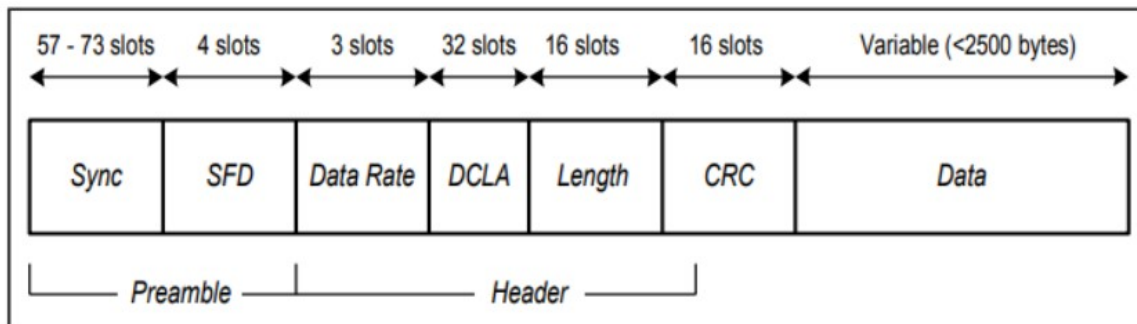
Στην Εικόνα 3.10 φαίνεται η μορφή του πλαισίου PLCP για IEEE 802.11 που χρησιμοποιεί φυσικό στρώμα με υπέρυθρες ακτίνες.

PLCP Preamble: Όπως και στα προηγούμενα φυσικά στρώματα, το τμήμα αυτό χρησιμεύει για συγχρονισμό και οριοθέτηση της αρχής του πλαισίου. Περιέχει:

- Τα πεδία **SYNC** και **SED**: έχουν μικρότερο μήκος από εκείνα των FHSS και DSSS διότι δεν απαιτείται ανάκτηση φέροντος.
- Το **SED**: έχει τη μορφή 1001.

Στο **PLCP header (Επικεφαλίδα)** περιλαμβάνονται:

- Το πεδίο **Data Rate**: έχει την τιμή 000 για ταχύτητα 1 Mbps και 001 για 2 Mbps.
- Το νέο πεδίο εδώ είναι το **DCLA (DC level adjustment)**: περιέχει μία ακολουθία 16 σχισμών, επιτρέποντας στον δέκτη να θέσει το κατώφλι ισχύος για την λήψη απόφασης της τιμής του κάθε bit.
- Το πεδίο **Length**: με μήκος 16 bit καθορίζει τη διάρκεια της PDU του MAC σε msec.
- Το πεδίο **CRC(Cyclic Redundancy Code)**: Κυκλικός κώδικας πλεονασμού που προστατεύει τα υπόλοιπα πεδία του header.
- **Data**: Το μήκος της PDU του MAC περιορίζεται στα 2500 byte. [27]



Εικόνα 3.10: Πλαίσιο PLCP για IEEE 802.11 με φυσικό στρώμα με υπέρυθρες ακτίνες [27]

3.9 Επίλογος

Το μοντέλο αναφοράς OSI χωρίζεται σε επτά επίπεδα. Το πρότυπο IEEE 802.11 αφορά τα δύο χαμηλότερα επίπεδα. Σε αυτό το κεφάλαιο εμβαθύνουμε στο πρωτόκολλο IEEE 802.11 και στα βασικά χαρακτηριστικά του. Όσον αφορά το φυσικό επίπεδο, πρώτα το διαχωρίσαμε στο PLCP και στο PMD και έπειτα αναπτύξαμε τους διάφορους τρόπους διασποράς φάσματος όπως το DSSS, FHSS, OFDM και Υπέρυθρες Ακτίνες οι οποίες σχεδιάστηκαν για να διαδίδουν το σήμα σε μια μεγαλύτερη συχνότητα με σκοπό την αποτροπή των παρεμβολών.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για το MAC επίπεδο και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το επίπεδο.

Κεφάλαιο 4ο: Το MAC επίπεδο του προτύπου IEEE 802.11

4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με το MAC επίπεδο του προτύπου 802.11 και αναλύει διεξοδικά τη διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου ένας σταθμός να έχει πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης. Το υπόστρωμα MAC είναι υπεύθυνο για τις διαδικασίες εκχώρησης διαύλων, τη διευθυνσιοδότηση των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου (protocol data unit, PDU), τον σχηματισμό των πλαισίων, τον έλεγχο λαθών, τον τεμαχισμό και την επανασυναρμολόγηση των πακέτων.

4.2 Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο του IEEE 802.11 (MAC Layer)

Εκτός από το φυσικό επίπεδο, το πρότυπο IEEE 802.11 προσδιορίζει και το υποεπίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC- Media Access Control). Το υπόστρωμα MAC ανήκει στο επίπεδο της Ζεύξης Δεδομένων (Data Link Layer) και αναφέρεται στον τρόπο πρόσβασης στο κοινό ασύρματο μέσο. Το IEEE 802.11 εντάσσεται στην γενικότερη κατηγορία των Carrier Sence Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) πρωτοκόλλων. Τα πρωτόκολλα που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη πιθανότητα σύγκρουσης, χωρίς όμως να καταφέρνουν να την εξαλείψουν ολοκληρωτικά. Επιπλέον, το υπόστρωμα MAC παρέχει μια ποικιλία υπηρεσιών που υποστηρίζουν τη σωστή λειτουργία των ασύρματων δικτύων Wireless LANs (WLAN).

Συγκεκριμένα εκτελεί τις τρεις ακόλουθες λειτουργίες [37] :

- Πρόσβαση στο ασύρματο μέσο: υποστηρίζει δύο μηχανισμούς λειτουργίας
- Προσχώρηση σε ένα δίκτυο (joining)
- Παροχή λειτουργιών όπως η ασφάλεια και η πιστοποίηση ταυτότητας

4.3 Δομή πλαισίων MAC

Το πρότυπο IEEE 802.11 υποστηρίζει τρεις διαφορετικούς τύπους πλαισίων: [30]

1. **Ελέγχου (Control):** τα πλαίσια ελέγχου είναι αυτά που θα βοηθήσουν στην σωστή παραλαβή των πλαισίων δεδομένων. Υπάρχουν έξι υποτύποι πλαισίων ελέγχου:
 - Power save-poll (PS-Poll)
 - Αίτηση αποστολής (Ready To Send, RTS)
 - Αποδοχή αποστολής (Clear To Send, CTS)
 - Βεβαίωση λήψης (Acknowledgment, ACK)
 - Τέλος περιόδου χωρίς ανταγωνισμό (Contention-free (CF)-end)
 - CF-end + CF-ack
2. **Δεδομένων (Data):** ο κύριος σκοπός των πλαισίων αυτών είναι η μεταφορά πληροφορίας.

Υπάρχουν οκτώ υποτύποι πλαισίων δεδομένων, οργανωμένα σε δύο ομάδες:

- Δεδομένα (Data)
- Data CF-Ack

- Data CF-Poll
- Data CF-Ack + CF-Poll

Οι υπόλοιποι τέσσερις υποτύποι των πλαισίων δεδομένων δεν φέρουν δεδομένα χρήστη.

3. **Διαχείρισης (Management):** χρησιμοποιούνται για τη συσχέτιση και αποσυσχέτιση των σταθμών με το AP, για τον συγχρονισμό και τον έλεγχο αυθεντικότητας. Περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι υποτύποι:

- Αίτηση συσχέτισης (Association request)
- Απάντηση συσχέτισης (Association response)
- Αίτηση επανασυσχέτισης (Reassociation request)
- Απάντηση επανασυσχέτισης (Reassociation response)
- Αίτηση διερεύνησης (Probe request)
- Απάντηση διερεύνησης (Probe response)
- Φάρος (Beacon)
- Μήνυμα ένδειξης αναγγελίας κίνησης (Announcement traffic indication message)
- Αποσυσχέτιση (Disassociation)
- Πιστοποίηση (Authentication)
- Αποπιστοποίηση (Deauthentication)

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η γενική δομή ενός MAC πλαισίου. Τα πεδία της επικεφαλίδας είναι τα εξής: [30]

1. **Έλεγχος πλαισίου (Frame Control):** Κάθε πλαίσιο, περιλαμβάνει στην αρχή του ένα πεδίο των 2byte, που προσδιορίζει το είδος των δεδομένων στο πλαίσιο και έχει τα παρακάτω πεδία:
 - **Protocol Version:** πεδίο με μέγεθος 2bits, δείχνει ποια έκδοση του 802.11 MAC χρησιμοποιείται.
 - **Type:** πεδίο με μέγεθος 2bits που αναφέρονται στον τύπο πλαισίου, προσδιορίζουν αν το πλαίσιο είναι διαχείρισης (00), ελέγχου (01), δεδομένων (10) ή απροσδιόριστο (11).
 - **Subtype:** πεδίο με μέγεθος 4bits που προσδιορίζει περαιτέρω τον τύπο του πλαισίου (π.χ. RTS, CTS).
 - **To DS / From DS:** από 1bit το καθένα, καθορίζουν αν ένα πλαίσιο κατευθύνεται προς το δίκτυο υποδομής που συνδέει τα AP ή προέρχεται από το δίκτυο υποδομής.
 - **More fragments:** πεδίο με μέγεθος 1bit, δηλώνει έχει γίνει τεμαχισμός και ακολουθούν και άλλα τεμάχια.
 - **Retry:** πεδίο με μέγεθος 1bit, δηλώνει επαναμετάδοση πλαισίου που εστάλη νωρίτερα.
 - **Power Management:** πεδίο με μέγεθος 1bit.
 - **More Data:** πεδίο με μέγεθος 1bit και δηλώνει ότι ο αποστολέας έχει και άλλα πλαίσια για τον παραλήπτη.

- **WEP:** πεδίο με μέγεθος 1bit που καθορίζει ότι το κύριο μέρος του πλαισίου έχει κρυπτογραφηθεί με χρήση του αλγορίθμου WEP (Wired Equivalent Privacy).
 - **Order:** πεδίο με μέγεθος 1bit, καθορίζει ότι τα πλαίσια και τα τμήματα των πλαισίων μπορούν να διαβιβαστούν με τη σειρά και κατά την αποστολή αλλά και κατά τη λήψη όταν η τιμή του ισούται με 1.
2. **Duration ID:** Η πληροφορία στο πεδίο αυτό δηλώνει την διάρκεια του επόμενου πλαισίου προς μετάδοση.
 3. **Address:** Υπάρχουν τέσσερα πεδία με διευθύνσεις στο πλαίσιο MAC του IEEE 802.11. Τα πεδία αυτά χρησιμοποιούνται, κατά περίπτωση, για να δηλώσουν την ταυτότητα της BSSID (Basic Service Set ID), την διεύθυνση πηγής SA (Source Address), τη διεύθυνση προορισμού DA (Destination Address), τη διεύθυνση του εκπέμποντος σταθμού TA (Transmitter address) και τη διεύθυνση του λαμβάνοντος σταθμού RA (Receiver address).
 4. **Ελέγχου Ακολουθίας (Sequence Control):** είναι μήκους 2byte και χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του τεμαχισμού και επανασυναρμολόγησης.
 5. **Data:** Στο πεδίο αυτό περιέχονται τα δεδομένα τα οποία είναι προς μετάδοση, με μέγιστο αριθμό δεδομένων τα 2312 bytes.
 6. **CRC:** Για τον έλεγχο λαθών χρησιμοποιείται αυτό το πεδίο με μήκους 32 bit.



Εικόνα 4.1: Τυποποιημένη μορφή πλαισίου IEEE 802.11. [30]

4.4 Πρόσβαση στο Ασύρματο Μέσο

Πριν ξεκινήσει η μετάδοση ενός πλαισίου, ένας σταθμός πρέπει πρώτα να επιτύχει την πρόσβαση στο μέσο. Όπως παρατηρούμε στην επόμενη εικόνα για να το πετύχει αυτό υπάρχουν δύο μέθοδοι:

1. Κατανεμημένη Συνάρτηση Συγχρονισμού (Distributed Coordination Function - DCF):

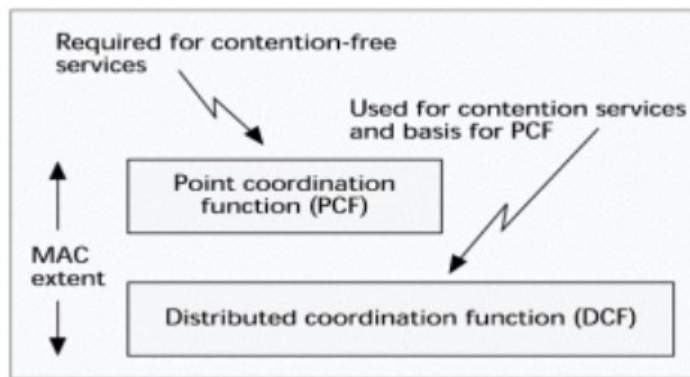
Το 802.11 καθορίζει δύο κατηγορίες :

- DCF CSMA/CA: Στα ασύρματα δίκτυα έχει επιλεγθεί να χρησιμοποιείται ο μηχανισμός αποφυγής συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance CSMA/CA) αντί για το μηχανισμό ανίχνευσης (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - CSMA/CD) ώστε να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι συγκρούσεις. Αιτία για την επιλογή αυτή είναι η αδυναμία του δέκτη να αντιλαμβάνεται την κατάσταση του ασύρματου μέσου τη χρονική στιγμή που μεταδίδει κάποια πληροφορία. Επομένως, μία σύγκρουση γίνεται αντιληπτή από τους σταθμούς μόνο εκ του αποτελέσματος που είναι

φυσικά η μη παράδοση των πακέτων της πληροφορίας. Ακόμη, σε ένα ασύρματο περιβάλλον είναι αδύνατο να υποθέσουμε με ακρίβεια ότι όλοι οι σταθμοί «ακούν» ο ένας τον άλλο.

- DCF RTS/CTS: Το πλαίσιο RTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης της πηγής ότι μία ανταλλαγή βρίσκεται σε εξέλιξη και αυτοί οι σταθμοί δεν επιχειρούν καμία εκπομπή για την αποφυγή σύγκρουσης μεταξύ δύο πλαισίων που εκπέμπονται την ίδια στιγμή. Αντίστοιχα, το πλαίσιο CTS ειδοποιεί όλους τους σταθμούς που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια λήψης του προορισμού ότι μία ανταλλαγή βρίσκεται σε εξέλιξη. [35]

2. Σημειακή Συνάρτηση Συντονισμού (Point Coordination Function - PCF): Το πρωτόκολλο αυτό στηρίζεται στην πρόσβαση στο μέσο χωρίς ανταγωνισμό ενώ κύριο ρόλο παίζει ένας ελεγκτής ο οποίος καλείται PC (Point Coordinator) και βρίσκεται στα APs.



Εικόνα 4.2: Αρχιτεκτονική του επιπέδου MAC [37]

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.

4.5 Χρονικά Διαστήματα Πρόσβασης

Τα χρονικά διαστήματα υπάρχουν για να καθορίσουν το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών αποστολής και λήψης των πλαισίων ενός σταθμού. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του πλαισίου και από την τεχνική διαμόρφωσης (DSSS, OFDM). Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι τιμές των χρόνων αναμονής σε κάθε σύστημα μετάδοσης.

Interframe Space	DSSS	FHSS	DFIR
SIFS	10 μ s	28 μ s	7 μ s
PIFS	30 μ s	78 μ s	15 μ s
DFIS	50 μ s	128 μ s	23 μ s

Εικόνα 4.3: Τιμές των χρόνων αναμονής σε κάθε σύστημα μετάδοσης ανάλογα με το φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιείται [1]

Το χρονικό διάστημα μεταξύ των πλαισίων καλείται IFS (Inter Frame Space). Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά διαστήματα που χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τα επίπεδα προτεραιότητας για την πρόσβαση στο ασύρματο μέσο τα οποία είναι: ξεκινώντας από αυτό με την μικρότερη διάρκεια

1. **Short Interframe Space (SIFS)**: είναι οι μικρότερες καθυστερήσεις και προορίζονται για τα πακέτα ελέγχου.
2. **Point Coordination Interframe Space (PIFS)**: Το PIFS μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν σταθμό μόνο κατά τη λειτουργία του PCF για να κερδίσει την πρόσβαση στο μέσο.
3. **Distributed Coordination Interframe Space (DIFS)**: Το DIFS μπορεί να χρησιμοποιείται από σταθμούς που λειτουργούν με DCF για την μετάδοση πλαισίων δεδομένων και πλαισίων διαχείρισης.
4. **Extended InterFrame Space (EIFS)**: προορίζονται για τις περιπτώσεις επανεκπομπής πλαισίων που συμβαίνουν μετά από σφάλμα στη μετάδοση και έχουν τη μεγαλύτερη καθυστέρηση.

4.6 Μηχανισμός Ανίχνευσης Φέροντος

Η ανίχνευση φέροντος στο πρότυπο IEEE 802.11 γίνεται και στην ασύρματη διεπαφή, αναφερόμενη ως φυσική ανίχνευση φέροντος (physical carrier sensing), και στο υπόστρωμα MAC, αναφερόμενη ως εικονική ανίχνευση φέροντος (virtual carrier sensing). Η εικονική ανίχνευση φέροντος χρησιμοποιεί έναν μετρητή χρόνου που ονομάζεται Διάνυσμα Κατανομής Δικτύου (NAV -Network Allocation Vector). Ένας σταθμός όταν μεταδίδει ένα πλαίσιο, ενημερώνει το πεδίο duration του πλαισίου με την ποσότητα του χρόνου κατά την οποία θα απασχολήσει το μέσο για μία επιτυχημένη μετάδοση. Οι υπόλοιποι σταθμοί διαβάζουν το duration πεδίο και ενημερώνουν το NAV τους. Το NAV λειτουργεί σαν χρονόμετρο. Όσο περνάει ο χρόνος το NAV μειώνεται και μόλις γίνει μηδέν, ο σταθμός θα ανιχνεύσει φυσικά, το μέσο για να επιχειρήσει μετάδοση. Η ανίχνευση του φυσικού στρώματος και η λειτουργία του NAV παρέχουν ικανές πληροφορίες στο υποστρώμα MAC για να αποφασίσει την κατάσταση του καναλιού. [36]

4.7 Κατανεμημένη Συνάρτηση Συντονισμού (Distributed Coordination Function - DCF)

Η βασική μέθοδος πρόσβασης που χρησιμοποιείται από το IEEE 802.11 ονομάζεται Λειτουργία Κατανεμημένου Συντονισμού (Distributed Coordination Function, DCF) και σημαίνει ότι όλοι οι σταθμοί συνεργάζονται ώστε να αποφευχθεί μια σύγκρουση. Η λειτουργία της βασίζεται στο πρωτόκολλο Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) όπως ήδη έχουμε αναφέρει. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο ο κάθε σταθμός όταν επιθυμεί να μεταδώσει, ανιχνεύει το ασύρματο μέσο:

- Αν το μέσο είναι κατειλημμένο τότε αναβάλλει την μετάδοση του μέχρι το τέλος της τρέχουσας μετάδοσης και εκτελεί τον αλγόριθμο Υποχώρησης (Back-off algorithm).
- Αν το μέσο είναι ελεύθερο για έναν προκαθορισμένο χρόνο που ονομάζεται Κατανεμημένο Ενδιάμεσο Διάστημα (Distributed Inter Frame Space, DIFS) ο σταθμός μεταδίδει το πακέτο δεδομένων του.

Ο σταθμός λήψης ελέγχει το CRC του ληφθέντος πακέτου και στέλνει ένα πακέτο επαλήθευσης (ACK -acknowledgment frame) των 14bytes. Η λήψη του πακέτου επαλήθευσης δηλώνει στον πομπό

ότι δεν συνέβη σύγκρουση η απάντηση αυτή είναι γνωστή σαν θετική επιβεβαίωση. Αν ο αποστολέας δεν λάβει το πακέτο επαλήθευσης ξαναστέλνει το πακέτο μέχρι να λάβει την επαλήθευση.

Ακόμη υπάρχει η περίπτωση να έγινε σωστή λήψη του πλαισίου δεδομένων αλλά να συνέβη κάποιο λάθος κατά την εκπομπή του πλαισίου επιβεβαίωσης. Τότε ο πομπός ξανά εκπέμπει το πακέτο και ο δέκτης μπορεί να ελέγξει αν έχει λάβει ξανά το ίδιο πλαίσιο δεδομένων, μέσω του τμήματος Ελέγχου ακολουθίας (Sequence Control) του πλαισίου. Το πακέτο λοιπόν αγνοείται από τον δέκτη, ο οποίος πρέπει να στείλει και πάλι ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης στον πομπό. [38]

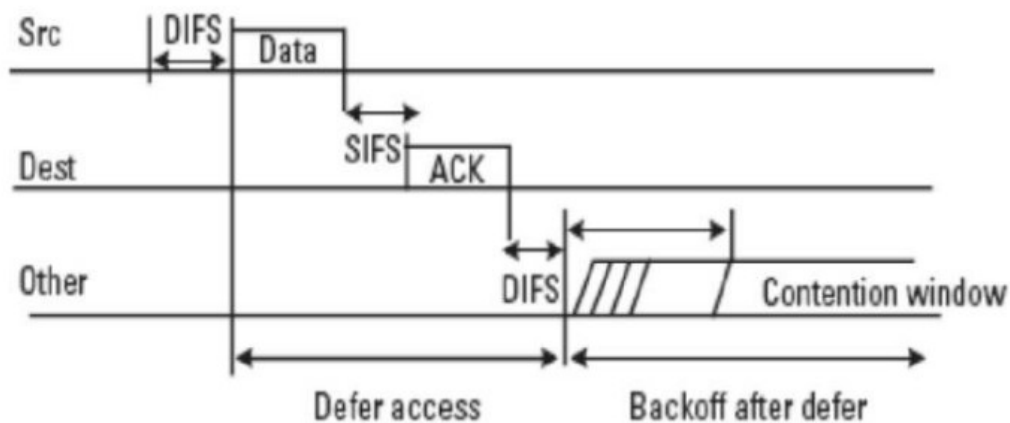
Στην περίπτωση που δεν έγινε σωστή λήψη του πλαισίου δεδομένων, ο δέκτης πρέπει να περιμένει για χρόνο EIFS αντί για DIFS πριν την εκπομπή του επόμενου πλαισίου του, έτσι ώστε να δοθεί χρόνος στον πομπό να καταλάβει ότι έγινε λάθος στην τελευταία του εκπομπή.

Αν είναι κατελιημμένο τότε αναβάλλει την μετάδοση μέχρι το τέλος της τρέχουσας μετάδοσης και μετά την αναβολή ή πριν προσπαθήσει να μεταδώσει αμέσως μετά από μία επιτυχή μετάδοση ο σταθμός πρέπει να επιλέξει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα οπισθοχώρησης πριν ξανά προσπαθήσει να μεταδώσει αυτή η διαδικασία που μόλις περιγράψαμε ονομάζεται back off. (αλγόριθμος Δυαδικής Εκθετικής Οπισθοχώρησης (Binary Exponential Backoff algorithm, BEB))

Η διαδικασία εύρεσης αυτού του χρονικού διαστήματος είναι η εξής: Χρησιμοποιείται ένας ψευδοτυχαίος ακέραιος αριθμός που επιλέγεται από μία ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα (0, CW). Το CW χωρίζεται σε time slots, ίσα μεταξύ τους και η διάρκειά τους εξαρτάται από το φυσικό στρώμα. Η μεταβλητή CW (παράθυρο ανταγωνισμού, Contention Window) είναι η χρονική διάρκεια ανταγωνισμού για την κατάληψη του μέσου, και παίρνει τιμές του τύπου $2^n - 1$, με ελάχιστη την τιμή CW_{min} και μέγιστη την CW_{max}. Τα CW_{min}, CW_{max} καθορίζονται από το πρωτόκολλο 802.11. Για τα PHY των 802.11a, 802.11g και 802.11n, το CW_{min} είναι 15 και το CW_{max} είναι 1023. [42]

Την πρώτη φορά που χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος back off για συγκεκριμένο σταθμό και για συγκεκριμένο πλαίσιο δεδομένων, το CW παίρνει την ελάχιστη τιμή του, CW_{min}. Όσο ο σταθμός αποτυγχάνει να μεταδώσει, ο μετρητής αυξάνεται εκθετικά μέχρι να φτάσει στην μέγιστη τιμή του CW_{max} και παραμένει σε αυτή την τιμή μέχρις ότου ο σταθμός επιτύχει μία μετάδοση. Μετά από κάθε επιτυχημένη εκπομπή το Contention Window επιστρέφει στη μικρότερη τιμή του CW_{min}. [39]

Έτσι, υπάρχει δίκαιη κατανομή του μέσου, αφού όλοι οι σταθμοί ισοπίθانا μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση και επιπλέον κάθε σταθμός μετά την αποστολή πρέπει ξανά να ανταγωνίζεται για πρόσβαση στο κανάλι. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διαδικασία που περιγράψαμε.

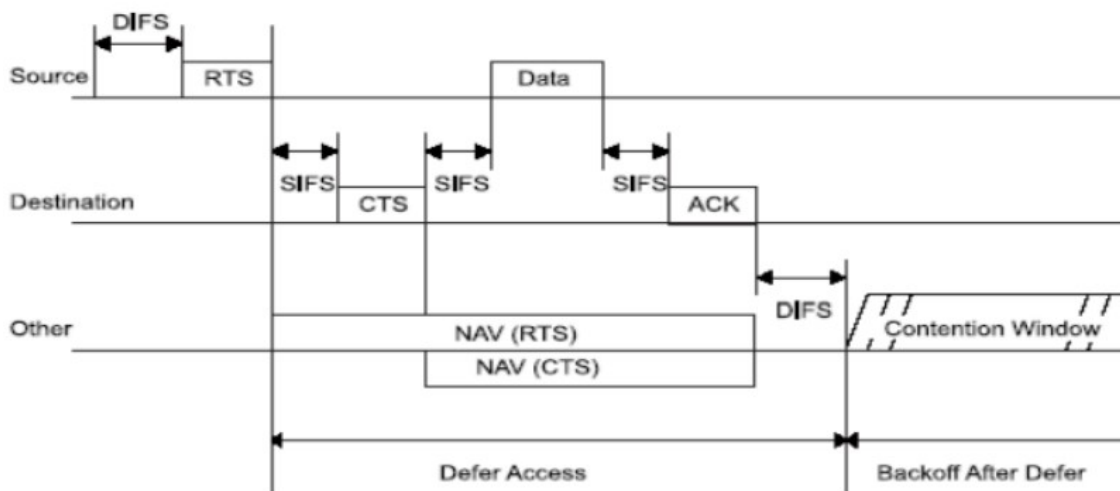


Εικόνα 4.4: Λειτουργία του DCF [40]

4.8 Λειτουργία του DCF με την χρήση RTS/CTS

Η διαδικασία για την αποστολή πακέτων με την συγκεκριμένη μέθοδο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, ενώ η σειρά που ακολουθείται είναι η εξής: [44]

1. Ο σταθμός που θέλει να στείλει δεδομένα στέλνει αρχικά ένα πακέτο RTS (Request To Send) στο σταθμό που τον ενδιαφέρει αφού πρώτα περιμένει για ένα DIFS. Οι υπόλοιποι σταθμοί που βρίσκονται εντός εμβέλειας, λαμβάνουν το RTS και αφού διαβάσουν το πεδίο duration, ενημερώνουν το NAV τους. Σκοπός του πλαισίου αυτού δηλαδή είναι να δεσμεύσει ο αποστολέας το μέσο μετάδοσης για όσο χρόνο υπολογίζει ότι θα διαρκέσει η αποστολή του πλαισίου δεδομένων.
2. Ο σταθμός λήψης επαληθεύει-αφού πρώτα περιμένει για ένα SIFS-μέσω ενός πακέτου CTS (Clear To Send) ότι είναι έτοιμος να κάνει λήψη των δεδομένων και οι υπόλοιποι σταθμοί που βρίσκονται εντός εμβέλειας ενημερώνουν το NAV τους. Σε περίπτωση όμως, που ο πομπός δεν λάβει το πλαίσιο CTS μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, θα επαναλάβει την διαδικασία και θα στείλει ξανά RTS αφού, όμως, καταλάβει ξανά το μέσο.
3. Ο σταθμός αποστολής αφού έχει λάβει το CTS μπορεί τώρα να στείλει άμεσα τα δεδομένα.
4. Μόλις ολοκληρωθεί επιτυχώς η αποστολή του πλαισίου, ο παραλήπτης στέλνει ένα ACK για να βεβαιώσει τον αποστολέα για την ορθή λήψη των δεδομένων.
5. Ο αποστολέας μόλις λαμβάνει ένα ACK περιμένει SIFS χρόνο και μετά στέλνει το επόμενο fragment. Αν κάποια ACK δεν ληφθούν, τότε αποτυγχάνει η αποστολή και ο αποστολέας χάνει την πρόσβαση στο μέσο. Το παρακάτω σχήμα δείχνει χαρακτηριστικά πως λειτουργεί η διαδικασία RTS/CTS για τον αποστολέα σταθμό, τον παραλήπτη σταθμό και τους υπόλοιπους σταθμούς που συμμετέχουν στο δίκτυο.



Εικόνα 4.5: Αποστολή RTS/CTS/data/ACK και καθορισμός του NAV [40]

Ακόμη το πρότυπο 802.11 καθορίζει το RTS Threshold (RT), παράμετρος που υποδεικνύει το μήκος δεδομένων κάτω από τα οποία τα πακέτα δεδομένων θα πρέπει να αποστέλλονται χωρίς RTS/CTS. Η τιμή της παραμέτρου RT δεν είναι συγκεκριμένη αλλά πρέπει να ρυθμιστεί ξεχωριστά από κάθε σταθμό. [43] Επειδή οι συγκρούσεις μπορεί να συμβούν στο RTS (20 bytes) πλαίσιο και ανιχνεύονται από την έλλειψη απόκρισης CTS, το σχήμα RTS/CTS οδηγεί σε αύξηση του συστήματος απόδοση με τη μείωση της διάρκειας των συγκρούσεων, ειδικά όταν μεταδίδονται μεγάλα πακέτα δεδομένων.

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται μόνο σε περιβάλλοντα με μεγάλη χωρητικότητα και σε περιβάλλοντα με μεγάλο ανταγωνισμό για μετάδοση.

Ο μηχανισμός CSMA/CA με ανταλλαγή των πλαισίων RTS/CTS αποτελεί προαιρετικό τρόπο πρόσβασης γιατί το RTS/CTS μειώνει την απόδοση αφού εκπέμπει δύο πρόσθετα πακέτα ελέγχου χωρίς ωφέλιμο φορτίο. Ο μηχανισμός RTS/CTS ουσιαστικά αναβαθμίζει τον αλγόριθμο της διπλής χειραψίας του CSMA/CA (DATA-ACK) σε έναν αλγόριθμο τετραπλής χειραψίας (RTS-CTS-DATA-ACK). [23]

4.9 Σημειακή Συνάρτηση Συντονισμού (Point Coordination Function -PCF)

Το 802.11 διαθέτει και μία επιπλέον μέθοδο πρόσβασης που ονομάζεται Σημειακή Συνάρτηση Συντονισμού (Point Coordination Function, PCF). Η PCF αποτελεί προέκταση της DCF και σκοπός της είναι να υποστηρίζει υπηρεσίες που απαιτούν χρονικές εγγυήσεις στη μετάδοση των πακέτων. Στον μηχανισμό αυτό δεν είναι κατανοημένη η λειτουργία αλλά είναι σημειακή. Δηλαδή έχουμε με σημειακό συντονισμό παροχή πρόσβασης στο μέσο χωρίς να υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των χρηστών. Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση ενός ελεγκτή που καλείται PC (Point Coordinator), ο οποίος λειτουργεί στο AP ενός BSS και καθορίζει ποιος σταθμός έχει την άδεια για να μεταδώσει την τρέχουσα χρονική στιγμή.

Ο χρόνος διαιρείται σε περιόδους χρονικής διάρκειας ενός superframe. Ένα superframe χωρίζεται σε δύο τμήματα (περιόδους):

- Τη περίοδο μη ανταγωνισμού (Contention Free period): όπου δεν υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των σταθμών, καθώς το PC αποφασίζει για το ποιος σταθμός θα μεταδώσει
- Τη περίοδο ανταγωνισμού (Contention period): είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία είναι ενεργή η DCF

Κατά τη διάρκεια του contention – free period τον έλεγχο για την πρόσβαση στο μέσον τον έχει ο PC διότι περιμένει για χρονικό διάστημα PIFS προτού καταλάβει το μέσο και όχι DIFS όπως οι υπόλοιποι σταθμοί. Το PC στέλνει ένα πλαίσιο beacon για να ενημερώσει τους σταθμούς ότι είναι σε περίοδο μη-ανταγωνισμού και για να ανανεώνουν το NAV τους, σύμφωνα με την τιμή που περιλαμβάνεται στο πεδίο duration.

Στη συνέχεια, ο PC που διατηρεί λίστα με όλους τους CF-Aware σταθμούς, περιμένει για SIFS χρόνο και κάνει polling το σταθμό που έχει προτεραιότητα να εκπέμπει στέλνοντας δηλαδή ένα Poll πακέτο. Ο σταθμός στον οποίο απευθύνεται ο PC, πρέπει να απαντήσει με ένα CF – End ή CF – End + CF – ACK ή null μετά από SIFS χρονικό διάστημα. Κάθε σταθμός θα πρέπει πριν εκπέμπει να ελέγξει το NAV για να σιγουρευτεί ότι προλαβαίνει να στείλει τα δεδομένα και να λάβει το ACK πριν τελειώσει ο χρόνος της περιόδου μη ανταγωνισμού. Η περίοδος χωρίς ανταγωνισμό ολοκληρώνεται όταν περάσει ο χρόνος που ορίστηκε στο πλαίσιο beacon στην αρχή ή όταν έχουν μεταδώσει όλοι οι σταθμοί. Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι η διάρκεια της contention-free period είναι τουλάχιστον ίση με το χρόνο που απαιτείται να μεταδοθεί και να επιβεβαιωθεί ένα πλαίσιο μέγιστου μεγέθους.

4.10 Η τεχνική του τεμαχισμού (Fragmentation)

Πολλές φορές τα πακέτα που πρόκειται να μεταδοθούν έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος με αποτέλεσμα να ξεπερνούν το επιτρεπόμενο από το δίκτυο μέγεθος πλαισίων επομένως χρειάζεται να τεμαχιστούν για να αυξηθεί η αξιοπιστία της μετάδοσης.

Για να καθοριστεί κατά πόσο θα γίνει τεμαχισμός κάθε πακέτο συγκρίνεται με το κατώφλι τεμαχισμού (Fragmentation_Threshold). Αν το μέγεθος του υπερβαίνει την τιμή του κατωφλίου, τότε χωρίζεται σε τμήματα. Όταν τα πακέτα τεμαχιστούν μεταδίδονται το ένα μετά το άλλο.

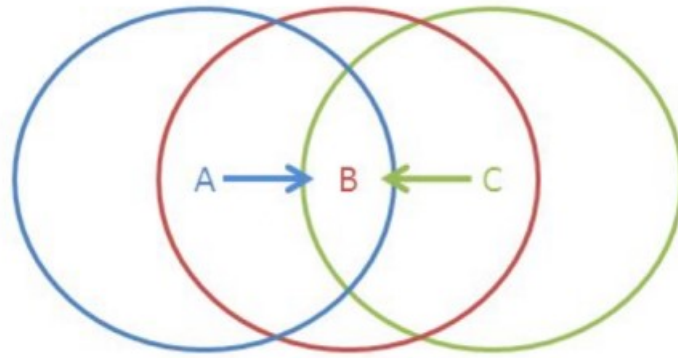
Το μέγιστο μέγεθος πλαισίου δεν ορίζεται από το πρότυπο, αλλά επιλέγεται κάθε φορά ανάλογα με τη φύση και τις ανάγκες του δικτύου. [23] Ένα πλαίσιο μπορεί να αποσταλεί με τη διαδικασία του τεμαχισμού χρησιμοποιώντας τόσο τον βασικό τρόπο μετάδοσης DCF όσο και τον τρόπο μετάδοσης DCF με τη χρήση των πακέτων RTS/CTS. Κατά τη χρησιμοποίηση της μεθόδου του τεμαχισμού ισχύουν και οι επόμενοι κανόνες:

- Ο δίαυλος ελευθερώνεται αφού μεταδοθεί επιτυχώς ολόκληρο το πακέτο ή αν αποτύχει ο σταθμός αποστολής να λάβει επιβεβαίωση για κάποιο τμήμα που μεταδόθηκε.
- Ο παραλήπτης σταθμός επιβεβαιώνει θετικά κάθε επιτυχώς λαμβανόμενο τμήμα αποστέλλοντας πλαίσιο DCF ACK πίσω στον σταθμό αποστολής.
- Ο σταθμός αποστολής διατηρεί τον έλεγχο του διαύλου κατά τη διάρκεια μετάδοσης περιμένοντας μόνο διάστημα ενός SIFS μετά τη λήψη του πλαισίου ACK και στέλνοντας στη συνέχεια το επόμενο τμήμα.
- Όταν δεν ληφθεί κάποιο ACK για τμήμα που μεταδόθηκε προηγουμένως, ο σταθμός αποστολής σταματάει τη μετάδοση και ανταγωνίζεται εκ νέου για τον δίαυλο. Αφού κερδίσει την πρόσβαση στον δίαυλο, ο αποστολέας αρχίζει τη μετάδοση με το τελευταίο ανεπιβεβαίωτο τμήμα.

4.11 Το πρόβλημα του Κρυμμένου Κόμβου (Hidden Node Problem) και του Εκτεθειμένου Κόμβου (Exposed Node Problem)

Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου είναι ένα πολύ γνωστό πρόβλημα στις ασύρματες επικοινωνίες. Το ζήτημα πρέπει να αντιμετωπιστεί προσεκτικά, καθώς η πιθανότητα ύπαρξης κρυφού κόμβου σε ένα ασύρματο δίκτυο μπορεί να φτάσει το 41%. [41]

Σε ένα ασύρματο δίκτυο η ακτίνα εκπομπής και λήψης κάθε τερματικού είναι συγκεκριμένη με αποτέλεσμα κάθε τερματικό να έχει μία διαφορετική εικόνα ως προς την έκταση που καλύπτει και το σύνολο των συνδεδεμένων σε αυτό τερματικών. Το πρόβλημα των «κρυφών» κόμβων (hidden node problem) δημιουργείται επειδή ένας σταθμός δεν είναι πάντα σε θέση να ανιχνεύσει κάποιον άλλον σταθμό ο οποίος είτε μεταδίδει είτε ετοιμάζεται να μεταδώσει δεδομένα εξαιτίας της μεγάλης απόστασής τους. Για παράδειγμα, έστω 3 σταθμοί A, B και C. Οι A και C βρίσκονται εντός της εμβέλειας του B, ενώ ο A βρίσκεται εκτός της εμβέλειας του C (και το αντίστροφο). Στην περίπτωση που ο C μεταδίδει στον B, και ο A επιθυμεί επίσης να μεταδώσει στο B, ο A θα ακροαστεί το κανάλι επικοινωνίας και θα το ανιχνεύσει ως ανενεργό, συνεπώς θα μεταδώσει και αυτός προς τον B. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα ο μεν B να μην μπορέσει να καταλάβει καμία από τις μεταδόσεις, οι δε A και C να μείνουν ανυποψίαστοι για τη σύγκρουση καθώς αυτή ήταν τοπική στο σταθμό B. Το κανάλι επομένως θα σπαταληθεί κατά την διάρκεια όλης της περιόδου της μετάδοσης του A, καθώς και κατά την διάρκεια της μετάδοσης του C. Τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

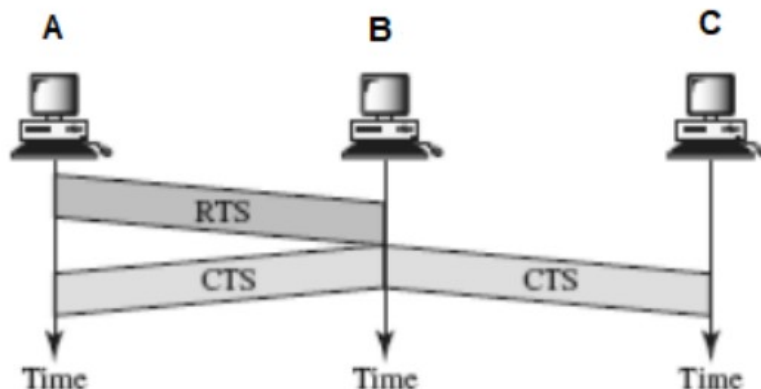


Εικόνα 4.6: Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου [34]

Ουσιαστικά, λύση στο πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου, δίνει η τεχνική εικονικής ανίχνευσης φέροντος με την ανταλλαγή μικρών πλαισίων ελέγχου RTS (Request to Send)/CTS (Clear to Send). Χρησιμοποιεί δύο πλαίσια γνωστά ως RTS και CTS για τον έλεγχο του μέσου και για αποφυγή σύγκρουσης. Αυτή η πληροφορία όπως προαναφέρθηκε 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 (Net Allocation Vector - NAV) που υπάρχει για αυτόν τον λόγο σε κάθε σταθμό.

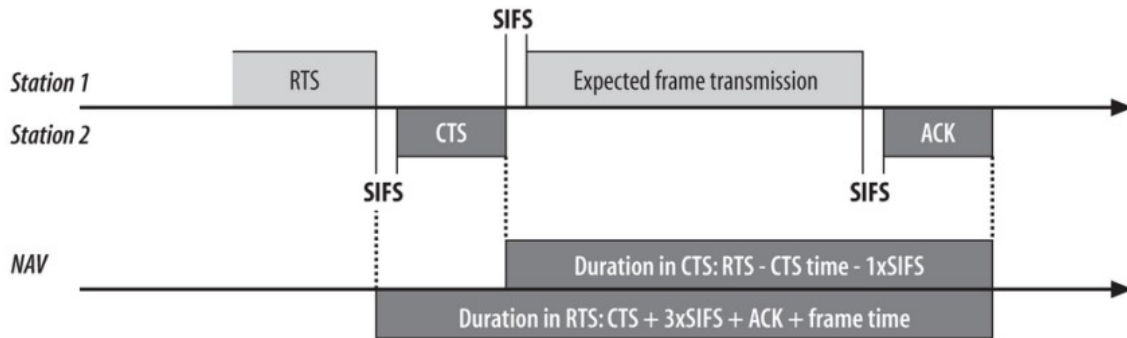
Από το παρακάτω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι όταν ο σταθμός A θέλει να στείλει δεδομένα στον σταθμό B έπειτα από χρονικό διάστημα ίσο με ένα DIFS, θα στείλει πρώτα το πλαίσιο RTS μεγέθους 20Bytes, το οποίο περιέχει πεδία όπως η διεύθυνση του αποστολέα, η διεύθυνση του παραλήπτη και η χρονική διάρκεια που απαιτείται για την αποστολή των δεδομένων.

Εάν ο σταθμός B είναι έτοιμο να λάβει τα δεδομένα (εάν δεν επικοινωνεί με κανέναν άλλο κόμβο) έπειτα από διάστημα ενός SIFS θα στείλει πίσω το σήμα CTS των 16Bytes που περιέχει την διεύθυνση του παραλήπτη και μια τιμή για τη χρονική διάρκεια της μεταφοράς. Ο σταθμός C δεν βρίσκεται στην περιοχή του σταθμού A, οπότε δεν λαμβάνει το πρώτο RTS, αλλά επειδή βρίσκεται στην περιοχή του σημείου πρόσβασης, λαμβάνει το CTS. Όταν ένας σταθμός λαμβάνει σήμα CTS από ένα σημείο πρόσβασης χωρίς σήμα RTS, αντιλαμβάνεται ότι το κανάλι χρησιμοποιείται επομένως δεν θα μεταφέρει δεδομένα. Ο σταθμός θα ξεκινήσει να μεταδίδει δεδομένα έπειτα από ένα SIFS από τη στιγμή που παρέλαβε το CTS και αφού αποστείλει τα δεδομένα περιμένει και πάλι διάστημα ίσο με ένα SIFS για να λάβει ACK από τον παραλήπτη. [45]



Εικόνα 4.7: Χειραγία RTS/CTS [45]

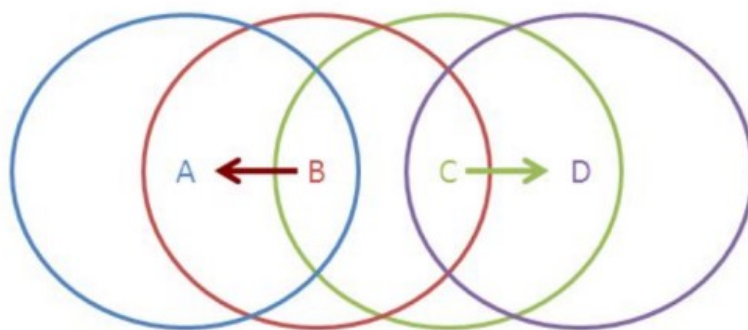
Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο δέκτης ενός πλαισίου CTS είναι ο πομπός του προηγούμενου πλαισίου RTS, επομένως το MAC αντιγράφει τη διεύθυνση πομπού του πλαισίου RTS στη διεύθυνση δέκτη του πλαισίου CTS. Παράλληλα στην Εικόνα 4.8 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της διάρκειας CTS και της διάρκειας RTS. Η διάρκεια ενός πλαισίου RTS απαιτεί τρεις περιόδους SIFS, τη διάρκεια ενός CTS, το τελικό ACK, συν τον χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση του πλαισίου ενώ η διάρκεια ενός πλαισίου CTS είναι ίδια με τη χρονική διάρκεια του πλαισίου RTS του τμήματος Duration, αν αφαιρέσουμε τη χρονική διάρκεια για την αποστολή ενός πλαισίου CTS και ενός SIFS.



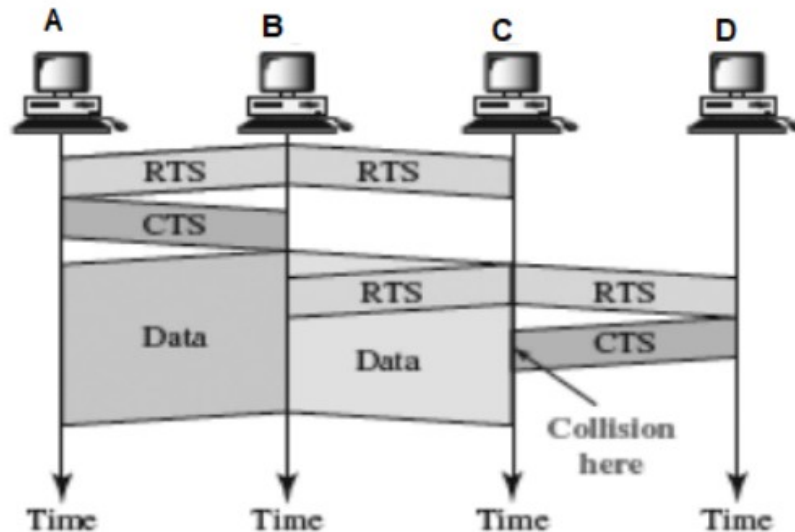
Εικόνα 4.8: Διάρκεια RTS/CTS [45]

Το αντίθετο του προβλήματος των κρυμμένων κόμβων είναι το σενάριο των «εκτεθειμένων» κόμβου (exposed node problem) που επίσης εμφανίζεται στα ασύρματα δίκτυα και υποβαθμίζει την απόδοσή τους. Το πρόβλημα του εκτεθειμένου σταθμού εμφανίζεται όταν ένας σταθμός αποφεύγει να μεταδώσει εξαιτίας της ύπαρξης μετάδοσης από κάποιον γειτονικό σταθμό.

Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα, ο σταθμός B στέλνει πακέτο δεδομένων στο σταθμό A. Ο σταθμός C βρίσκεται εντός της εμβέλειας του σταθμού B αλλά όχι του σταθμού A. Αυτό σημαίνει ότι ο C δεν μπορεί να προκαλέσει σύγκρουση με τη μετάδοση του B στον A σε καμία περίπτωση. Αν όμως, ο C θέλει να μεταδώσει στον D, θα πρέπει να περιμένει να ολοκληρωθεί η μετάδοση από τον B στον A, γιατί λόγω του ότι C ακούει την μετάδοση του B θεωρεί ότι το κανάλι δεν είναι ελεύθερο και αναβάλλει την μετάδοσή του μέχρι την ολοκλήρωση της μετάδοσης του B, παρόλο που η ταυτόχρονη μετάδοση δεν θα δημιουργούσε συγκρούσεις. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι σε μια περίπτωση όπως αυτή του σχήματος 4.10 ο σταθμός C είναι εκτεθειμένος, η RTS/CTS χειραψία δεν φαίνεται χρήσιμη. [45]



Εικόνα 4.9: Το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου [34]



Εικόνα 4.10: Το RTS/CTS δεν λύνει το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου [45]

Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι ο μηχανισμός RTS/CTS παρά τα πολλά πλεονεκτήματα που διαθέτει ότι 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 ανταλλαγή δύο πλαισίων.

4.12 Υπηρεσίες του προτύπου IEEE 802.11

Το IEEE 802.11 ορίζει εννέα υπηρεσίες που πρέπει να παρέχονται. Οι υπηρεσίες που περιγράφονται υλοποιούνται από το MAC επίπεδο και μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

1. Υπηρεσίες σταθμού (Station Services): Οι υπηρεσίες αυτές υλοποιούνται σε κάθε ασύρματο σταθμό. Σε αυτές περιλαμβάνονται:
 - **Πιστοποίηση ταυτότητας (Authentication):** Αναλαμβάνει την πιστοποίηση του χρήστη αν απαιτείται από το διαχειριστή του δικτύου. Οι σταθμοί που εκτελούν την υπηρεσία της authentication (επικύρωση) στέλνουν ένα unicast management authentication πλαίσιο στον αντίστοιχο σταθμό. Το 802.11 καθορίζει τις ακόλουθες δύο υπηρεσίες επικύρωσης:

Επικύρωση ανοικτού συστήματος (open system authentication) και Shared key authentication.

- **Ακύρωση πιστοποίησης ταυτότητας (Deauthentication):** Η υπηρεσία αυτή αφορά την απομάκρυνση ενός σταθμού που είχε προηγουμένα αυθεντικοποιηθεί από το δίκτυο. Για να αποκτήσει πάλι ο σταθμός πρόσβαση πρέπει να επαναληφθεί η διαδικασία αυθεντικοποίησης.
- **Προστασία Απορρήτου (Privacy):** Αφορά την ασφάλεια των πληροφοριών που ανταλλάσσονται.
- **Παράδοση δεδομένων (Data delivery):** Αφορά την αξιόπιστη παράδοση των πλαισίων MAC στον τελικό προορισμό τους. Το πρότυπο 802.11 έχει ορίσει την υπηρεσία κρυπτογράφησης δεδομένων Wired Equivalent Privacy (WEP).

2. Υπηρεσίες συστήματος διανομής (Distribution System Services): Οι υπηρεσίες αυτές υλοποιούνται μόνο στα Access Point (AP). Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- **Συσχέτιση (Association):** Αφορά διαδικασία συσχετισμού ενός σταθμού με το AP προκειμένου να γίνει εφικτή η αποστολή πλαισίων. Κάθε σταθμός σχετίζεται με μόνο ένα AP και ένα AP μπορεί να σχετιστεί με πολλούς σταθμούς.
- **Αποσυσχέτιση (Disassociation):** Αφαιρεί έναν σταθμό από το δίκτυο. Ένα AP μπορεί να αναγκάσει ένα ή περισσότερους σταθμούς να απομακρυνθούν, λόγω περιορισμένων πόρων ή γιατί το AP απομακρύνεται από το δίκτυο.
- **Διανομή (Distribution):** Απαραίτητη για την παράδοση ενός πλαισίου από το AP στον τελικό προορισμό του.
- **Ενοποίηση (Integration):** Η υπηρεσία της ενοποίησης (integration) κάνει εφικτή την διανομή των MAC πλαισίων μέσω μιας πύλης (portal) δηλαδή συνδέει ένα δίκτυο 802.11 WLAN σε άλλα LANs ενσύρματα ή ασύρματα. Η υπηρεσία αυτή μεταφράζει πλαίσιο 802.11 σε πλαίσια που μπορούν να μεταδοθούν σε άλλο δίκτυο και το αντίστροφο.
- **Επανασυσχέτιση (Reassociation):** Η υπηρεσία αυτή της επανασύνδεσης (reassociation) καθιστά ικανό ένα σταθμό να αλλάζει την τρέχουσα κατάσταση σύνδεσης από ένα AP σε ένα άλλο.

4.13 Επίλογος

Ανακεφαλαιώνοντας, το κεφαλαίο αυτό αποτελεί μια εισαγωγή στις λειτουργίες του επιπέδου MAC των ασύρματων δικτύων του προτύπου 802.11. Περιγράφονται οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη σωστή διαχείριση του μέσου επικοινωνίας από τους ασύρματους σταθμούς για την αποφυγή των συγκρούσεων, ενώ επιπλέον αναλύθηκαν οι χρόνοι αναμονής και η δομή του πλαισίου MAC. Τέλος περιγράφονται οι βασικές υπηρεσίες που προσφέρει το πρότυπο 802.11.

Κεφάλαιο 5ο: Το πρότυπο IEEE 802.16

5.1 Εισαγωγή

Με τη γιγαντιαία ανάπτυξη του web και των mobile εφαρμογών καθώς και την κοινή αποδοχή τους από τους χρήστες, οι ανάγκες για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και ποιότητα υπηρεσιών έχουν αυξηθεί κατακόρυφα. Η απάντηση για την κάλυψη αυτών των αναγκών έρχεται μέσω των 4G δικτύων και κυρίως της τεχνολογίας WiMAX (World Interoperability for Microwave Access), στην οποία θα εστιάσουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

5.2 Γενικά Χαρακτηριστικά

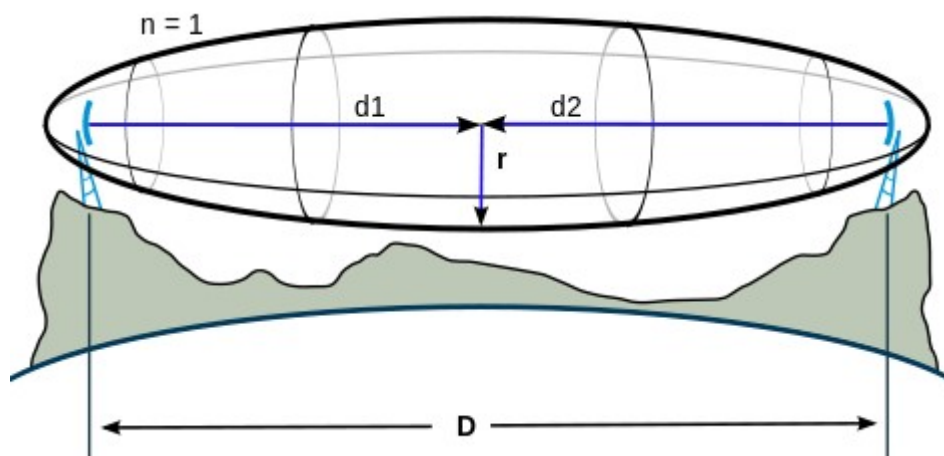
Η IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), το 1998 δημιούργησε μία ομάδα με σκοπό την ανάπτυξη του προτύπου 802.16. Το 2001 ήρθε η επικύρωση του προτύπου. Σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων από 2 έως 66 GHz, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για δίκτυα οπτικής επαφής (Line of Sight -LOS) όσο και δίκτυα μη οπτικής επαφής (Non Line of Sight - NLOS). Όπου ισχύει:

1. LOS: Αυτό συμβαίνει όταν είναι ελεύθερη από εμπόδια μια περιοχή του ασύρματου καναλιού μεταξύ των δύο σημείων προς επικοινωνία που ονομάζεται ελλειψοειδές του Fresnel και είναι γνωστή ως ζώνη Fresnel (Fresnel Zone). Η ζώνη Fresnel υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F_N = \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot \lambda}{d_1 + d_2}}$$

όπου n είναι ο αριθμός της ζώνης (πχ για $n=1$ έχουμε την 1η ζώνη Fresnel....κτλ), λ είναι το μήκος κύματος του φέροντος, και d_1, d_2 είναι οι αποστάσεις των δύο κεραίων από το εμπόδιο.

- Το LOS λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες μεταξύ 10-66 GHz
- Παρέχει υψηλότερο bandwidth με λιγότερες παρεμβολές
- Πρέπει να υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ του πύργου WiMAX και του δέκτη
- Ο συνδρομητής μπορεί να έχει μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων



Εικόνα 5.1: Διάδοση οπτικής επαφής LOS [60]

2. NLOS:

- Το NLOS χρησιμοποιεί χαμηλότερες συχνότητες μεταξύ 2 GHz και 11 GHz
- Το πλεονέκτημα αυτών των χαμηλότερων συχνοτήτων είναι ότι μπορεί να μειωθεί η περίθλαση γύρω από τα εμπόδια. Αυτό το πλεονέκτημα βοηθά την επικοινωνία πολλαπλών σημείων, ώστε περισσότεροι πελάτες να μπορούν να λάβουν τις υπηρεσίες από έναν μόνο πύργο με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος υπηρεσιών

Επιπλέον η ταχύτητα μπορεί να φτάσει έως και τα 70 Mbps και η κάλυψη έως και τα 50 km. Το IEEE 802.16 παρέχει επίσης την δυνατότητα επικοινωνίας σημείου προς σημείο (Point to Point, PTP) και σημείου προς πολλά σημεία (Point To Multipoint, PTM), χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση OFDM, και παρέχει ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service, QoS) δηλαδή ένας σταθμός WiMax δεν μπορεί να εκπέμψει αν δεν του έχει αποδοθεί κανάλι αποκλειστικής χρήσης από τον σταθμό βάσης. [21]

Τα δίκτυα Point to Point (P-P) αναπτύσσονται εύκολα και μπορεί να παρέχουν δεδομένα υψηλής ταχύτητας με ελάχιστες παρεμβολές. Τα δίκτυα P-P συνήθως απαιτούν μικρότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και μπορεί να παρέχει άμεσες υπηρεσίες. Από την άλλη τα δίκτυα Point-to-MultiPoint μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σε εκατοντάδες συνδρομητές. Ενδεικτικοί ρυθμοί μετάδοσης και αποστάσεις κάλυψης για συνδέσεις PTP και PMP, είναι:

<u>PTP</u>		<u>PMP</u>	
Average Ethernet Data Rate (Mbps)	Distance (km)	Average Ethernet Data Rate (Mbps)	Distance (km)
8	50	8	28
17	45	17	24
33	33	33	15
48	13	48	4

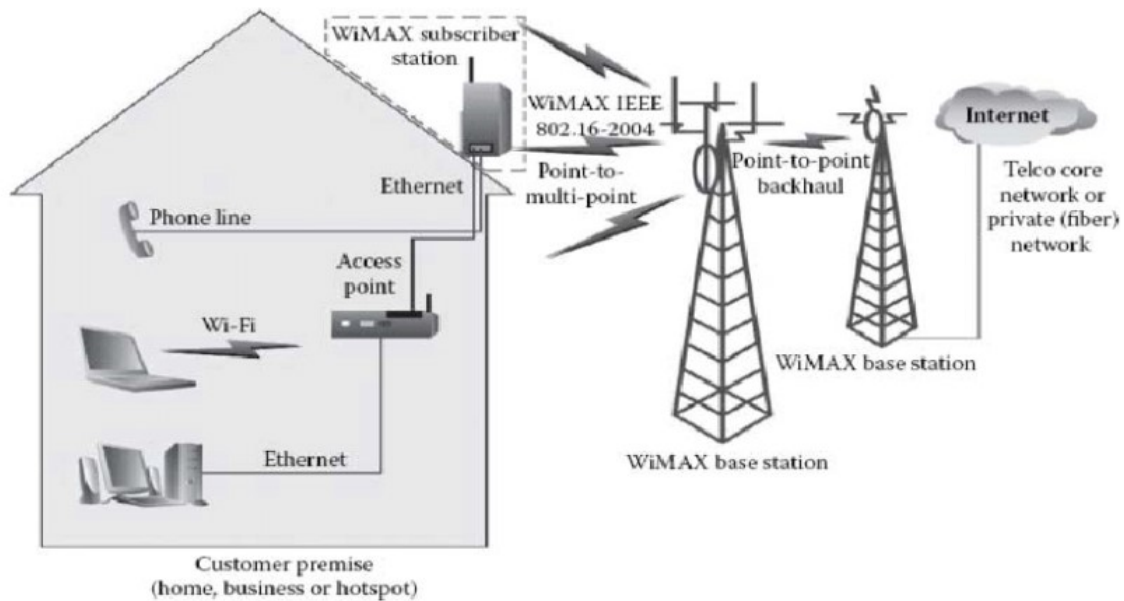
Εικόνα 5.2: Αποστάσεις επικοινωνίας σε PTP και PMP μετάδοση [61]

Για τη διασφάλιση του απορρήτου της επικοινωνίας το WiMAX υποστηρίζει ισχυρή κρυπτογράφηση, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο AES (Advanced Encryption Standard), και επιπλέον υποστηρίζει μια ευέλικτη μέθοδο πιστοποίησης, που βασίζεται στο πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol). Το πρότυπο IEEE 802.16 είναι ευρέως διαδεδομένο με το όνομα WiMAX. Το WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι ένα εμπορικό όνομα που αναφέρεται στο WiMAX Forum ένας όμιλος εταιρειών που προωθεί την πιστοποίηση προϊόντων και την ανάπτυξη δικτύων με βάση τα πρότυπα IEEE 802.16.

Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο μέρη: [50]

- **Ένας πύργος WiMAX:** Παρόμοιος με έναν πύργο κινητής τηλεφωνίας. Ένας μόνο πύργος WIMAX μπορεί να παρέχει κάλυψη σε μια πολύ μεγάλη περιοχή τόσο μεγάλη όσο 8.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα.
- **Ένας δέκτης WiMAX:** Ο WIMAX δέκτης μπορεί να έχει ξεχωριστή κεραία ή μπορεί να είναι ένα μικρό κουτί ή κάρτα PCMCIA ή θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε φορητό υπολογιστή.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη δομή ενός δικτύου WiMAX.



Εικόνα 5.3: Τοπολογία πρόσβασης WiMAX [50]

5.3 Οικογένεια Προτύπων IEEE 802.16

Με την πάροδο των χρόνων υπήρξε περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του προτύπου και οι νέες εκδόσεις που δημιουργήθηκαν και επικυρώθηκαν άλλαξαν ριζικά την πρώτη. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά ανά έκδοση είναι:

Η **πρώτη έκδοχή** του προτύπου IEEE 802.16 δημοσιεύθηκε τον Απρίλιο του 2002. Η έκδοση αυτή προδιαγράφει ένα σύστημα ικανό να λειτουργήσει σε συχνότητες 10-66 GHz, σε συνθήκες οπτικής επαφής (LOS) και υιοθετεί τη χρήση της τεχνολογίας OFDM για να αντιμετωπιστούν τα έντονα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης. [46] Στη συνέχεια τον Ιανουάριο του 2003 παρουσιάστηκε το πρότυπο **IEEE 802.16a**, λειτουργεί σε συχνότητες 2-11 GHz, ακόμη και χωρίς οπτική επαφή. Έπειτα το πρότυπο **IEEE 802.16b** το οποίο διεύρυνε τη ζώνη συχνοτήτων του αρχικού προτύπου ώστε να συμπεριλάβει τις συχνότητες 5 και 6 GHz και παρέχει καλύτερη Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service, QoS). Ακολούθησε η **IEEE 802.16c** η οποία προέκυψε από την αναβάθμιση του αρχικού προτύπου. Αναπτύχθηκε για ασύρματα δίκτυα στις αδειοδοτούμενες ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 10 και 66 GHz. Σκοπός του ήταν να παρέχει μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα μεταξύ των προϊόντων WiMAX. Τον Ιούνιο του 2004, εκδόθηκε το πρότυπο **IEEE 802.16d** το οποίο απευθύνεται μόνο για σταθερή λειτουργία (fixed operation) με ρυθμό μετάδοσης 70Mbps, για συχνότητες από 2 έως 66 GHz. Προκειμένου να αναβαθμιστούν ακόμα περισσότερο οι παρεχόμενες υπηρεσίες τον Οκτώβριο του 2005 εκδόθηκε το πρότυπο **IEEE 802.16e**. 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. Στο φυσικό στρώμα προβλέπεται η χρήση διαμόρφωσης/ πολυπλεξίας OFDMA.

Ακολούθησαν επίσης και άλλες επεκτάσεις του προτύπου 802.16 οι οποίες περιγράφονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα [47]

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

Εικόνα 5.4: Εξέλιξη του Προτύπου IEEE 802.16 [47]

5.4 Αρχιτεκτονική WiMAX Δικτύου

Για τη λειτουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου WiMAX, χρειάζεται να προδιαγραφούν πολλά στοιχεία του δικτύου. Αυτός είναι ο ρόλος της ομάδας εργασίας δικτύου WiMAX Forum NWG (Network Working Group) που αναπτύσσει ολοκληρωμένα (end-to-end) δίκτυα υπηρεσιών από άκρη σε άκρη, βασισμένα στο πρότυπο IEEE 802.16

Η αρχιτεκτονική WiMAX που αναπτύχθηκε από τη WiMAX Forum NWG (Network Working Group) υποστηρίζει σταθερή και κινητή λειτουργία. Η αρχιτεκτονική του δικτύου WiMAX περιλαμβάνει τρία κύρια στοιχεία: [49]

- Σταθμοί συνδρομητών (Subscribers station, SS): Πρόκειται για τον εξοπλισμό των χρηστών για πρόσβαση στο δίκτυο και μπορεί να είναι κινητή ή σταθερή.
- Το Δίκτυο Υπηρεσιών Πρόσβασης (Access Service Network, ASN): Αυτή είναι η περιοχή του δικτύου WiMAX που σχηματίζει το δίκτυο ραδιοπρόσβασης και περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μία ή περισσότερες πύλες ASN.
- Δίκτυο Υπηρεσιών Συνδεσιμότητας (Connectivity Access Network, CAN): Αυτό το τμήμα του δικτύου WiMAX παρέχει τη συνδεσιμότητα IP και όλες τις λειτουργίες του βασικού δικτύου IP.

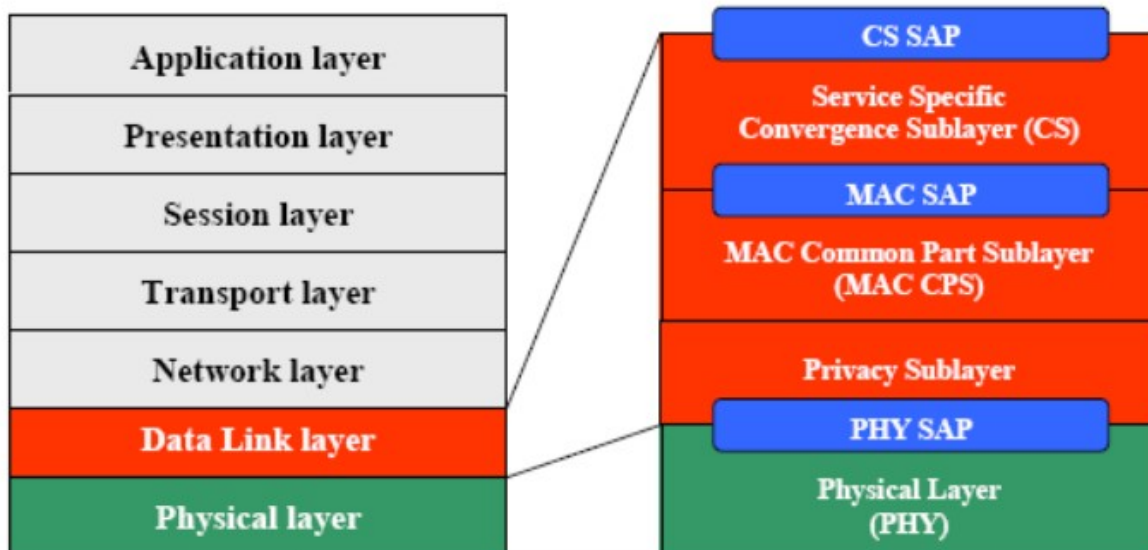
Ακόμα το μοντέλο αναφοράς δικτύου που αναπτύχθηκε από το WiMAX Forum NWG ορίζει έναν αριθμό λειτουργικών οντοτήτων και διεπαφών μεταξύ αυτών των οντοτήτων οι οποίες είναι: [48]

- Σταθμοί βάσης (Base stations, BS): Ο σταθμός βάσης αποτελεί βασικό στοιχείο του δικτύου WiMAX. Είναι υπεύθυνος για την παροχή της διεπαφής αέρα στους συνδρομητικούς και κινητούς σταθμούς.
- Πύλη ASN: Η πύλη ASN συνήθως λειτουργεί ως σημείο συγκέντρωσης κίνησης μέσα σε ένα ASN.
- Home Agent: Το Home Agent εντός του δικτύου WiMAX βρίσκεται εντός του CSN. Το Home Agent χρησιμοποιείται στις κινητές εφαρμογές παρέχοντας ασφαλή περιαγωγή με δυνατότητες QOS.
- Παροχέας Αυθεντικοποίησης, Αδειοδότησης και Λογαριασμών (Authentication Authorization and Accounting Server, AAA): Όπως συμβαίνει με οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνίας που

απαιτεί συνδρομητικές υπηρεσίες, χρησιμοποιείται ένας διακομιστής ελέγχου ταυτότητας. Αυτό περιλαμβάνεται στο CSN.

5.5 Φυσικό Επίπεδο

Το IEEE 802.16 βασίζεται στο φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων του μοντέλου αναφοράς OSI. Στο σχήμα που ακολουθεί υπάρχει το διάγραμμα του πρωτοκόλλου IEEE 802.16. Η αρχιτεκτονική ακολουθεί τις γενικές οδηγίες του IEEE 802. Το σχήμα δείχνει τα επτά μοντέλα επιπέδων OSI όπου το WiMAX επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα.

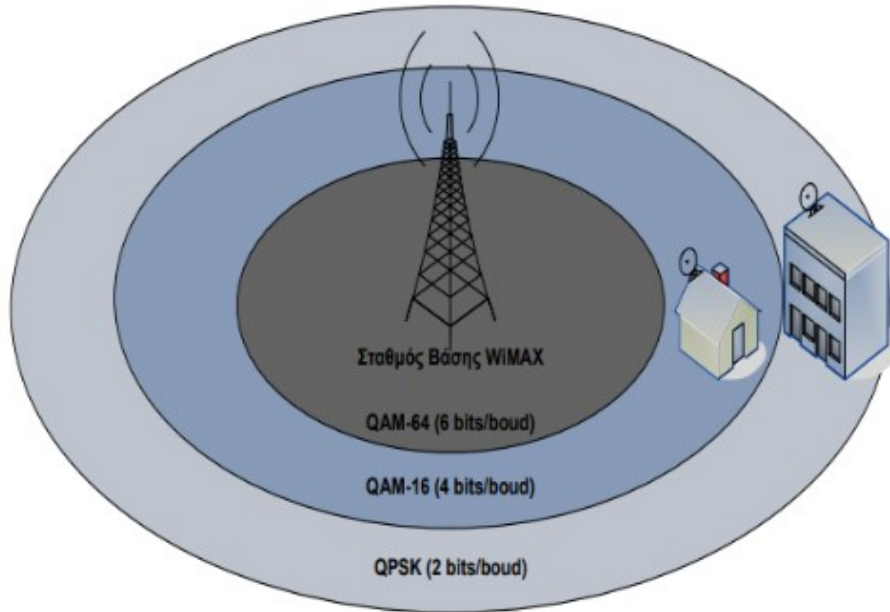


Εικόνα 5.5: Μοντέλο αναφοράς OSI όπου το WiMAX όρισε μόνο τα δύο πρώτα επίπεδα [1]

Το φυσικό επίπεδο στηρίζεται στην ασύρματη μετάδοση μέσω πολύπλεξης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ενώ για την υποστήριξη της Full Duplex επικοινωνίας χρησιμοποιεί διπλέκτες χρόνου (TDD-Time Division Duplexer) ή συχνότητας. (FDD-Frequency Division Duplexer). [21]

- Η FDD (Frequency Division Duplex): είναι απλούστερη όπου η εκπομπή γίνεται σε μια συχνότητα ενώ ταυτόχρονα η λήψη γίνεται σε διαφορετική. Μειονέκτημα είναι η χρήση δύο συχνοτήτων.
- Η TDD (Time Division Duplex) επιτυγχάνεται με διαχωρισμό του χρόνου σε μικρές διαδοχικές χρονοθυρίδες (time slots) όπου χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για εκπομπή και λήψη πάνω στην ίδια συχνότητα. Μειονέκτημα της TDD είναι το απαραίτητο χρονικό κενό που πρέπει να μεσολαβεί για την συνεχή μετάπτωση των κυκλωμάτων του πομποδέκτη από κατάσταση εκπομπής σε κατάσταση λήψης και αντίστροφα.

Η κωδικοποίηση των δεδομένων γίνεται με τον αλγόριθμο FEC (Forward Error Correction) και η διαμόρφωση των δεδομένων με QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ή με 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ή με 64 QAM, ανάλογα με τη θέση του σταθμού συνδρομητή όπως παρατηρούμε στο επόμενο σχήμα. [54]



Εικόνα 5.6: Προσαρμόσιμη Διαμόρφωση [54]

Επιπλέον στην οικογένεια προτύπων IEEE 802.16 καθορίζονται 4 διαφορετικές υλοποιήσεις του φυσικού στρώματος, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ανάλογα με τη διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων και τον σκοπό χρήσης του δικτύου. Οι υλοποιήσεις αυτές είναι:

- **WirelessMAN-SC (Single-Carrier):** Χρησιμοποιεί τεχνολογία μονής φέρουσας, για συχνότητες στη ζώνη 10-66 GHz και απαιτεί την ύπαρξη οπτικής επαφής (LOS) μεταξύ πομπού και δέκτη.
- **WirelessMAN-SCa:**

είναι υλοποίηση παρόμοια με την WirelessMAN-SC. Η κύρια διαφορά εντοπίζεται στο γεγονός ότι η WirelessMAN-SCa είναι σχεδιασμένη για λειτουργία σε συχνότητες χαμηλότερες των 11 GHz, χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη οπτικής επαφής (NLOS) μεταξύ πομπού και δέκτη.

- **WirelessMAN-OFDM:** Οι συχνότητες κάτω από τα 11 GHz προσφέρουν πολύ καλύτερη κάλυψη τόσο σε εξωτερικούς, όσο και σε εσωτερικούς χώρους. Χρησιμοποιείται η τεχνική OFDM, με 256 φέροντα. Χρησιμοποιείται η τεχνική OFDMA, με 2048 φέροντα. Η υλοποίηση αυτή υιοθετήθηκε από το WiMAX για συστήματα σταθερής πρόσβασης (fixed WiMAX).
- **WirelessMAN-OFDMA:** Ενδείκνυται για χρήση σε συχνότητες χαμηλότερες των 11 GHz, σε συνθήκες NLOS και υπό την παρουσία πολυδιαδρομικής διάδοσης. Χρησιμοποιείται η τεχνική OFDMA, με 2048 φέροντα. Η υλοποίηση αυτή υιοθετήθηκε από το WiMAX για συστήματα πρόσβασης από κινητούς ή φορητούς δέκτες (mobile WiMAX).
- **WirelessHUMAN:** Λειτουργία σε μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων.

Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει το λειτουργικά τους χαρακτηριστικά.

	Function	LOS	Freq. Band	Carrier	Duplexing
WirelessMAN SC	Pt-to-pt	LOS	10-66 GHz	Single	TDD, FDD
WirelessMAN SCa	Pt-to-pt	LOS	2-11 GHz Licensed	Single	TDD, FDD
WirelessMAN OFDM	Pt-to-mpt	NLOS	2-11 GHz Licensed	256	TDD, FDD
WirelessMAN OFDMA (16e)	Pt-to-mpt	NLOS	2-11 GHz Licensed	2048	TDD, FDD
WirelessHUMAN	Pt-to-mpt	NLOS	2-11 GHz License Exempt	1/256/2048	TDD Dynamic Freq. Sel.

Εικόνα 5.7: Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος [1]

5.6 Διαχείριση Πόρων

Το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι υπεύθυνο για την κατανομή των διαθέσιμων πόρων συχνότητας και χρόνου στους χρήστες. Η κατανομή των πεδίων δεδομένων στους διάφορους χρήστες γίνεται με βάση τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού (scheduling algorithm) που χρησιμοποιείται. Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού αποφασίζει πώς κατανέμονται τα διαθέσιμα φέροντα στους διάφορους χρήστες, καθώς και τα επίπεδα ισχύος με τα οποία ο κάθε χρήστης πρέπει να εκπέμπει στο κάθε φέρον. Ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού δεν καθορίζεται από το πρότυπο, αλλά η ανάπτυξή του αφήνεται στους κατασκευαστές.

Μερικοί από τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους χρονοπρογραμματισμού είναι οι εξής:

- **Μέγιστου Συνολικού Ρυθμού (Maximum Sum Rate - MSR)**
- **Μέγιστης Αμεροληψίας (Maximum Fairness - MF)**
- **Περιορισμών στον κατ' αναλογία ρυθμό (Proportional Rate Constraints - PRC)**
- **Αναλογικής Αμεροληψίας (Proportional Fairness - PF)**

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα χαρακτηριστικά των αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού.

Αλγόριθμος	Συνολική Χωρητικότητα	Αμερόληπτη κατανομή πόρων	Ευελιξία	Πολυπλοκότητα
MSR	++	-	--	+
MF	-	++	--	-
PRC	+	+	++	--
PF	+	+	+	+

Εικόνα 5.8: Χαρακτηριστικά αλγορίθμων [46]

5.7 Επίπεδο MAC

Ο πρωταρχικός σκοπός του επιπέδου MAC είναι να παρέχει την διασύνδεση μεταξύ των ανώτερων επιπέδων με το φυσικό επίπεδο. Στόχοι του MAC είναι:

- Έλεγχος συνδέσεων
- Πολύπλεξη συνδέσεων
- Διόρθωση σφαλμάτων - Αναμετάδοση Πλαισίων
- Παροχή ποιότητας υπηρεσιών.
- Ασφάλεια
- Συνένωση και ταξινόμηση ανώτερων μονάδων πακέτων
- Υποστήριξη διαδικασιών κινητικότητας
- Υποστήριξη διαδικασιών εξοικονόμησης ενέργειας

Όλα τα πλαίσια του στρώματος MAC ξεκινούν με μια γενική επικεφαλίδα (Generic MAC Header – GMH) που περιέχει το αναγνωριστικό της σύνδεσης (Connection Identifier – CID), το μήκος του πλαισίου και πληροφορία για το αν τα περιεχόμενα του πακέτου είναι κρυπτογραφημένα, καθώς και το κλειδί της κρυπτογράφησης. Το μέγιστο μήκος πλαισίου είναι 2047 bytes.

Επίσης το IEEE 802.16 MAC χωρίζεται σε τρεις βασικές οντότητες όπως παρατηρούμε στο επόμενο σχήμα:

1. Υπο-Στρώμα Ασφάλειας (Privacy Sublayer):

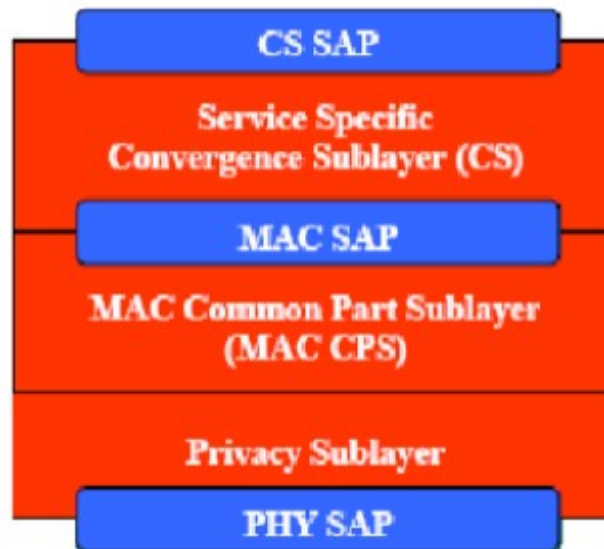
Παρέχει τις υπηρεσίες επαλήθευσης ταυτότητας (authentication), κρυπτογράφησης δεδομένων (data encryption) και ασφαλούς διαχείρισης κλειδιών ασφαλείας (key management).

2. Υπο-Στρώμα κοινού τμήματος MAC (MC Common Part Sublayer):

Εξυπηρετεί όλες τις βασικές λειτουργίες του συστήματος που είναι ανεξάρτητες από τα ανώτερα στρώματα, όπως η πρόσβαση στο δίκτυο, η αίτηση επαναμετάδοσης πακέτων (ARQ), η διαχείριση της σύνδεσης και η εφαρμογή της QoS

3. Υπο-Στρώμα σύγκλισης εξαρτώμενο απ' την υπηρεσία (Service-Specific Convergence Sub-layer):

Το υπο-στρώμα αυτό είναι υπεύθυνο για τη διασύνδεση του υποστρώματος κοινού τμήματος του MAC με πρωτόκολλα υψηλότερων επιπέδων, μέσω των σημείων πρόσβασης υπηρεσιών (Service Access Points – SAP) του υπο-στρώματος σύγκλισης.



Εικόνα 5.9: Τα υπο-επίπεδα του MAC Layer [1]

Ακόμα στο WiMAX ορίζονται πέντε τύποι ροών υπηρεσιών, που θα πρέπει να υποστηρίζονται από τον αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού στρώματος MAC του Σταθμού Βάσης, για τη μετάδοση δεδομένων μέσω μιας σύνδεσης. Αυτές είναι:

- Η αυτόκλητη (ή αυθαίρετη) υπηρεσία (Unsolicited Granted Service -UGS): Πχ. VoIP χωρίς καταπίεση διαστημάτων σιγής
- Η υπηρεσία περιόδευσης πραγματικού χρόνου (real-time polling service -rtPS): Πχ. MPEG streaming
- Η υπηρεσία περιόδευσης μη πραγματικού χρόνου (Non Real-time Polling Service - nrtPS): Πχ. Μεταφορά αρχείων με FTP
- Η υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort -BE): Πχ. Πλοήγηση στο διαδίκτυο
- Η εκτεταμένη υπηρεσία περιόδευσης πραγματικού χρόνου (Extended real-time variable rate service -ERT-VR): Πχ. VoIP με καταπίεση διαστημάτων σιγής

5.8 Σύγκριση WiMAX και WiFi

Τα πρότυπα IEEE 80216 και IEEE 802.11 δημιουργήθηκαν από τον ίδιο οργανισμό (IEEE) και σχεδιάστηκαν για την ασύρματη δικτύωση υψηλού εύρους. Ωστόσο διαφέρουν αρκετά.

Τα χαρακτηριστικά του **Wifi** είναι:

- Το WiFi δεν εγγυάται καμία ποιότητα υπηρεσίας (QoS)
- Η εμβέλεια του δικτύου WiFi είναι περίπου 100 μέτρα
- Η σύνδεση WiFi μπορεί να μεταδώσει έως και 54 Mbps
- Είναι φθινό σε σύγκριση με την τεχνολογία WiMAX
- Το Wi-Fi λειτουργεί χωρίς άδεια εύρους ζώνης
- Το IEEE 802.11 σχεδιάστηκε για την κινητικότητα των ενσύρματων τοπικών δικτύων [52]
- Τα συστήματα 802.11 χρησιμοποιούν μη οπτική επαφή

- Το Wi-Fi παρέχει μόνο τοπική δικτύωση (LAN)
- Το Wi-Fi χρησιμοποιεί τεχνικές κρυπτογράφησης AES και RC4

Ενώ Τα χαρακτηριστικά του **Wimax** είναι:

- Το WiMAX εγγυάται την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS)
- Το δίκτυο WiMAX μπορεί να φτάσει περίπου τα 50 χιλ.
- Η σύνδεση WiMAX μπορεί να μεταδώσει έως και 70 Mbps.
- Είναι ακριβό λόγω του υψηλού κόστους εγκατάστασης
- Το WiMAX λειτουργεί τόσο με άδεια εύρους ζώνης όσο και χωρίς
- Το IEEE 802.16 σχεδιάστηκε για να παρέχει ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση
- Τα συστήματα του 802.16 μπορούν να χρησιμοποιούν είτε οπτική επαφή είτε μη οπτική επαφή
- Η αρχιτεκτονική Wimax έχει σχεδιαστεί για να καταστήσει δυνατή τη δικτύωση μητροπολιτικής περιοχής (MAN)
- Στο WiMax περιλαμβάνονται αλγόριθμος κρυπτογράφησης 3DES και AES

Το επόμενο σχήμα δείχνει τις τυπικές αποστάσεις που καλύπτονται από το δίκτυο WiMAX και Wi-Fi. Το Wi-Fi είναι κατάλληλο για το σπίτι ή περιβάλλον γραφείου ενώ το WiMAX μπορεί να καλύψει μια πολύ μεγάλη έκταση.



Εικόνα 5.10: Σύγκριση εμβέλειας δικτύων Wimax και WiFi [51]

Το WiMAX έχει μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης και της μεγάλης εμβέλειας.

Το WiMAX Forum έχει τις παρακάτω βασικές χρήσεις: [53]

- Broadband on Demand
- Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας
- Παρέχει κάλυψη σε απομακρυσμένες περιοχές
- Ανάκαμψη από καταστροφές
- Συστήματα Ασφαλείας
- Στρατιωτικές Εφαρμογές WiMAX

- Ιατρικές Εφαρμογές
- Συνδεσιμότητα Τραπεζικών Δικτύων
- Δημόσια ασφάλεια
- Συνδεσιμότητα Πανεπιστημιούπολης
- Διαδραστικό παιχνίδι για πολλούς παίκτες.
- VOIP και Video Conference
- Περιήγηση στο Web και Άμεσα μηνύματα
- Λήψεις περιεχομένου πολυμέσων

Στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί πιλοτικά το δίκτυο WiMAX του ΟΤΕ το Σεπτέμβριο του 2008. Σήμερα, παρέχονται επιτυχώς ειδικές υπηρεσίες και υπηρεσίες φωνής και Internet με τη χρήση των υπηρεσιών COSMOTE WiMAX σε πολλές περιοχές όπως:

- Στον νομό Αττικής και πιο συγκεκριμένα στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (ΔΑΑ).
- Στον νομό Θεσσαλονίκης
- Στο Άγιο Όρος

Επιπρόσθετα, μπορεί να εξυπηρετήσει ειδικές ανάγκες των επιχειρήσεων, ενώ σταδιακά αντικαθιστά και τα συστήματα ΣΑΡ τα οποία εξυπηρετούν τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες αρκετών, γεωγραφικά δυσπρόσιτων, περιοχών της ελληνικής περιφέρειας. [62]

Ως εκ τούτου, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το Wimax υποστηρίζει τη βιομηχανία και βοηθά τις επιχειρήσεις, τους καταναλωτές, τις δημόσιες υπηρεσίες και τους ανθρώπους σε αστικές και αγροτικές περιοχές σε ένα μεγάλο εύρος με υψηλή απόδοση δεδομένων. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι παγκόσμιες ζώνες συχνοτήτων στις οποίες λειτουργεί το WiMAX.

Region or country	Reported WiMAX frequency bands
USA	2.3, 2.5 and 5.8 GHz
Central and South America	2.5, 3.5 and 5.8 GHz
Europe	3.5 and 5.8 GHz; possible: 2.5 GHz
South-East Asia	2.3, 2.5, 3.3, 3.5 and 5.8 GHz
Middle East and Africa	3.5 and 5.8 GHz

Εικόνα 5.11: Ζώνες συχνοτήτων Wimax [52]

5.9 Τεχνικές Εξοικονόμησης Ενέργειας

Στο σύστημα mobile WiMAX ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των Κινητών Σταθμών είναι η δυνατότητά τους να εξοικονομούν ενέργεια, προκειμένου να αυξάνουν την αυτονομία τους.

Το WiMAX ακολουθεί δύο τύπους μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας:

1. **Λειτουργία ύπνου (sleep mode):** Σε χρονικές περιόδους όπου μια σύνδεση ενός ΚΣ δεν βρίσκεται σε επικοινωνία με κάποιο ΣΒ του δικτύου, τότε η σύνδεση αυτή μπορεί να απενεργοποιείται, προκειμένου να εξοικονομείται ενέργεια, αλλά και να απελευθερώνονται ραδιοπόροι. Τα διαστήματα που ο ΚΣ βρίσκεται σε sleep mode εναλλάσσονται με διαστήματα, όπου ο ΚΣ είναι ενεργός. Το WiMAX ορίζει τρεις κλάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, με βάση τον τρόπο με τον οποίο εκτελείτε η κατάσταση ύπνου.

1. Κατάσταση Power Save Class 1
2. Κατάσταση Power Save Class 2
3. Κατάσταση Power Save Class 3

2. **Λειτουργία αδράνειας (idle mode):** Στην κατάσταση αδράνειας, ο κινητός σταθμός απενεργοποιείται τελείως, εξοικονομώντας περισσότερη ενέργεια και η λειτουργία της είναι προαιρετική από το WiMAX. Όταν ένας ΚΣ βρίσκεται σε αδρανή κατάσταση και κινείται μεταξύ περιοχών που εξυπηρετούνται από διαφορετικούς ΣΒ, παρακολουθεί τους σταθμούς αυτούς, χωρίς όμως να εγγράφεται σε κανένα ΣΒ. Αν απαιτηθεί σύνδεση με αυτό τον ΚΣ, τότε αυτός θα πρέπει να αναζητηθεί σε όλο το WiMAX δίκτυο, γεγονός που θα απαιτούσε πολύ χρόνο και θα επιβάρυνε σημαντικά το δίκτυο. Για το λόγο αυτό, οι ΣΒ του δικτύου είναι χωρισμένοι σε ομάδες που καλούνται ομάδες αναζήτησης (**paging groups**). [46]

5.10 Επίλογος

Συνοψίζοντας μπορούμε να καταλήξουμε ότι η τεχνολογία του WiMax είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία στο κομμάτι των τηλεπικοινωνιών και των ασύρματων δικτύων. Τα χαρακτηριστικά του WiMAX είναι ισχυρή ποιότητα υπηρεσιών, ισχυρή ασφάλεια, επεκτασιμότητα, υποστήριξη φορητότητας, υψηλά δεδομένα ρυθμό και ευέλικτη αρχιτεκτονική.

Παρ'όλα αυτά δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το WiMax δεν σχεδιάστηκε με την προοπτική να αντικαταστήσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες, αλλά αποτελεί συμπληρωματικό κομμάτι τους και η κάθε μία από αυτές μπορεί να φανεί καταλληλότερη για διαφορετικούς σκοπούς.

Κεφάλαιο 6ο: Li-Fi (Light Fidelity) Technology

6.1 Εισαγωγή

Η μετάδοση δεδομένων είναι μια από τις πιο σημαντικές καθημερινές δραστηριότητες στον ταχέως αναπτυσσόμενο κόσμο. Η Li-Fi είναι ένας νέος τρόπος ασύρματης επικοινωνίας. Η βασική ιδέα πίσω από αυτή την τεχνολογία είναι ότι τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν μέσω φωτός LED με μεταβαλλόμενο εντάσεις φως πιο γρήγορα από ό,τι μπορεί να αντιληφθεί τα ανθρώπινα μάτια. Το Li-Fi έχει πολύ ευρύτερο φάσμα μετάδοσης σε σύγκριση με της συμβατικές μεθόδους ασύρματων επικοινωνιών που βασίζονται σε ραδιοκύματα. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί ένα μέρος του ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που δεν χρησιμοποιείται ακόμη σε μεγάλο βαθμό.

6.2 Light Fidelity Li-Fi

Η ιδέα του Li-Fi ανήκει στις επικοινωνίες ορατού φωτός (Visible Light Communications - VLC), εισήχθη για πρώτη φορά από τον Γερμανό φυσικό καθηγητή Harald Haas του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου, στο TEDGlobo (Technology, Entertainment, Design) δηλαδή σε μια Παγκόσμια ομιλία για την Επικοινωνία Ορατού Φωτός τον Ιούλιο του 2011. Ο Haas το 2012 (ξεκίνησε το 2008) συνίδρυσε την εταιρεία pureLiFi, με σκοπό την ανάπτυξη και παράδοση τεχνολογίας για ασφαλή, αξιόπιστα και υψηλών ταχυτήτων δίκτυα. Η PureLiFi παρουσίασε το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο σύστημα Li-Fi, το Li-1st, στο Παγκόσμιο Συνέδριο Κινητών Τηλεφώνων 2014 στη Βαρκελώνη (Sewaiwar, Tiwari, & Chung, 2015). [55] Τον Οκτώβριο 2011, εταιρείες και βιομηχανικοί όμιλοι σχημάτισαν την κοινοπραξία Li-Fi, για την προώθηση οπτικών υψηλής ταχύτητας ασύρματα συστήματα και για να ξεπεραστεί η περιορισμένη ποσότητα ασύρματου φάσματος που είναι διαθέσιμο αξιοποιώντας ένα εντελώς διαφορετικό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ενώ τον Απρίλιο του 2014, η ρωσική εταιρεία Stins Coman ανακοίνωσε την ανάπτυξη ενός ασύρματου τοπικού Li-Fi δίκτυο που ονομάζεται BeamCaster. [63] Ο όρος Li-Fi έχει εμπνευστεί λόγω των δυνατοτήτων του να ανταγωνιστεί το συμβατικό Wi-Fi.

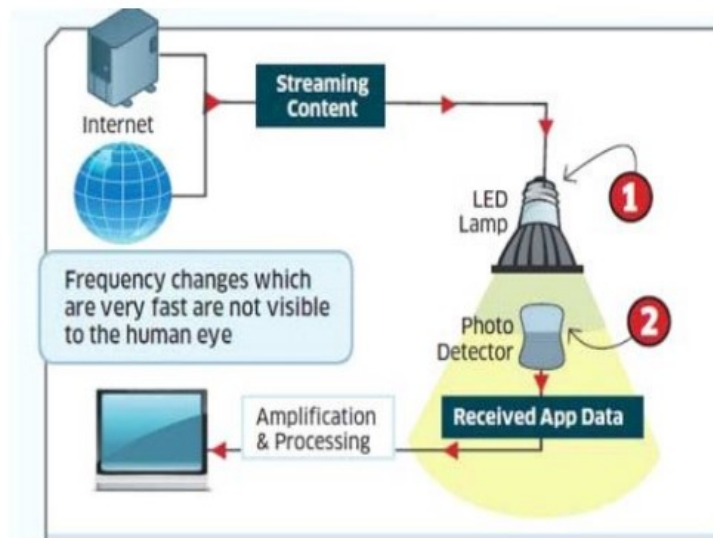
6.3 Αρχιτεκτονική του συστήματος Li-Fi

Τα κύρια στοιχεία ενός βασικού συστήματος Li-Fi μπορεί να περιέχουν τα ακόλουθα:

- α) Ένα λευκό LED υψηλής φωτεινότητας που λειτουργεί ως πηγή μετάδοσης.
- β) Μια φωτοδίοδο πυριτίου με καλή απόκριση στο ορατό φως ως στοιχείο λήψης.

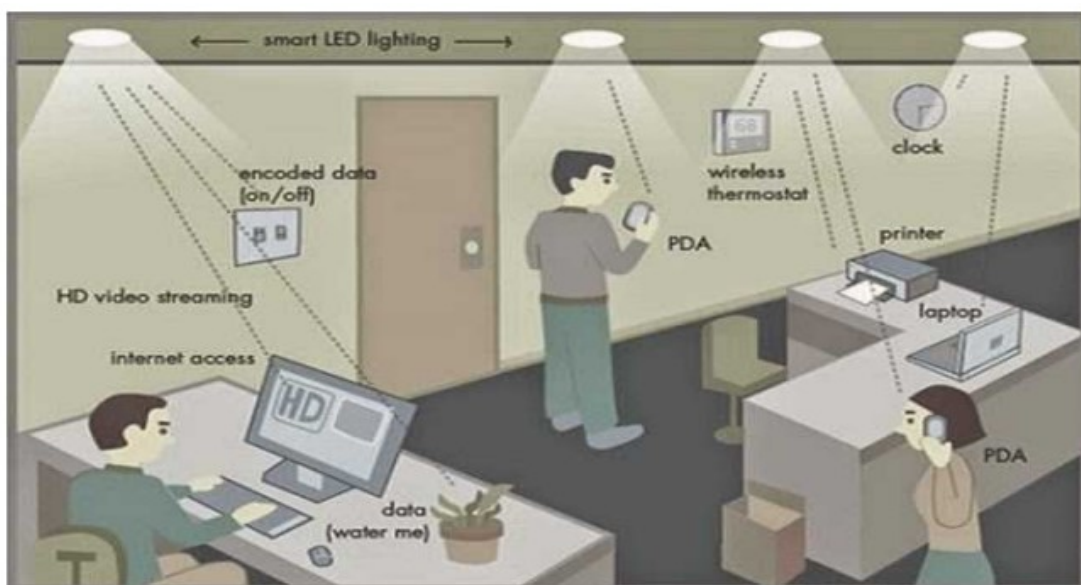
Η διαδικασία λειτουργίας είναι πολύ απλή. Εάν το LED είναι αναμμένο, τότε μεταδίδουμε ένα ψηφιακό σήμα και εάν το LED είναι σβηστό, τότε μεταδίδουμε σήμα μηδέν. Ένας ελεγκτής είναι επίσης συνδεδεμένος στο πίσω μέρος αυτών των λαμπτήρων LED για κωδικοποίηση δεδομένων σε αυτά τα LED. Έπιτα μια συσκευή ευαίσθητη στο φως λαμβάνει το σήμα και το μετατρέπει ξανά σε αρχικά δεδομένα, επιτρέποντας έτσι πιο γρήγορη και ασφαλέστερη αμφίδρομη ασύρματη επικοινωνία. Έτσι, κάθε πηγή φωτός θα λειτουργεί ως κόμβος για τη μετάδοση δεδομένων.

Η εικόνα που ακολουθεί περιγραφεί την διαδικασία. Το Li-Fi χρησιμοποιεί ορατό φως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μεταξύ 400 THz και 800 THz. [57] Το υψηλό εύρος ζώνης που διαθέτει η τεχνολογία Li-Fi το οποίο είναι ελεύθερο και δωρεάν συνεπάγεται υψηλό ρυθμό δεδομένων και συγκριμένα, ένα LED επιτυγχάνει ταχύτητα μεγαλύτερη των 1 Gbps. Ακόμη χρησιμοποιεί την τεχνική Διαμόρφωσης Δείκτη Υποφέρων OFDM (Subcarrier Index Modulation OFDM, SIM OFDM) η οποία καθιστά ικανή τη μετάδοση δεδομένων μέσω φωτεινής πηγής. Επιπλέον πρέπει οι λάμπες LED να είναι συνέχεια αναμμένες ούτως ώστε να μεταδίδονται τα δεδομένα. Η ένταση του φωτός όμως, μπορεί να είναι τόσο χαμηλή που να μην γίνεται αντιληπτή.



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα του υποσυστήματος Li-Fi [58]

Περαιτέρω βελτιώσεις του ρυθμού δεδομένων μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας διαφορετική διάταξη των LED για παράλληλη μετάδοση δεδομένων ή χρησιμοποιώντας μείγματα κόκκινου, πράσινου και μπλε LED για την αλλαγή της συχνότητας του φωτός, δηλαδή με κάθε συχνότητα να κωδικοποιεί διαφορετικό κανάλι δεδομένων. Το επόμενο σχήμα δείχνει τη λειτουργία/ανάπτυξη ενός συστήματος Li-Fi που συνδέει τις συσκευές σε ένα δωμάτιο.



Εικόνα 6.2: Σύστημα Li-Fi που συνδέει συσκευές σε ένα δωμάτιο [59]

6.4 Πλεονεκτήματα, Μειονεκτήματα και Εφαρμογές Li-Fi

Το Li-Fi προσφέρει μια σειρά από βασικά πλεονεκτήματα έναντι του Wi-Fi.

- Το Li-Fi αναμένεται να είναι 10 φορές φθηνότερο και πιο φιλικό προς το περιβάλλον από το Wi-Fi
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρομαγνητικά ευαίσθητες περιοχές όπως σε καμπίνες αεροσκαφών, νοσοκομεία και πυρηνική εργοστάσια χωρίς να προκαλούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- Ανοίγει ατελείωτες ευκαιρίες για στρατιωτικές επιχειρήσεις
- Το φάσμα του ορατού φωτός είναι άφθονο χωρίς άδεια και δωρεάν
- Είναι δύσκολο να κρυφακούσετε τα σήματα Li-Fi αφού το σήμα περιορίζεται σε στενά καθορισμένη περιοχή φωτισμού και δεν μπορεί να περάσει μέσα από τοίχους.
- Εξαλείφει τις παρεμβολές γειτονικού δικτύου
- Η διαθεσιμότητα δεν αποτελεί πρόβλημα καθώς οι πηγές φωτός υπάρχουν παντού
- Οι υποθαλάσσιες εξερευνήσεις μπορούν να γίνουν με μεγαλύτερη ευκολία

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματά του, το Li-Fi, όπως κάθε τεχνολογία, συνοδεύεται επίσης από ορισμένους περιορισμούς και μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι:

- Δεν είναι δυνατή η πρόσβαση στο Διαδίκτυο χωρίς πηγή φωτός
- Απαιτεί μια κοντινή ή τέλεια οπτική επαφή για τη μετάδοση δεδομένων
- Το φυσικό φως, το ηλιακό φως και το κανονικό ηλεκτρικό φως μπορεί να επηρεάσουν την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων
- Τα κύματα φωτός δεν διαπερνούν τους τοίχους με αποτέλεσμα να έχει πολύ μικρότερη εμβέλεια
- Έλλειψη κατάλληλης υποδομής
- Η σκίαση είναι μια πρόκληση που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί
- Η ατμοσφαιρική θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την θερμοκρασία του LED με αποτέλεσμα την υποβάθμιση ισχύος

Μια μεγάλη παρανόηση σχετικά με τα συστήματα Li-Fi είναι ότι δημιουργήθηκαν για να αντικαταστήσουν τα συστήματα WiFi. Ωστόσο αυτό δεν ισχύει το Li-Fi θα πρέπει να εξετασθεί ως μία συμπληρωματική τεχνολογία που στοχεύει στη βελτίωση της υπάρχουσας τεχνολογίας και που θα παρέχει ανακούφιση στο ήδη συνωστισμένο ραδιοφάσμα που χρησιμοποιείται για τις συνδέσεις του WiFi. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει μια σύγκριση των τεχνολογιών.

Parameters	Li-Fi	Wi-Fi
IEEE standards	802.15.7	802.11b
Speed	1-3.5Gbps	54-250Mbps
Medium of data transfer	Use light as carrier	Use radio spectrum
Frequency	100 times of Tera Hz	2.4GHz
Topology	Point to Point	Point to Multi-point
Range	10 Meters	20-100 meters
Cots	Cheap	Expensive
Spectrum range	10000 times than WiFi	Radio spectrum range

Εικόνα 6.3: Σύγκριση μεταξύ WI-FI και LI-FI [56]

Η δραματική αύξηση της χρήσης του LED (Light Emitting Diodes) για φωτισμό παρέχει την ευκαιρία να ενσωματωθεί η τεχνολογία Li-Fi σε πληθώρα περιβάλλοντα όπως :

- Έξυπνα κτίρια
- Πυκνά αστικά περιβάλλοντα
- Επικίνδυνα περιβάλλοντα
- Οχήματα και μεταφορές
- Άμυνα και Ασφάλεια Στρατιωτικές εφαρμογές ευαίσθητες σε υποκλοπές
- Νοσοκομεία και Υγειονομική περίθαλψη
- Αεροπορία, Τρένα
- Επιχειρησιακές δράσεις για την αντιμετώπιση καταστροφών
- Συστήματα Εκπαίδευσης
- Υποβρύχια επικοινωνία
- Το Li-Fi μπορεί να λύσει ζητήματα όπως η έλλειψη εύρους ζώνης ραδιοσυχνοτήτων
- Ξενοδοχεία, Μουσεία

6.5 Επίλογος

Το Li-Fi βρίσκεται ακόμα στα αρχικά του στάδια και έτσι προσφέρει τεράστιο πεδίο για μελλοντική έρευνα και καινοτομία. Δεδομένου ότι το φως είναι η κύρια πηγή για μετάδοση σε αυτή την τεχνολογία είναι πολύ συμφέρουσα και υλοποιήσιμα σε διάφορους τομείς που δεν μπορούν να γίνουν με το Wi-Fi και άλλες τεχνολογίες.

Πρακτικά εάν αυτή η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί κάθε λαμπτήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτι σαν σημείο πρόσβασης Wi Fi για τη μετάδοση ασύρματων δεδομένων και έτσι θα προχωρήσουμε προς καθαρότερο, πιο πράσινο, ασφαλέστερο και φωτεινότερο μέλλον.

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Ιδέες

Η τεράστια διείσδυση που γνωρίζουν οι ασύρματες τεχνολογίες στο χώρο, οδηγεί τις εταιρίες και τους οργανισμούς που δραστηριοποιούνται στο χώρο των δικτύων να συνθέτουν ομάδες εργασίας με σκοπό την ανάπτυξη νέων βελτιωμένων πρωτοκόλλων. Στόχος των υπό ανάπτυξη πρωτοκόλλων είναι η ταχύτερη και ασφαλέστερη (σε σχέση με τα πρωτόκολλα που ήδη εφαρμόζονται) ασύρματη επικοινωνία μεταξύ συσκευών.

Η ευκολία και η ταχύτητα που παρέχουν τα ασύρματα δίκτυα, μαζί με την δυνατότητα δικτύωσης που παρέχουν αναπόφευκτα μελλοντικά θα οδηγήσουν στην δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου που θα ξεπεράσει το εύρος των τοπικών δικτύων που απλώνονται σε κτήρια. Μελετητές οραματίζονται ότι μελλοντικά μια ολόκληρη πόλη θα είναι δικτυωμένη ασύρματα παρέχοντας στους χρήστες δικτύωση με μηδενικό σχεδόν κόστος.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση είναι:

- Υπάρχουν διάφοροι τύποι δικτύων όπως LAN, WAN, MAN, PAN
- Το Bluetooth είναι μια ασύρματη τεχνολογία που δεν εξαρτάται από καλώδια, είναι αποδεκτή και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως
- Το Zigbee έχει μια ευέλικτη δομή δικτύου, είναι εύκολο στην εγκατάσταση, Έχει πολύ μεγάλη διάρκεια μπαταρίας
- Το Home RF παρέχει τη βάση για ένα ευρύ φάσμα διαλειτουργικών καταναλωτικών συσκευών για ασύρματη ψηφιακή επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών και ηλεκτρονικών συσκευών ευρείας κατανάλωσης οπουδήποτε μέσα και γύρω από το σπίτι
- Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του HiperLAN/2 είναι οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης έως 54 Mbps. Χρησιμοποιεί την μέθοδο διαμόρφωσης OFDM

Ακόμα πρέπει να επισημάνουμε ότι το πρότυπο IEEE 802.11 είναι το κυρίαρχο πρότυπο για τα ασύρματα δίκτυα. Σε αυτό Σε αυτό ορίζονται το υποεπίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC) και το φυσικό επίπεδο (PHY). Οι τεχνικές διαμόρφωσης που προδιαγράφονταν στο φυσικό επίπεδο είναι:

- Direct Sequence Spread Spectrum ή DSSS
- Frequency Hopping Spread Spectrum ή FHSS
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing ή OFDM
- Υπέρυθρες

Επίσης οι δύο τρόποι πρόσβασης στο MAC επίπεδο που έχουν οριστεί είναι οι:

- DCF (Distributed Coordination Function)
- PCF (Point Coordination Function)

Θα αποτελούσε σοβαρή παράλειψη να μην τονίσουμε ότι για την αντιμετώπιση των δύο προβλημάτων (κρυμμένου και του εκτεθειμένου κόμβου) χρησιμοποιείτε ο αλγόριθμος που αποκαλείται πολλαπλή πρόσβαση με αποφυγή συγκρούσεων (multiple access with collision avoidance, MACA) Η λογική είναι ότι ο αποστολέας και ο παραλήπτης ανταλλάσσουν μεταξύ τους πλαίσια ελέγχου (RTS/CTS) προτού ο απόστολος μεταδώσει στην πραγματικότητα οποιαδήποτε

δεδομένα. Αυτή η ανταλλαγή ενημερώνει όλους τους κοντινούς κόμβους ότι πρόκειται να ξεκινήσει μια μετάδοση.

Από την άλλη πλευρά η τεχνολογία WiMAX στηρίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16. Η τεχνολογία WIMAX φαίνεται να έχει τα πάντα σε ένα πακέτο. Μπορεί να παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, live-streaming και ασύρματη τηλεφωνική σύνδεση, όλα αυτά ενσωματώνοντας ταυτόχρονα την κινητικότητα. Ενώ το WIMAX εξακολουθεί να είναι μια νέα τεχνολογία, καθώς χρησιμοποιείται πιο συχνά, η τεχνολογία θα γίνει ευρύτερα διαθέσιμη και η τιμή της θα μειωθεί. Με όλη την τρέχουσα εξέλιξη στον τομέα, η τεχνολογία WiMAX μπορεί να έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον κόσμο της ασύρματης ευρυζωνικότητας μέσα στα επόμενα λίγα χρόνια.

Αξίζει, επιπλέον, να αναφερθούμε ότι η χρήση Li-Fi θα ήταν επωφελής για πολλούς λόγους. Προσφέρει αυξημένη ταχύτητα και βελτιωμένη ασφάλεια Ένα άλλο πλεονέκτημα του Li-Fi είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει με την υπάρχουσα τεχνολογία και υποδομή. Η τεχνολογία Li-Fi μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρομαγνητικά ευαίσθητες περιοχές. Το Li-Fi θα μπορούσε να έχει τεράστιο αντίκτυπο και στο Διαδίκτυο των πραγμάτων, με τα δεδομένα να μεταφέρονται σε πολύ υψηλότερα επίπεδα με ακόμη περισσότερες συσκευές να μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους.

Τέλος, στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα που προέκυψαν μετά την περάτωση αυτής της πτυχιακής εργασίας οι οποίες συνοψίζονται παρακάτω:

- Αν και υπάρχει ακόμη πολύς δρόμος για να γίνει αυτή η τεχνολογία εμπορική επιτυχία το Li-Fi πιθανότατα δεν θα αντικαταστήσει πλήρως το Wi-Fi. Πως όμως αυτές οι δύο τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί για την επίτευξη πιο αποτελεσματικού και ασφαλούς δικτύου και να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο
- Ακόμα το Li-Fi θα μπορούσε να γίνει μία εναλλακτική λύση παρέχοντας υπηρεσία, όπως επαυξημένη ή εικονική πραγματικότητα
- Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα αφορά την αποδοτική αξιοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας των ασύρματων δικτύων. Η κατανάλωση ενέργειας των ασύρματων δικτύων δεν επηρεάζει μόνο τη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών αλλά και τη βιωσιμότητα του πλανήτη
- Μία αναλυτική προσομοίωση του προτύπου IEEE 802.11 θα μπορούσε να δώσει σημαντικές πληροφορίες σε έναν συγκεκριμένο χώρο (για παράδειγμα στο εσωτερικό ενός κτιρίου), όπου θα υπάρχουν συγκεκριμένες συνθήκες θορύβου και παρεμβολών και θα πρέπει να υπολογιστεί το μοντέλο εξασθένισης του σήματος που αντιστοιχεί στον συγκεκριμένο χώρο
- Η τεχνολογία WIMAX θα απειλήσει το μερίδιο αγοράς των βιομηχανιών τηλεφωνίας και καλωδίων καθώς διαδοθεί περισσότερο βελτιωμένες υπηρεσίες με χαμηλότερο κόστος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δημοσθένης Βουγιούκας, Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών, Πρότυπο 802.11, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων. Available: <https://eclass.aegean.gr/courses/ICSD122/>
- [2] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith and A. Jamalipour, "Wireless Body Area Networks: A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 3, pp. 1658-1686, Third Quarter 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.121313.00064.
- [3] Tom Seymour, Ali Shaheen, "History of Wireless Communication", Minot State University USA, Review of Business Information Systems (RBIS), April 2011.
- [4] Emil Jovanov, Aleksandar Milenkovic, "A wireless body area network of intelligent motion sensors for computer assisted physical rehabilitation", University of Alabama in Huntsville, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, April 2005.
- [5] NETWORK INTERVIEW An Initiative By ipwithease.com. Available: <https://networkinterview.com/what-are-the-types-of-wireless-networks/>
- [6] Steve A. Rackle, Wireless Networking Technology From Principles to Successful Implementation, Newnes 1st edition (March 30, 2007)
- [7] Jordi Salazar, "Wireless networks", Czech Technical University of Prague Faculty of electrical engineering, only electronic form 1st Edition, 2017. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/110811/LM01_F_EN.pdf
- [8] Ibrahim Al Shourbaji, "An Overview of Wireless Local Area Networks (WLAN)", Computer Networks Department Jazan University, International Journal of Computer Science and Information Security, Saudi Arabia 2013
- [9] Boselin Prabhu VSB College of Engineering Technical Campus, Sophia Sudhir Sri Krishna College of Engineering and Technology, Survey of Adaptive Distributed Clustering Algorithms for Wireless Sensor Networks, November 2011
- [10] KUROSE JAMES, ROSS W. KEITH, ΔΙΚΤΥΩΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΑΠΟ ΠΑΝΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΚΑΤΩ 7^η ΕΚΔΟΣΗ, ΑΘΗΝΑ 2018
- [11] Paulo Milheiro Mendes Airbus, "802.11 Medium Access Control In MiXiM", Tauseef Jamal Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, March 2013
- [12] Jagjeet Kaur, Ramandeep Kaur, Manpreet Kaur, "Bluetooth Technology", International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering March 2016
- [13] Tejinder Saggu, "Bluetooth Technology". Available: https://www.academia.edu/8328408/BLUETOOTH_TECHNOLOGY
- [14] Inigo Puy, "Bluetooth". Available: <https://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-08ss-bluetooth-Ingo-Puy-Crespo.pdf>
- [15] The 802.11 Protocol Stack Part of the 802.11 protocol stack. Available: <https://slideplayer.com/slide/5156653/>

- [16] Vikethozo Tsira, Gypsy Nandi, “Bluetooth Technology: Security Issues and Its Prevention”, International Journal of Computer Applications in Technology, October 2014
- [17] BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE) OVERVIEW. Available: <https://www.global-tag.com/bluetooth-low-energy-ble-overview/>
- [18] HomeRF Overview and Market Positioning By Eamon Myers - MSc in eCommerce, DCU, Ireland. Available: http://www.cazitech.com/HomeRF_Overview+Mkt_Posn.htm
- [19] Gu Jiantao, Fu Jinghong, Wu Tao, “Analysis of Current Wireless Network Security”, College of Science Hebei United University Tangshan, China, Modern Technology and Education Center Hebei United University Tangshan, China, October 2012.
- [20] JPL's Wireless Communication Reference Website Chapter: Network Concepts and Standards Section: Data and Multimedia Systems, Wireless LANS. High Performance LAN (Hiperlan) Contributed by Torben Rune, Netplan. Available: <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr01/wrlslans/hiperlan.htm>
- [21] ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΗΣ, ΛΑΓΟΓΙΑΝΝΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, 10η ΕΚΔΟΣΗ, ΑΘΗΝΑ 2016
- [22] Pieter Kritzinger, Wireless Standards and Mesh Networks, University of Cape Town Paolo Pileggi TNO, January 2007
- [23] Πυποβίδης Αντώνιος, “Σχεδιασμός του πρωτοκόλλου MAC του προτύπου IEEE 802.11 και αξιολόγηση της απόδοσης του, με δυνατότητα για παράλληλες μεταδόσεις στα ασύρματα ad hoc δίκτυα”, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2011
- [24] Branislav “A Contribution to the Design of a Frequency Synthesizer for Fast Frequency-Hopped Spread-Spectrum Systems”, LOJKO Dept. of Radio and Electronics, Slovak University of Technology, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slovak Republic
- [25] ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ και ΔΙΟΙΚΗΣΗ των ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΑΘΗΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες (ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ)
- [26] ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΗΣ, ΛΑΓΟΓΙΑΝΝΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, 10η ΕΚΔΟΣΗ, ΑΘΗΝΑ 2016
- [27] Καπόνιας, Αλέξανδρος, Διπλωματική Εργασία, “Σχεδίαση και Αξιολόγηση Απόδοσης Πρωτοκόλλου MAC με Έλεγχο Ισχύος σε Ασύρματα Ad-Hoc Δίκτυα”, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2016
- [28] Μιχαήλ Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ Καθηγητής Ε.Μ.Π “ΔΙΚΤΥΑ ΚΙΝΗΤΩΝ & ΠΡΟΣΩΠΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ” 2η Έκδοση, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, ΑΘΗΝΑ 2010
- [29] Γούδος Σωτήριος, Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ, “Δίκτυα Επικοινωνίας και Υπολογιστών”,
"Ενότητα 5: Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα".
- [30] William Stallings, “DATA AND COMPUTER COMMUNICATIONS Eighth Edition”, Upper Saddle River, New Jersey 07458, Pearson Education, Inc.2007

- [31] Tutorialspoint, Spread Spectrum Modulation. Available:
https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_spread_spectrum_modulation.htm
- [32] Κεφάλαιο 1OFDM και OFDMA. Available:
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE799/OFDM.pdf>
- [33] 802.11 PHY Layers, CHAPTER 8, Available:
http://media.techtarget.com/searchMobileComputing/downloads/CWAP_ch8.pdf
- [34] IEEE 802.11n MAC Enhancement and Performance Evaluation, Chih-Yu Wang, Hung-Yu Wei, Published online: 9 January 2009, Available:
http://wmnlab.ee.ntu.edu.tw/publication/Journal/%5BJ%5D2009_ACMSpringer.2009.IEEE%20802.11n%20MAC%20Enhancement%20and%20Performance%20Evaluation.pdf
- [35] Sourangsu Banerji, Rahul Singha Chowdhury, "On IEEE 802.11: Wireless LAN Technology", Department of Electronics & Communication Engineering, RCC-Institute of Information Technology, India, International Journal of Mobile Network Communications & Telematics, July 2013
- [36] Ioannis Selinis, "Digital Communications and Networks, Performance study of 802.11n WLAN and MAC enhancements in ns-3 Master University of Piraeus Department of Digital Systems MSc, Piraeus 2014
- [37] Στεργιούδης Αστέριος, Στόιος Γεώργιος και Τσακίριδης Σταύρος, Πτυχιακή Εργασία "Μέτρηση Απόδοσης Ασύρματων Τοπικών Δικτύων", ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, Φεβρουάριος 2008
- [38] Χούμας Κωνσταντίνος, Διπλωματικής Εργασίας "Διαμόρφωση Σχήματος Απόδοσης Προτεραιοτήτων στο 802.11", Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2007
- [39] ΛΟΥΓΓΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, "ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΣΕ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ: ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ 802.11a, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ", ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003
- [40] ΠΑΣΧΑΛΗΣ ΡΑΠΤΗΣ, ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ "ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IEEE 802.11 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ", Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Θεσσαλονίκη Φεβρουάριος 2010
- [41] Mohammad S. Obaidat, Alagan Anpalagan and Isaac Woungang, Handbook of Green Information and Communication Systems, Academic Press, Published 2013
- [42] Yunli Chen and Dharma P. Agrawal, "Effect of Contention Window on the Performance of IEEE 802.11 WLANs", January 2004. Available: [\(PDF\) Effect of Contention Window on the performance of IEEE 802.11 WLANs \(researchgate.net\)](#)
- [43] P. Chatzimisios¹, A. C. Boucouvalas¹ and V. Vitsas², "Optimisation of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11 Wireless LANs for maximum performance", Published in: [IEEE Global Telecommunications Conference Workshops, 2004. GlobeCom Workshops 2004.](#)

[44] Mohamed Nj, S. Sahib, N. Suryana, B. Hussin, “RTS/CTS Framework Paradigm and WLAN Qos Provisioning Methods”, Article Published in International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA), Volume 8 Issue 2, 2017. Available:

[RTS/CTS Framework Paradigm and WLAN Qos Provisioning Methods \(semanticscholar.org\)](https://www.semanticscholar.org/)

[45] Δομζαρίδου Ελένης, “Πρωτόκολλα ασύρματων τοπικών δικτύων - WiFi”, ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, Θεσσαλονίκη 2010

[46] Αθανάσιος Κανάτας, Φίλιππος Κωνσταντίνου, Γεώργιος Πάντος, “ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ”, 2η Έκδοση, Παπασωτηρίου, ΑΘΗΝΑ 2013

[47] Κυριακίδου Κυριακής, “Πρωτόκολλα ασύρματων τοπικών δικτύων - WiFi”, ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ Τ.Ε.Ι. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, Θεσσαλονίκη 2011

[48] WIMAX Reference Network Model, Tutorials Point, Available:

https://www.tutorialspoint.com/wimax/wimax_network_model.htm

[49] WIMAX Network Architecture Radio-Electronics.com, Available:

<https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wimax/network-architecture.php>

[50] M. Samsuzzaman, M.S. Uddin, T. Islam, S. Bappi, S. Sulaiman, “Comparision Wimax and other Technology for Broad band Wireless Access (Bwa)”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(9): 605-615, 2012 ISSN 1991-8178, January 2012

[51] Mohammad Saiful Islam, Mohammad Tawhidul Alam, “WiMAX: An Analysis of the existing technology and compare with the cellular networks”, Blekinge Institute of Technology Department of Telecommunications systems, Published 2009

[52] Nuaym Loutfi. (2007). WiMAX Technology for Broadband Wireless Access. John Wiley and Sons Ltd. England.

[53] Paramveer Kaur Sran, “Wimax Its Features and Applications”, Conference: 2nd National Conference on Communications and Networking (NCCN-09) At: Sant Longowal Institute of Engineering & Technology, March 2009

[54] ΤΖΙΜΤΖΙΜΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ, “ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ WIMAX”, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016

[55] Sewaiwar, A., Tiwari, S., & Chung, Y.-H. (2015, 3 15). Novel user allocation scheme for full duplex multiuser bidirectional Li-Fi network. Optics Communications, 339, σσ. 153- 156.

[56] Review Paper on Li-Fi (Light Fidelity) Mr. Korde S. K, Vol-2 Issue-3 2016 IJARIE-ISSN(O)-2395-4396 2056 www.ijariie.com 42, Available:

http://ijariie.com/AdminUploadPdf/Review_Paper_on_Li_Fi_Light_Fidelity_ijariie2056.pdf

[57] Dinesh Khandall , Sakshi Jain, “Li-Fi (Light Fidelity): The Future Technology in Wireless Communication”, International Journal of Information & Computation Technology. ISSN 0974-2239 Volume 4, Number 16 (2014), pp. © International Research Publications House

[58] Praveen Bandela, Punil Nimmagadda, Sravanthi Mutchu, “Li-Fi(Light Fidelity): The Next Generation of Wireless Network”, International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, Vol. 3 , No.1, Pages : 132– 137 (2014) Special Issue of ICETETS 2014 - Held on 24-25 February, 2014 in Malla Reddy Institute of Engineering and Technology, Secunderabad– 14, AP, India

[59] FN Division, TEC, Study Paper on LiFi (Light Fidelity) & its Applications, Available:

[Microsoft Word - lifi study paper - approved.docx \(tec.gov.in\)](#)

[60] Wikipedia Fresnel zone, Available:

https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_zone

[61] Μπαλτσιώτης Αλέξανδρος, “Μελέτη WiMAX δικτύου”, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων, Φεβρουάριος 2009

[62] Βασιλειάδου Κυριακή, “ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΤΟ WiMAX”, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής τ.ε. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, ANTIPPIO 2017

[63] Abdulhafid Egjam, Nizar Zarka, “Overview Li-Fi Technology”, Affiliation: Seminar of 4th Year Telecom Engineering 2015, April 2015

[64] K.J. Negus, A.P. Stephens, Jim Lansford, “HomeRF: Wireless networking for the connected home”, IEEE Personal Communications 7(1):20-27 DOI:10.1109/98 824568, March 2000

[65] Mika Kasslin, Nico van Waes, “Applicability of IEEE802.11 and HIPERLAN/2 for Wireless HUMAN Systems”, 2000-09-08, Available:

https://www.ieee802.org/16/human/contrib/80216hc-00_09.pdf

[66] Πανοπούλου Β. Ελένη, “Θεωρία και ψηφιακή προσομοίωση ασυρμάτων τοπικών δικτύων υψηλής ταχύτητας: τα πρότυπα IEEE 802.11 και ETSI Hiperlan 2”, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2002

[67] ZigBee Wireless Sensor and Control Network. By Ata Elahi, Adam Gschwender Published Oct 29, 2009 by Prentice Hall. Part of the Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series from Ted Rappaport series

[68] DaintreeNetworks, “Getting Started with ZigBee and IEEE 802.15.4 ”, February 2008, Available:

<https://www.science.smith.edu/~jcardell/Courses/EGR328/Readings/Zigbee%20GettingStarted.pdf>

[69] Ankur Tomar– Global Technology Centre Volume 1, “Introduction to Zigbee Technology” July 2011, Available:

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DI367/%CE%A5%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C/introduction-to-zigbee-technology.pdf>