



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ
ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Του φοιτητή
Μουσάκου Γκουτζβάλντο
Αρ. Μητρώου: 515092

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο
Βαθμίδα

Ημερομηνία

Τίτλος Δ.Ε.
Κωδικός Δ.Ε. ...
Ονοματεπώνυμο φοιτητή/τών
Ονοματεπώνυμο εισηγητή ...
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. ...
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

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 του φοιτητή Μουσάκου Γκουτζβάλντο 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.

Περίληψη

Αυτή η πτυχιακή εργασία εξετάζει τις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα των ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), εστιάζοντας στην εξέλιξή τους, τις αρχιτεκτονικές τεχνικές και τις διαφορές τους από τα ενσύρματα δίκτυα. Αρχικά, παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή που περιγράφει την ανάπτυξη των WLAN και τη σημασία τους τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και στις επιχειρηματικές εφαρμογές.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση μεταξύ ασύρματων και ενσύρματων τοπικών δικτύων, εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε τεχνολογίας. Έπειτα, ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή της δομής των WLAN, με έμφαση στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων και στα βασικά πρότυπα που τα διέπουν, όπως τα HomeRF, HiperLAN 1 & 2, καθώς και η οικογένεια προτύπων IEEE 802.11 (b, a, g, n, ac).

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην επικοινωνία στο φυσικό επίπεδο, όπου εξετάζονται οι βασικές τεχνικές μετάδοσης, όπως η αξιοποίηση των ραδιοκυμάτων και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Παράλληλα, αναλύονται οι διάφορες μέθοδοι διαμόρφωσης και πολυπλεξίας, όπως οι τεχνικές CDMA, OFDM, TDMA, SDMA, FHSS, DSSS και Beamforming.

Μέσα από αυτή την εργασία, αποτυπώνεται η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων, καθώς και οι τεχνολογίες που τα καθιστούν αξιόπιστα και αποδοτικά. Παράλληλα, αναδεικνύονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν. Τα συμπεράσματα της ανάλυσης επιβεβαιώνουν τη συνεχή πρόοδο των τεχνολογιών WLAN και τον κρίσιμο ρόλο τους στη σύγχρονη δικτύωση, προδιαγράφοντας τις μελλοντικές τάσεις στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας.

Technologies and Protocols of Wireless Local Networks

Musaku Guxvaldo

Abstract

This thesis explores the technologies and protocols that underpin wireless local area networks (WLANs). It traces the historical evolution of WLANs, contrasts them with wired LANs, and examines core wireless networking principles. Key topics include the link layer, standard specifications such as HomeRF, HiperLAN (1 & 2), and IEEE 802.11 variants (b/a/g/n/ac). Additionally, it analyzes communication methodologies at the physical layer, covering radio wave and infrared transmission, alongside advanced techniques like CDMA, OFDM, TDMA, SDMA, beamforming, FHSS, and DSSS. By integrating these aspects, the study offers a comprehensive understanding of WLAN development and underlying technologies.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract	4
1. Εισαγωγή και ιστορική αναδρομή ασύρματων τοπικών δικτύων	8
2. Σύγκριση ασυρμάτων και ενσύρματων τοπικών δικτύων.....	14
2.1 Ενσύρματα τοπικά δίκτυα	14
3. Ανάλυση ασυρμάτων τοπικών δικτύων.....	18
3.1 Εισαγωγή	18
3.2 Φυσικό επίπεδο	18
3.3 Αρχιτεκτονική δικτύου.....	19
3.4 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων.....	21
3.4.1 Τοπολογία αστέρα	22
3.4.2 Τοπολογία πλέγματος	22
3.4.3 Τοπολογία συστάδας δέντρου	23
3.4.4 Τρόποι σύνδεσης ασύρματων σταθμών.....	24
4. Επίπεδο ζεύξης	25
4.1 Μέθοδος προσπέλασης.....	26
4.2 Σύγκριση πρωτοκόλλων προσπέλασης CSMA/CA και CSMA/CD.....	30
4.3 Κρυφοί και εκτεθειμένοι σταθμοί.....	32
4.3.1 Πρόβλημα κρυφού σταθμού	32
4.3.2 Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού.....	33
4.3.3 Αντιμετώπιση κρυφών σταθμών.....	34
5. Περιγραφή προτύπων ασύρματων δικτύων.....	35
5.1 HomeRF	35
5.2 HiperLAN/1.....	36
5.2.1 Τεχνικές προδιαγραφές.....	37
5.2.2 Εφαρμογές και χρήσεις.....	38
5.3 Hiperlan/2	39
5.3.1 Τεχνικές προδιαγραφές.....	40
5.4 IEEE 802.11b.....	41
5.4.1 Επισκόπηση και ανάπτυξη	41
5.4.2 Τεχνικές προδιαγραφές.....	42

5.4.3	Εφαρμογές και χρήσεις.....	43
5.5	IEEE 802.11a	45
5.5.1	Επισκόπηση και ανάπτυξη	45
5.5.2	Τεχνικές προδιαγραφές	45
5.5.3	Εφαρμογές και χρήσεις.....	46
5.6	IEEE 802.11g.....	47
5.6.1	Επισκόπηση και ανάπτυξη.....	47
5.6.2	Τεχνικές προδιαγραφές.....	48
5.6.3	Εφαρμογές και χρήσεις.....	49
5.7	IEEE 802.11n.....	50
5.7.1	Επισκόπηση και ανάπτυξη.....	50
5.7.2	Τεχνικές προδιαγραφές.....	51
5.7.3	Εφαρμογές και χρήσεις.....	52
5.8	IEEE 802.11ac	53
5.8.3	Επισκόπηση και ανάπτυξη.....	53
5.8.2	Τεχνικές Προδιάγραφες	54
6.	Περιγραφή επικοινωνίας στο φυσικό επίπεδο: Ραδιοκύματα και υπέρυθρη μετάδοση.....	55
6.1	Επισκόπηση της επικοινωνίας σε φυσικό επίπεδο	55
6.1.1	Σημασία της κατανόησης των διαφόρων τεχνικών μετάδοσης.....	55
6.2	Μετάδοση ραδιοκυμάτων.....	56
6.2.1	Ζώνες επανάληψης και εφαρμογές.....	56
6.2.2	Καινοτομία προσαρμογής	57
6.2.3	Χαρακτηριστικά διάδοσης.....	58
6.2.4	Κεραίες και εξοπλισμός εκπομπής	59
6.3	Μετάδοση υπέρυθρων.....	60
6.3.1	Βασικές αρχές των υπέρυθρων κυμάτων.....	60
6.3.2	Φάσμα και εφαρμογές υπέρυθρων	60
6.3.3	Τεχνικές διαμόρφωσης.....	61
6.3.4	Χαρακτηριστικά του Engendering	62
6.3.5	Συσκευές υπέρυθρης μετάδοσης.....	62
6.4	Σύγκριση των ραδιοκυμάτων και της υπέρυθρης μετάδοσης.....	64
6.4.1	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	64
6.4.2	Σενάρια περιπτώσεων χρήσης.....	65
6.4.3	Μελλοντικές τάσεις και εξελίξεις.....	66

6.5	Συμπέρασμα.....	67
7.	Τεχνικές μετάδοσης σήματος	69
7.1	Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA)	69
7.2	Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM)	69
7.3	Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA).....	70
7.4	Πολλαπλή πρόσβαση με χωρική διαίρεση (SDMA).....	70
7.5	Διαμόρφωση δέσμης (Beamforming)	71
7.6	Φάσμα διασποράς με μεταπήδηση συχνότητας (FHSS)	71
7.7	Φάσμα διασποράς άμεσης ακολουθίας (DSSS).....	72
7.8	Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου	73
8.	Βιβλιογραφία	74

1. Εισαγωγή και ιστορική αναδρομή ασύρματων τοπικών δικτύων

Η ιστορία της ασύρματης δικτύωσης ξεκινάει αρκετά χρόνια πίσω, όταν ο Γουλιέλμο Μαρκόνι είναι εκείνος που θεωρείται ο “Πατέρας του ασύρματου”, καταφέρνει να εκπέμψει και να λάβει ραδιοκύματα μεταξύ μεγάλων αποστάσεων το 1896. Το 1901 υπερατλαντικά σήματα μεταδοθήκαν και λήφθηκαν και το 1905 έγινε η πρώτη ασύρματη επικοινωνία μέσω του κώδικα Morse. Αυτή η επιτυχία ώθησε πολλούς ερευνητές τα επόμενα χρόνια, να ασχοληθούν και να προσπαθήσουν να ανακαλύψουν αν τα ραδιοκύματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών. Έτσι το 1968, στο πανεπιστήμιο της Χαβάης μια ομάδα φοιτητών η οποία καθοδηγούνταν από τον Νόρμαν Άμπραμσον και τον Δρ. Φράνκλιν Κούο, με στόχο την χρήση ραδιοεξοπλισμού εμπορίου χαμηλού κόστους, ξεκίνησαν ένα έργο το οποίο όταν ολοκληρωνόταν θα συνέδεε χρήστες από το Οάχου και άλλα νησιά της Χαβάης, μεταξύ τους, μέσω ενός κοινού κεντρικού υπολογιστή που βρισκόταν στην πανεπιστημιούπολη του Οάχου. Τον Ιούνιο του 1971, αυτή η ομάδα ανθρώπων που ονομάστηκε ALOHAnet, πέτυχε τον στόχο της και έγινε το πρώτο δίκτυο το οποίο αντάλλαζε πακέτα πληροφοριών, με ασύρματο τρόπο επικοινωνίας. Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης αυτού του έργου, η ALOHAnet δημιούργησε ένα πρωτόκολλο, το ALOHA, το οποίο τους βοήθησε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των συγκρούσεων και των αποτυχημένων μεταδόσεων της πληροφορίας. Αυτό το πρωτόκολλο επέτρεπε στους τερματικούς σταθμούς να στέλνουν δεδομένα οπότε τα είχαν έτοιμα, και να ελέγχουν αυτές τις μεταδόσεις για να γίνει η επιβεβαίωση ότι έγινε λήψη απο τους παραλήπτες. Αν η μετάδοση αποτύχαινε, η πληροφορία θα αποστέλνóταν ξανά μετά από μια τυχαία καθυστέρηση. Ήταν αποτελεσματικό στο θέμα αυτό αλλά είχε πρόβλημα όταν πολλοί χρήστες συνδέονταν στο ίδιο δίκτυο.

Παρά την πρωτοπορία της ALOHAnet πάνω στην ασύρματη τοπική δικτύωση, οι καταστάσεις της εποχής δεν της επέτρεψαν να προχωρήσει παραπάνω, καθώς η χρήση του φάσματος χωρίς την αδειοδότηση δεν ήταν ακόμα διαθέσιμη στο κοινό, και επιπλέον η τεχνολογία που χρησιμοποιούσαν ήταν πειραματική και δεν απευθυνόταν σε εμπορική χρήση. Αυτοί ήταν οι λόγοι που οδήγησαν την ομάδα στην απόσυρση το 1976 έχοντας εμπνεύσει και αυτοί με την σειρά τους, άλλους ερευνητές, όπως τον Ρόμπερτ “Ρομπ” Μέτκαλφ ο οποίος μελέτησε αυτή την τεχνολογία για την διατριβή του διδακτορικού του, να συνεχίσουν το έργο που ξεκίνησαν.

Αυτή η αδειοδότηση για μη εξουσιοδοτημένη χρήση των ραδιοσυχνοτήτων βγήκε στην αγορά από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) το 1985 και ήταν γνωστή ως τα “άχρηστα φάσματα”. Ήταν τρία, το φάσμα των 900MHz, των 2.4GHz και των 5GHz. Αυτά χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα για πολλούς και διάφορους σκοπούς, όπως την χρήση του Wi-Fi για ασύρματη πρόσβαση στο διαδίκτυο, για την επικοινωνία μεταξύ “έξυπνων” συσκευών, το Bluetooth, κάρτες ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων κ.α., αναλόγως τον

τομέα της χρήσης τους. Πολλές εταιρίες εκμεταλλεύτηκαν αυτήν την ενέργεια της FCC και ξεκίνησαν άμεσα να κατασκευάζουν προϊόντα δικά τους, τα οποία θα χρησιμοποιούσαν αυτά τα φάσματα για ασύρματη επικοινωνία. Ωστόσο η κάθε μια από αυτές επειδή δημιουργούσε μια αποκλειστική τεχνολογία επικοινωνίας, πολλές συσκευές από διάφορες εταιρίες δεν ήταν συμβατές μεταξύ τους. Οπότε ο κύριος στόχος εκείνης της εποχής ήταν να εφευρεθεί κάτι το οποίο θα λειτουργούσε όπως η καλωδίωση Ethernet.

Μια από τις πρωτοπόρες εταιρίες της ασύρματης τοπικής δικτύωσης ήταν η NCR Corp. Μια εταιρεία η οποία πωλούσε μηχανήματα αυτόματης ανάληψης, ταμειακές μηχανές, και υπολογιστές. Η θέληση για να συνδέσει τις ταμειακές μηχανές ασύρματα, για να γλιτώσει τα έξοδα της καλωδίωσης για την κάθε μια, ήταν αυτή η οποία την οδήγησε στην επιτυχή δημιουργία μιας αποκλειστικής τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης, το WaveLAN, με επικεφαλής αυτού του έργου τους μηχανικούς, Cees Links και Vic Hayes. Αυτό συνέβη στα τέλη δεκαετίας 1980 και αρχές 1990. Η τεχνολογία του WaveLAN λειτουργούσε μεταξύ των 900MHz ή των 2.4GHz και σε ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας από 1 έως 2 Mbps. Είχε διαμορφωθεί κατάλληλα για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί, επίσης, και ως εναλλακτική λύση της τεχνολογίας του Ethernet ή του Token Ring σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό συνέβη επειδή η ανάπτυξη της τεχνολογίας στις μηχανές είχε φτάσει στο να μετατρέπονται όλο και πιο πολύ σε υπολογιστές. Η NCR έφερε το προϊόν της στην αγορά το 1990, όπου μέχρι τότε τα προϊόντα ασύρματης επικοινωνίας, ήταν δύσκολα στην χρήση και αρκετά ακριβά. Αυτοί οι δυο παράγοντες ήταν που χαρακτήριζαν το WaveLAN ως εξειδικευμένο προϊόν και γι' αυτό το συναντούσε κάποιος κυρίως σε μεγάλες επιχειρήσεις.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εκείνη την περίοδο είχε δημιουργηθεί η ανάγκη για ένα παγκόσμιο «σταθερό» πρωτόκολλο το οποίο θα χρησιμοποιούνταν με τον ίδιο τρόπο από όλους τους κατασκευαστές ασυρμάτων συσκευών. Το πρόβλημα αυτό υπήρχε επειδή πολλοί κατασκευαστές προσπαθούσαν να παρασκευάσουν «εκείνο» το προϊόν το οποίο θα τους απέφερε κέρδη, με αποτέλεσμα να υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ των συσκευών. Έτσι, το 1988 το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), γνωρίζοντας το επίτευγμα του Vic, τον επάνδρωσε στον οργανισμό του και αυτός αργότερα δημιούργησε μια ομάδα η οποία ήταν υπεύθυνη για την δημιουργία και ανάπτυξη του πρότυπου 802.11, ένα πρωτόκολλο το οποίο θα ήταν υπεύθυνο για την επικοινωνία στην ασύρματη τοπική δικτύωση. Εννιά χρόνια μετά την ένταξη του Vic στον οργανισμό, αυτός, η ομάδα του 802.11 και πολλές άλλες εταιρίες οι οποίες προτείνανε διάφορες ιδέες πάνω στην ανάπτυξη του πρωτοκόλλου, κατάφεραν τον σκοπό τους να αναπτύξουν το πρώτο Wi-fi πρότυπο, το 802.11-1997. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιούσε συχνότητα φάσματος 2.4GHz για να μεταδώσει δεδομένα με ταχύτητα μέχρι και 2Mbps. Τα αρχικά μειονεκτήματα όπως η χαμηλή ταχύτητα, τα θέματα ασφαλείας, και το εύρος του σήματος μετάδοσης με τον καιρό βελτιώθηκαν και έτσι πλέον αυτό το είδος τεχνολογίας έχει μπει σε σπίτια, επιχειρήσεις και δημόσιους χώρους.

Η εξέλιξη της ασύρματης τοπικής επικοινωνίας συνεχίζεται το 1999 και αρχές 2000, όταν σιγά σιγά, συσκευές με το πρότυπο 802.11b και ταχύτητες 11Mbit/s μπαίνουν στα ράφια

της αγοράς. Ο συνδυασμός, τιμής - ταχύτητας, για εκείνη την περίοδο, ήταν αυτό που το έκανε ραγδαία αποδεκτό από τους καταναλωτές, ωστόσο τα προβλήματα συνδεσιμότητας δεν σταμάτησαν να υπάρχουν καθώς παρουσιάζονταν παρεμβολές από άλλες συσκευές, όπως φούρνοι μικροκυμάτων, συσκευές Bluetooth, ασύρματα τηλέφωνα κ.α. , οι οποίες λειτουργούσαν και αυτές στο φάσμα των 2.4GHz. Παράλληλα, εκείνη την χρονιά εγκρίθηκε και ένα άλλο πρότυπο, το 802.11a, το οποίο χρησιμοποιούσε το ίδιο πρωτόκολλο με το 802.11b και πολυπλεξία ορθογωνίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) με 52 υποφορείς με μέγιστη ταχύτητα 54Mbit/s. Αυτό λειτουργούσε στην δέσμη των 5GHz, κάτι που ήταν θετικό για το πρόβλημα παρεμβολών που υπήρχε με την δέσμη των 2.4GHz, αλλά το αρνητικό του ήταν ότι δεν είχε καλή διαπερατότητα σε τοίχους ή άλλα συμπαγή αντικείμενα εξαιτίας του μικρότερου μήκους κύματος, κάτι που είχε ως συνέπεια την εξασθένησή του σήματος μετάδοσης.

Η επόμενη εξέλιξη των προτύπων ήταν τον Ιούνιο του 2003 όταν επικυρώθηκε το 802.11g. Αυτό λειτουργούσε στο φάσμα των 2.4GHz, είχε ως μέθοδο διαμόρφωσης σήματος την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και λειτουργούσε με ταχύτητες έως και 54Mbit/s χωρίς τους κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων, με μέσο όρο διαμεταγωγής τα 22Mbit/s. Επιπλέον, το πρότυπο αυτό μπορούσε να είναι συμβατό με συσκευές προηγούμενης γενιάς προτύπων 802.11b, χαρακτηριστικό το οποίο έκρυβε θέματα λειτουργικότητας το οποίο μείωνε περίπου κατά 21% την διαμεταγωγή σε σύγκριση με το 802.11a. Παραδόξως, η ανάγκη για ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες, ώθησε το καταναλωτικό κοινό να υιοθετήσει αυτό το πρότυπο αρκετούς μήνες πριν την επικύρωσή του, δηλαδή αρχές του 2003. Όταν έφτασε το καλοκαίρι αυτής της χρονιάς, τα προϊόντα διπλού φάσματος 802.11a/b μετατράπηκαν σε διπλού φάσματος/τριπλής - λειτουργίας όπου μπορούσαν να υποστηρίξουν το a και b/g πρότυπο σε μια κάρτα προσαρμογέα ή σε ένα σημείο πρόσβασης. Παρόλα αυτά, οι συσκευές b/g ακόμα υπέφεραν από τις παρεμβολές περιβαλλοντικών συχνοτήτων.

Πίσω στο 2003, μια ομάδα με όνομα Tgma εξουσιοδοτήθηκε να κάνει μερικές τροποποιήσεις στο πρότυπο 802.11 της έκδοσης του 1999. Αυτή κατασκεύασε ένα αρχείο το οποίο συγχώνευσε τις τροποποιήσεις από τα πρότυπα 802.11a, b, d, e, g, h, i, j, σε ένα βασικό πρότυπο. Είχε ονομαστεί 802.11REVma, και όταν εγκρίθηκε τον Μάρτιο του 2007, μετονομάστηκε σε IEEE 802.11-2007.

Κεραίες πολλαπλών εισόδων/εξόδων (MIMO) προστέθηκαν στην επόμενη αναβάθμιση του προτύπου 802.11 το 2009. Το εύρος ταχύτητας είχε αυξηθεί, κυμαίνονταν από 54Mbit/s έως 600Mbit/s και μπορούσε και αυτό να υποστηρίξει και τα δυο φάσματα συχνοτήτων λειτουργίας των 2.4GHz και 5GHz. Επίσης, υπήρχε η ελευθερία επιλογής της διαμόρφωσης σήματος που θα χρησιμοποιούσε. Οι επιλογές ήταν τρεις: Διαμόρφωση συμπληρωματικού κώδικα (CCK), Φασματική εξάπλωση άμεσης ακολουθίας (DSSS) ή Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM). Ονομάστηκε 802.11n και εκδόθηκε τον Οκτώβριο του 2009.

Η ιστορία με την αναβάθμιση του προτύπου συνεχίζεται με την νέα έκδοση του, τον Μάρτιο του 2012 εν ονόματι IEEE 802.11-2012, η αλλιώς 802.11mb, όταν η εξουσιοδοτημένη

ομάδα TGmb δημιούργησε ένα αρχείο το οποίο είχε 10 τροποποιήσεις (802.11k, r, y, n, w, p, z, v, u, s) συγχωνευμένες με το πρότυπο της έκδοσης του 2007. Πλέον, το 802.11 έχει αναβαθμιστεί σημαντικά σε πολλούς τομείς σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις του. Έχει βελτιωμένους αλγόριθμους κρυπτογράφησης, ισχυρότερες μεθόδους ταυτοποίησης και προστασία ενάντιας κακόβουλης παρακολούθησης και μπουτιλιάρισματος πληροφορίας. Επίσης, νέοι μηχανισμοί διαχείρισης ενέργειας βοηθούν στην επέκταση της διάρκειας της μπαταρίας που μπορεί να έχει κάποιο μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιεί αυτό το πρότυπο. Στους μηχανισμούς της ποιότητας εξυπηρέτησης του, έχουν προστεθεί καινούργιοι τρόποι διαχείρισης και προτεραιότητας της πληροφορίας για να εξασφαλιστεί το κατάλληλο εύρος ζώνης και η καθυστέρηση σε κρίσιμες εφαρμογές.

Την ίδια χρονιά, αλλά τον Δεκέμβριο του 2012, το Ινστιτούτο Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), δημοσίευσε και το 802.11ad. Το πρότυπο αυτό καθόριζε την WiGig Τεχνολογία, δηλαδή ασύρματη πολλαπλών - γιγαμπιτ τεχνολογία, με σημείο λειτουργίας την δέσμη των 60GHz, σχεδιασμένο να υποστηρίξει σε υψηλές ταχύτητες, βίντεο συνεχούς ροής εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας κ.α. , μέσω της ασύρματης επικοινωνίας, με κορύφωση τα 7Gbit το δευτερόλεπτο αλλά σε περιορισμένη απόσταση. Αργότερα το 2019, αντικαταστάθηκε από το τροποποιημένο πρότυπο 802.11ay, το οποίο πρόσφερε ακόμα μεγαλύτερη ταχύτητα και ακτίνα δράσης.

Την επόμενη έκδοση του προτύπου, την είχε αναλάβει το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) σε συνεργασία με τον μη κερδοσκοπικό οργανισμό «Wi-Fi Alliance», το οποίο ονόμασαν 802.11ac ή Wi-Fi 5. Ήταν μια έκδοση που ήταν βασισμένη σε ένα από τα προηγούμενα πρότυπα, το 802.11n, και την έφεραν στην αγορά σε 2 φάσεις. Η πρώτη φάση περιλάμβανε, τα προϊόντα με ενσωματωμένο αυτό το πρότυπο, το οποίο είχε ευρύτερα και παραπάνω κανάλια εκπομπής και λήψης της πληροφορίας (40 και 80 MHz) σε σχέση με το 802.11n, και λειτουργούσε στην δέσμη των 5GHz με υψηλότερη μορφοποίηση σήματος (πλέον στα 256-QAM). Επιπλέον, ο ρυθμός μετάδοσης βασιζότανε στο πόσες κεραιές χρησιμοποιούσε το σημείο πρόσβασης και ο σταθμός λήψης κυμαίνονταν από τα 200 Mbps μέχρι τα 866 Mbps. Παρακάτω ο πίνακας μας δείχνει αναλυτικότερα τις ταχύτητες αυτές .

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ(Transmit) / ΛΗΨΗΣ(Receive)
1X1 40 MHz	200 Mbps	1Tx – 1Rx
2X2 40 MHz	400 Mbps	2Tx – 2Rx
1X1 80 MHz	433 Mbps	1Tx – 1Rx
2X2 80 MHz	866 Mbps	2Tx – 2Rx

Η έκδοση αυτή βγήκε στην αγορά τον Δεκέμβριο του 2013. Η δεύτερη φάση των προϊόντων ανακοινώθηκε από τους πωλητές ότι θα πραγματοποιηθεί μεταξύ της χρονιάς 2014 και 2015, και πλέον οι συσκευές θα ήταν εξοπλισμένες να υποστηρίζουν εύρος εκπομπής και λήψης για κανάλια των 160 MHz, 1 παραπάνω χωρικό ρεύμα και θα είχαν επίσης, κεραιές πολλαπλής εισόδου/εξόδου του σήματος που θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται παράλληλα από πολλαπλούς χρήστες (MU-MIMO). Η ταχύτητα του ρυθμού μετάδοσης αυξήθηκε ακόμη περισσότερο φτιάνοντας τα 1.73 Gbps. Αυτό μπορούμε να το δούμε και στον πίνακα που ακολουθεί :

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ(Transmit) / ΛΗΨΗΣ(Receive)
1X1 40 MHz	200 Mbps	1Tx – 1Rx
2X2 40 MHz	400 Mbps	2Tx – 2Rx
1X1 80 MHz	433 Mbps	1Tx – 1Rx
2X2 80 MHz	866 Mbps	2Tx – 2Rx
1X1 160MHz	866 Mbps	1Tx – 1Rx
2X2 160MHz	1.73 Gbps	2Tx – 2Rx

Αυτή η ανάπτυξη του προτύπου, βελτίωσε σημαντικά την ταχύτητα επικοινωνίας στα ασύρματα τοπικά δίκτυα, στην σύνδεση μεταξύ έξυπνων κινητών και τηλεοράσεων, κονσόλες παιχνιδιών και του σημείου πρόσβασης.

Τελευταία γενιά προτύπων , είναι το IEEE 802.11ax η αλλιώς Wi-Fi 6, και κοινοποιήθηκε και αυτό από το Ινστιτούτο Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE), τον Σεπτέμβρη του 2019. Ονομαζόντουσαν έτσι για να γίνουν πιο φιλικά προς τους χρήστες και το εμπόριο, για παράδειγμα πολλοί άνθρωποι είναι εξοικειωμένοι με την έννοια των γενιών 2G, 3G, 4G κλπ., έτσι και η Wi-Fi Alliance προσπάθησε να υιοθετήσει μια παρόμοια ιδέα . Τα επίπεδα ταχύτητας του δεν αλλάζανε κατά πολύ, καθώς η κορύφωση είναι τα 10Gbps, την ώρα που το 802.11ac είχε τα 7Gbps. Ωστόσο, ήταν σχεδιασμένο να υποστηρίζει την κάλυψη μεγάλων περιοχών οι οποίες ήταν παράλληλα συνωστισμένες με πολύ κόσμο, όπως εκδηλώσεις, αεροδρόμια, πολλά γραφεία σε μεγάλους οργανισμούς ή εταιρίες, χωρίς ο χρήστης να βιώνει την απώλεια της σύνδεσης ή τις χαμηλές ταχύτητες εξαιτίας του φόρτου που θα υπήρχε. Ένα από τα κλειδιά της επιτυχίας αυτής,

ήταν η χρήση της τεχνολογίας πολλαπλής πρόσβασης σε ορθογώνια διαίρεση συχνότητας (OFDMA) το οποίο χρησιμοποιούνταν και στα 4G, 5G τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Αυτή η τεχνολογία πρόσφερε χωρητικότητα, ταχύτητα και αποδοτικότητα στα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας. Επιπροσθέτως, εκτός τις δέσμες των 2.4GHz και 5GHz, χρησιμοποιήθηκε και η δέσμη των 6GHz στην προχωρημένη έκδοση του 802.11ax την οποία ονόμασαν Wi-Fi 6E. Η ταχύτητα μορφοποίησης σήματος είχε φτάσει τα 1024-QAM, και είχε προστεθεί και η τεχνολογία των κεραιών πολλαπλής εισόδου/εξόδου του σήματος (MU-MIMO).

2. Σύγκριση ασυρμάτων και ενσύρματων τοπικών δικτύων

Η ανάγκη του ανθρώπου προς τις ωφέλειες του διαδικτύου έχει αυξηθεί σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Πλέον χρησιμοποιούμε το διαδίκτυο πολύ πιο συχνά στην καθημερινή μας ζωή, π.χ. για απλές οικιακές ασύρματες smart Home λειτουργίες, επικοινωνία με άλλους ανθρώπους, απομακρυσμένη εργασία είτε εργασία στον χώρο της εταιρείας/επιχείρησης, για κοινή χρήση αρχείων ή ενέργειες οι οποίες απαιτούν γενικώς κάποια διασύνδεση με εταιρείες που βρίσκονται είτε σε μάκρυνες αποστάσεις μεταξύ τους, είτε σε άλλες πόλεις ή χώρες. Αυτά ήταν μερικά τυχαία παραδείγματα χρήσης του διαδικτύου οι οποίες γίνονται ενσύρματα η ασύρματα. Παρακάτω συγκρίνουμε και θα αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε περίπτωσης.

2.1 Ενσύρματα τοπικά δίκτυα

Για να φτάσουμε στην σύγκριση θα πρέπει να γνωρίζουμε τι είναι και από τι αποτελούνται αυτά τα δίκτυα. Τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, είναι ένα πλήθος τερματικών σταθμών (π.χ. ηλεκτρονικοί υπολογιστές, IP τηλέφωνα, εκτυπωτές), που συνδέονται μεταξύ τους μέσω καλωδίων, επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων και τη συνεργασία. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για αυτές τις συνδέσεις περιλαμβάνουν συνήθως το Ethernet, ενώ ενδέχεται να υιοθετούνται και άλλες τεχνολογίες, ανάλογα με τις ανάγκες και τις τεχνολογικές εξελίξεις. Οι πιο γνωστοί τύποι καλωδίων είναι δυο. Ένας, είναι το αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους (UTP) και ο δεύτερος είναι το θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους (STP). Όσοι σταθμοί χρησιμοποιούν τον ενσύρματο τρόπο διασύνδεσης, μπορεί να έχουν μεταξύ τους και συσκευές όπως μεταγωγείς (switches), ή δρομολογητές (routers) οι οποίες βοηθούν στην επέκταση του δικτύου ή στην καλύτερη δρομολόγηση της πληροφορίας μέσα σε αυτό είτε έξω από αυτό. Όλες οι συσκευές αυτές είναι εξοπλισμένες με έναν ή πολλαπλούς προσαρμογείς δικτύου (Network Adapters) . Αυτοί είναι υπεύθυνοι για την αλληλοσύνδεση των συσκευών μέσω των συνδέσμων και θυρών τύπου RJ-45. Τέλος, η πληροφορία που μεταδίδεται μέσω των καλωδίων είναι σε μορφή ηλεκτρικών παλμών και διερμηνεύεται με την βοήθεια λογισμικού, το οποίο αποτελείται από διάφορα στρώματα άλλων λογισμικών όπου στο καθένα από αυτά εκτελείτε μια ξεχωριστή διεργασία. Αυτό το λογισμικό που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η σουίτα πρωτοκόλλων διαδικτύου TCP/IP.

Τώρα που έχουμε μια ιδέα στο πως λειτουργεί ένα ενσύρματο δίκτυο περίπου, μπορούμε να δούμε τις διαφορές που έχουν σε σχέση με τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Παρακάτω θα διατυπωθούν μερικοί πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κυρίων παραγόντων των διάφορων αυτών.

i. Ταχύτητα

Τα ενσύρματα δίκτυα είναι πιο γρήγορα από τα ασύρματα επειδή η πληροφορία μεταδίδεται μέσω καλωδίου και έτσι αποφεύγει εμπόδια όπως τοίχοι, παρεμβολές άλλων περιβαλλοντικών σημάτων. Επίσης ο χρόνος απόκρισης είναι μικρότερος και έτσι η καθυστέρηση στην μετάδοση και λήψη των δεδομένων είναι σχεδόν μηδενική.

Ωστόσο, εξαιτίας της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας, οι ταχύτητες στα ασύρματα δίκτυα να είναι πλέον συγκρίσιμες. Αυτό σημαίνει ότι ίσως σε μερικά χρόνια, το χαρακτηριστικό της ταχύτητας να μην αποτελεί μέτρο σύγκρισης.

ii. Αξιοπιστία και Σταθερότητα

Εφόσον τα τοπικά δίκτυα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με φυσικό τρόπο, αυτό τα κάνει να είναι πιο αξιόπιστα στην μετάδοση και λήψη της πληροφορίας αφού η πιθανότητα στο να χαθεί η σύνδεση ή να υπάρξει καθυστέρηση είναι πολύ μικρότερη.

Μια ασύρματη σύνδεση είναι πιο επιρρεπής στο να χάνει την συνδεσιμότητα της απ' ότι μια ενσύρματη σύνδεση, είτε αυτό γίνεται εξαιτίας κάποιου φυσικού εμποδίου μεταξύ σημείου πρόσβασης και συσκευής, είτε εξαιτίας κάποιας προσπάθειας εισχώρησης στο δίκτυο από έναν κακόβουλο χρήστη.

iii. Ασφάλεια

Δεν μπορούμε να αρνηθούμε το ότι τα ενσύρματα δίκτυα, είναι ασφαλέστερα από τα ασύρματα δίκτυα, καθώς η πληροφορία μεταδίδεται μέσω καλωδίων. Αυτό σημαίνει ότι, αν ένας κακόβουλος χρήστης θέλει να αποκτήσει πρόσβαση στο δίκτυο, θα πρέπει να είναι συνδεδεμένος με καλώδιο σε αυτό.

Αντιθέτως, στα ασύρματα δίκτυα, ένας που θέλει να εισβάλει στο δίκτυο, μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορες μεθόδους και τεχνικές για να το καταφέρει. Τα δεδομένα που μεταδίδονται και οι κωδικοί πρόσβασης του δικτύου μπορούν να παραβιαστούν από τρίτους ή να υποκλαπούν. Οι πιο γνωστές από αυτές είναι η τροποποίηση δεδομένων διεύθυνσης προορισμού (Man-In-The-Middle Attack), η επίθεση πλαστογράφησης (spoofing) και η επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial-Of-Service Attack).

iv. Κινητικότητα

Στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα υπάρχει έλλειψη κινητικότητας εξαιτίας της φυσικής σύνδεσης του εξοπλισμού μέσω καλωδίων και της εγκατάστασης τους σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Όσοι θέλουν να είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο θα πρέπει να βρίσκονται σε μέρος όπου θα υπάρχει εγκαταστημένη μια θύρα Ethernet. Αυτό δημιουργεί επιπλέον και το πρόβλημα της συνεργασίας μεταξύ των υπαλλήλων μιας εταιρείας.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της ασύρματης τεχνολογίας, είναι ότι υπάρχει μεγάλη ευελιξία κίνησης και πρόσβασης. Εργαζόμενοι ή πελάτες μιας επιχείρησης, επισκέπτες ενός χώρου, μπορούν να συνδέονται ευκολότερα και κινούνται ελεύθερα στο υπάρχον δίκτυο. Αυτό προσδίδει και ευκολότερη κοινή χρήση αρχείων.

v. Εγκατάσταση και επεκτασιμότητα

Στα ενσύρματα δίκτυα όπως αναφέραμε προηγούμενος, υπάρχει ένα πρόβλημα ως προς την επεκτασιμότητα. Αυτό το πρόβλημα σταματάει να υπάρχει στα ασύρματα δίκτυα διότι χρήστες και συσκευές μπορούν να συνδεθούν ευκολότερα στο δίκτυο, ανάλογως πάλι τον αριθμό τους. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις όπου υπάρχει πολύ μεγάλος και ανοιχτός χώρος σε κτίρια όπως εργοστάσια και αποθήκες ή σε ιστορικά κτίρια όπου απαγορεύεται να τρυπήσεις τοίχους και να περάσεις κανάλια καλωδίων η ασύρματη δικτύωση λύνει πολλά προβλήματα τα οποία θα είχε μια ενσύρματη εγκατάσταση.

Επιπλέον, οι εργασίες εγκατάστασης ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία ενός κτιρίου ή γραφείου, καθώς και να διαταράζουν την ηρεμία ενός οικισμού. Τέλος, τα ενσύρματα δίκτυα είναι πιο περιορισμένα στο να προστεθούν νέες συσκευές ή να γίνει επέκταση του δικτύου σε επιπλέον χώρους επειδή αυτό απαιτεί νέα τοποθέτηση καλωδίων ή και νέα αναδιαμόρφωση του δικτύου.

vi. Κόστος

Πέρα από το κόστος της συντήρησης τους, το κόστος δημιουργίας τους, είναι ακριβότερο σε σχέση με τα ασύρματα δίκτυα. Συσκευές όπως μεταγωγείς, δρομολογητές, τοίχοι προστασίας, διακομιστές, πολλά μέτρα καλωδίων, κοστίζουν, και η εγκατάσταση τους, είναι πιο δαπανηρή και χρειάζεται παραπάνω χρόνος για την ολοκλήρωση της τοποθέτησής τους.

Το κόστος για την δημιουργία ενός ασύρματου τοπικού δικτύου βασίζεται στην ερώτηση “ποσό μεγάλη εμβέλεια θέλω να έχει το δίκτυο μου”. Ανάλογα με το εμβαδό της συνδεσιμότητας που χρειάζεται, θα χρησιμοποιηθεί και ο ανάλογος εξοπλισμός. Με αυτόν τον τρόπο γλιτώνονται έξοδα εγκατάστασης πολλών μέτρων καλωδίου και άλλου εξοπλισμού.

Συνοψίζοντας τη σύγκριση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων ασύρματων και ενσύρματων τοπικών δικτύων, καθίσταται σαφές ότι κάθε τύπος δικτύου έχει τις δικές του προτεραιότητες και περιορισμούς.

Από την μια πλευρά, τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν συνήθως μεγαλύτερη ταχύτητα και αξιοπιστία σε σύγκριση με τα ασύρματα δίκτυα. Η ενσύρματη σύνδεση με χρήση καλωδίων Ethernet εξασφαλίζει σταθερή και γρήγορη μεταφορά δεδομένων, ιδίως σε επαγγελματικό περιβάλλον. Ωστόσο, η εγκατάσταση και η συντήρηση των καλωδίων μπορεί να είναι περίπλοκη και χρονοβόρα, ενώ οι χρήστες είναι περιορισμένοι στον τοποθετημένο σημείο σύνδεσης.

Από την άλλη, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wi-Fi) προσφέρουν ευελιξία και ευκολία στην εγκατάσταση και την κίνηση των συσκευών. Επιτρέπουν ασύρματη συνδεσιμότητα και επικοινωνία μέσω ασύρματων σημείων πρόσβασης (access points), επιτρέποντας στους χρήστες να συνδέονται από οποιοδήποτε σημείο του χώρου και να κινούνται ελεύθερα. Ωστόσο, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ταχύτητας και της αξιοπιστίας της σύνδεσης, ειδικά όταν υπάρχουν πολλές συσκευές στο ίδιο δίκτυο.

Συνολικά, η επιλογή μεταξύ ασύρματων και ενσύρματων τοπικών δικτύων εξαρτάται από τις ανάγκες και τις προτιμήσεις του χρήστη. Εάν η κινητικότητα και η ευελιξία είναι σημαντικές, τότε τα ασύρματα δίκτυα είναι προτιμητέα. Αντίθετα, εάν η ταχύτητα και η αξιοπιστία είναι προτεραιότητες, τα ενσύρματα δίκτυα μπορούν να είναι η καλύτερη επιλογή. Συχνά, οι χρήστες επιλέγουν να συνδυάσουν και τους δύο τύπους δικτύων για να αξιοποιήσουν τα πλεονεκτήματα του καθενός, δημιουργώντας ένα υβριδικό περιβάλλον δικτύου.

3. Ανάλυση ασυρμάτων τοπικών δικτύων

3.1 Εισαγωγή

Αφού, είδαμε για την ιστορία των ασύρματων τοπικών δικτύων και τις διαφορές τους με τα ενσύρματα τοπικά δίκτυα, πλέον είναι η στιγμή να δούμε λίγο αναλυτικότερα τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά λοιπόν, χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας για να δημιουργήσουν μια σύνδεση μεταξύ χρηστών ενός δικτύου, και τις συναντάμε στα δυο πρώτα(από τα επτά) επίπεδα του μοντέλου OSI, το φυσικό επίπεδο (Physical layer) και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (Data-Link Layer).

Οι τεχνολογίες φυσικού επιπέδου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με ένα από τα ακόλουθα κριτήρια:

1. Αρχιτεκτονική δικτύου.
2. Τοπολογία δικτύου.
3. Τύπος ασύρματου μέσου (ηλεκτρομαγνητικού κύματος).

Ενώ, οι τεχνολογίες του επιπέδου ζεύξης δεδομένων κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με ένα μόνο κριτήριο, δηλαδή την τεχνική ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) που χρησιμοποιείται στο δίκτυο.

Παρακάτω, θα δούμε τι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται και στα δύο στρώματα, ξεκινώντας με το φυσικό στρώμα, το οποίο επικεντρώνεται στην αρχιτεκτονική του δικτύου, την τοπολογία υλοποίησης και το ηλεκτρομαγνητικό κύμα (μέσο μετάδοσης) που χρησιμοποιείται.

Κατά την περιγραφή της αρχιτεκτονικής του δικτύου, εξετάζονται τόσο οι αρχιτεκτονικές υποδομής (infrastructure) όσο και οι αρχιτεκτονικές ad-hoc. Επιπροσθέτως, περιγράφονται οι μεταδόσεις σήματος εκπομπής από σημείο σε σημείο (peer-to-peer), οι μεταδόσεις σήματος διάχυτης εκπομπής και το σύστημα ασύρματης διανομής.

3.2 Φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο ή επίπεδο 1 είναι το πρώτο (χαμηλότερο) επίπεδο του επταεπίεδου μοντέλου OSI των δικτύων υπολογιστών. Το φυσικό επίπεδο ορίζει τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ακατέργαστων πληροφοριών bit αντί για λογικά πακέτα μέσω του φυσικού μέσου που συνδέει τους κόμβους του δικτύου. Το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται είναι το χάλκινο καλώδιο (ομοαξονικό ή συνεστραμμένο ζεύγος) ή ο αέρας. Η ακολουθία bit ομαδοποιείται σε κωδικές λέξεις ή σύμβολα, μετατρέπεται σε φυσικά σήματα (ηλεκτρικά, οπτικά ή ραδιοκύματα) και διαδίδεται πάνω στο φυσικό μέσο μετάδοσης.

Data Format	Layer	Function
Data	Application Layer	Applications access network services
Data	Presentation Layer	Encryption and Compression of data
Data	Session Layer	Connection management b/w nodes
Segment	Transport Layer	Maintains data flow during transmission
Packet	Network Layer	Determine the path for data transfer
Frame	Data Link Layer	Connect physical nodes for transfer
Bit	Physical Layer	Transfer raw bits using physical mode

Επίσης, καθορίζει τα ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά μιας συσκευής, τη σχέση μεταξύ της συσκευής και του μέσου μετάδοσης, όπως το χάλκινο ή το οπτικό καλώδιο. Αυτό περιλαμβάνει τη διάταξη των ακροδεκτών, τις τάσεις, τα χαρακτηριστικά των καλωδίων, τους κόμβους (hubs), τους επαναλήπτες (repeaters), τους προσαρμογείς δικτύου και τους προσαρμογείς κεντρικού διαύλου (HBAs που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα αποθήκευσης). Οι κύριες λειτουργίες και υπηρεσίες που εκτελούνται από το φυσικό επίπεδο είναι οι εξής:

- Η εγκαθίδρυση και ο τερματισμός της σύνδεσης με το μέσο επικοινωνίας. Αυτό περιλαμβάνει τα ακόλουθα:
 - Συμμετοχή σε διαδικασίες πολυπλεξίας (multiplexing), δηλαδή πολλοί χρήστες εξυπηρετούνται από επικοινωνιακές συσκευές.
 - Συγχρονισμός των bit σε σύγχρονες σειριακές επικοινωνίες.
 - Ανίχνευση φορέα και εντοπισμός συγκρούσεων.
 - Αντιστάθμιση του σήματος, έτσι ώστε να εξασφαλιστούν αξιόπιστες συνδέσεις και να διευκολυνθεί η πολυπλεξία
- Η συμμετοχή στη διαδικασία κατά τη διαμόρφωση. Δηλαδή:
 - Κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση δεδομένων κατά την μετάδοση από συσκευή σε συσκευή. Η μετατροπή μεταξύ της αναπαράστασης των ψηφιακών δεδομένων στον εξοπλισμό του χρήστη και των αντίστοιχων σημάτων που μεταδίδονται μέσω του καναλιού επικοινωνίας. Αυτά μπορεί να είναι σήματα που λειτουργούν μέσω φυσικών καλωδίων (π.χ. χαλκού ή οπτικών ινών) ή ραδιοζεύξεων.
- Τοπολογία και φυσικός σχεδιασμός του δικτύου

3.3 Αρχιτεκτονική δικτύου

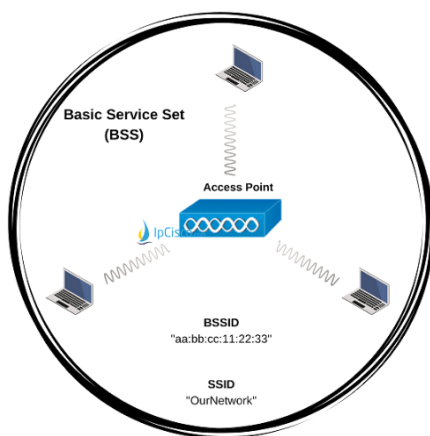
Ας ξεκινήσουμε την περιγραφή της αρχιτεκτονικής ενός δικτύου εξηγώντας τους σταθμούς (stations). Σταθμός ονομάζεται οποιαδήποτε συσκευή που μπορεί να συνδεθεί σε ένα

ασύρματο περιβάλλον ενός δικτύου. Με άλλα λόγια, όποια συσκευή είναι συμβατή με το πρωτόκολλο 802.11 στο MAC και το φυσικό επίπεδο. Όλοι οι σταθμοί διαθέτουν έναν ελεγκτή(controller) διασύνδεσης ασύρματου δικτύου. Οι ασύρματοι σταθμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

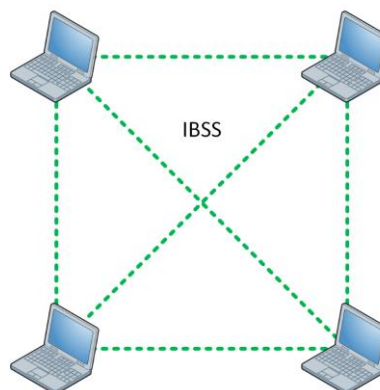
- Τα WAPs (Wireless Access Points), είναι οι σταθμοί βάσης ενός ασυρμάτου δικτύου. Αυτά εκπέμπουν και λαμβάνουν ραδιοσυχνότητες με τις οποίες επικοινωνούν συσκευές που έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν ασύρματα σε αυτά.
- Οι χρήστες (clients), οι οποίοι μπορεί να είναι συσκευές smartphone, φορητοί υπολογιστές, τηλέφωνα VoIP η και μη φορητές συσκευές, όπως προσωπικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, εκτυπωτές ή σταθμοί εργασίας που είναι εξοπλισμένοι με ασύρματες διεπαφές.

Ένα απλό WLAN 802.11 αποτελείται από έναν αριθμό σταθμών που μπορεί να λειτουργούν σε ένα από τα δυο είδη διαμορφώσεων:

- Το Βασικό Σύνολο Εξυπηρέτησης (Basic Service Set), το οποίο αποτελείται από μερικούς σταθμούς οι οποίοι εκτελούν ίδιο πρωτόκολλο MAC και συναγωνίζονται την πρόσβαση στο ίδιο κοινό ασύρματο μέσο. Ένα BSS μπορεί να είναι απομονωμένο ή να συνδέεται με ένα σύστημα διανομής κορμού (backbone Distribution System) μέσω ενός σημείου πρόσβασης (Access Point).
- Όταν όλοι οι σταθμοί στη διαμόρφωση BSS είναι κινητοί σταθμοί χωρίς να είναι συνδεδεμένοι σε άλλες BSS διαμορφώσεις, η διαμόρφωση μετονομάζεται σε IBSS (Independent Basic Service Set) ,που σημαίνει Ανεξάρτητο Βασικό Σύνολο Εξυπηρέτησης. Σε ένα IBSS όλοι οι σταθμοί επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς την βοήθεια κάποιου σημείου πρόσβασης.

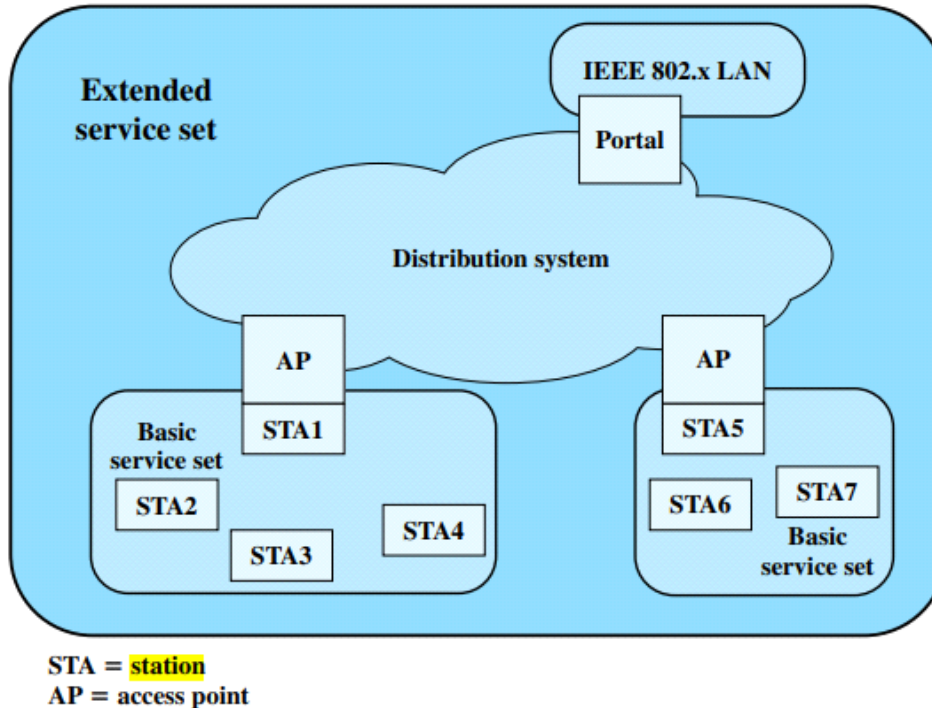


Εικόνα 1: Διαμόρφωση BSS



Εικόνα 2: Διαμόρφωση IBSS

- Το Εκτεταμένο Σύνολο Εξυπηρέτησης (Extended Service Set), το οποίο είναι το σύνολο των BSS συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου κορμού (DS) (Stallings, 2007, Κεφάλαιο 17)



Εικόνα 3: Διαμόρφωση ESS

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, είναι ότι κάθε BSS διαμόρφωση έχει μια ταυτότητα (ID) η οποία ονομάζεται BSSID, και είναι η διεύθυνση MAC του σημείου πρόσβασης το οποίο εξυπηρετεί την διαμόρφωση αυτή.

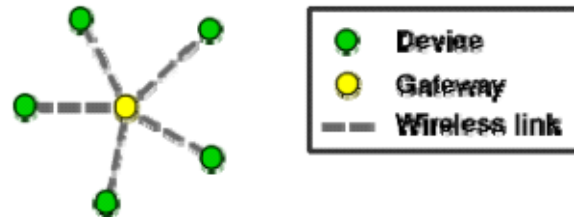
3.4 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων

Όταν μιλάμε για την τοπολογία ενός ασύρματου τοπικού δικτύου, αναφερόμαστε στον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές του, είναι κατανεμημένες σε αυτό. Δηλαδή, πως δρομολογητές, σταθμοί και μεταγωγής είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους, και ποια “διαδρομή” ακολουθούν τα δεδομένα για να βγούνε στο διαδίκτυο. Παρακάτω θα μιλήσουμε για τις τρεις πιο συνήθεις τοπολογίες που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα:

- την τοπολογία αστέρα (star topology)
- την τοπολογία πλέγματος (mesh topology)
- και την τοπολογία συμπλέγματος-δέντρου (cluster-tree topology).

3.4.1 Τοπολογία αστέρα

Η τοπολογία αυτή, είναι μια από τις πιο κοινές τοπολογίες στα ασύρματα δίκτυα. Στην απλούστερη μορφή της, αποτελείται από συσκευές όπως μεταγωγής και ασυρμάτους σταθμούς, οι οποίες είναι συνδεδεμένες κάθε μια ξεχωριστά, σημείο-προς-σημείο (point-to-point), σε έναν κεντρικό κόμβο όπου γίνεται η αναμετάδοση της πληροφορίας προς τις άλλες συσκευές.



Εικόνα 4: Τοπολογία αστέρα

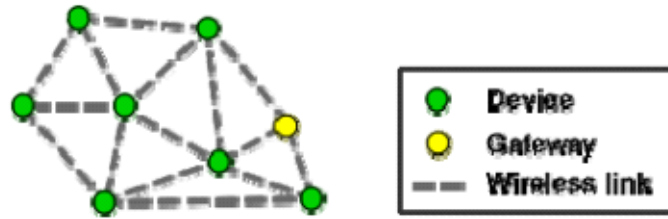
Το πρόβλημα που υπάρχει σε αυτήν την τοπολογία είναι ότι άμα κάτι παραβρεθεί ως εμπόδιο μεταξύ της συσκευής και του κεντρικού κόμβου, θα υπάρξουν είτε αργές ταχύτητες στην σύνδεση, είτε διακοπή της επικοινωνίας. Επίσης, η δυσλειτουργία του κεντρικού κόμβου μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση του συστήματος.



Εικόνα 5: Τοπολογία αστέρα με εμπόδιο

3.4.2 Τοπολογία πλέγματος

Στην τοπολογία πλέγματος, το προηγούμενο πρόβλημα παύει να υπάρχει, καθώς οι συσκευές του δικτύου δεν μιλάνε μόνο με έναν κεντρικό κόμβο, αλλά μιλάνε και μεταξύ τους. Μια πληροφορία μπορεί να μεταπηδήσει από συσκευή σε συσκευή μέχρι να φτάσει στον κεντρικό κόμβο, έτσι σε περίπτωση που βρεθεί κάποιο εμπόδιο ενδιάμεσα αυτής της διαδρομής, τα δεδομένα έχουν πάντοτε μια εναλλακτική διαδρομή για να φτάσουν τον προορισμό τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ένα απαιτητικό ασύρματο τοπικό δίκτυο να γίνεται αξιόπιστο και να λειτουργεί σε υψηλή απόδοση.



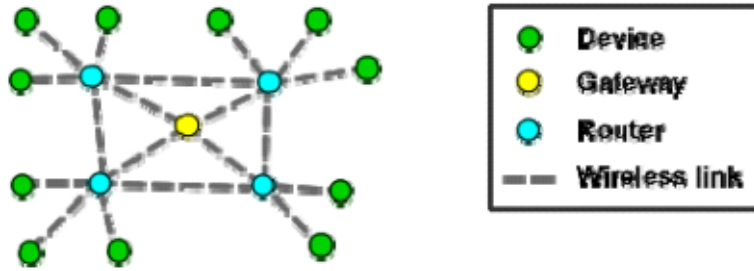
Εικόνα 6: Τοπολογία πλέγματος

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της είναι τα εξής:

- Ο φόρτος δεδομένων ενός δικτύου μπορεί να διαμοιραστεί, καθώς όλες οι συσκευές είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους, επιλύοντας έτσι, κυκλοφοριακά θέματα.
- Αν μια διαδρομή είναι παρεμποδίζεται, άλλες διαδρομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία των συσκευών.
- Μια κλασική τοπολογία πλέγματος, απαιτεί τις αισθητήριες συσκευές να είναι συνέχεια σε επαγρύπνηση και να “ακούνε” μηνύματα άλλων συσκευών, για τυχόν αλλαγές στο δίκτυο, ή για τυχόν σφάλματα. Αυτό δημιουργεί πιθανώς μια αυξημένη κατανάλωση ρεύματος.
- Κάθε μεταπήδηση συσκευής για την αποστολή δεδομένων προς την πύλη εξόδου (gateway) αυξάνει και τον χρόνο αποστολής τους.

3.4.3 Τοπολογία συστάδας δέντρου

Για να επιλύσουμε τα θέματα της κάθε μιας τοπολογίας, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τις δυο παραπάνω τεχνικές δικτύωσης ταυτόχρονα. Η υβριδική έκδοση των παραπάνω επιλογών, είναι η συστάδα δέντρου. Αυτή αποτελείται από έναν συνδυασμό της τοπολογίας αστέρα με την τοπολογία πλέγματος. Σε αυτό το σενάριο τοπικής δικτύωσης, οι συσκευές οι οποίες ανήκουν στην τοπολογία αστέρα, είναι συνδεδεμένες σε δρομολογητές και αναμεταδότες και αυτές καταλήγουν σε μια πύλη εξόδου. Μέσω αυτής της ανάμειξης των τρόπων διασύνδεσης, περνούμε ως αποτέλεσμα την χαμηλή κατανάλωση ισχύος από την τοπολογία αστέρα, την ανοχή σε εμπόδια μεταξύ των συσκευών και το εκτεταμένο εύρος του δικτύου από την τοπολογία πλέγματος.



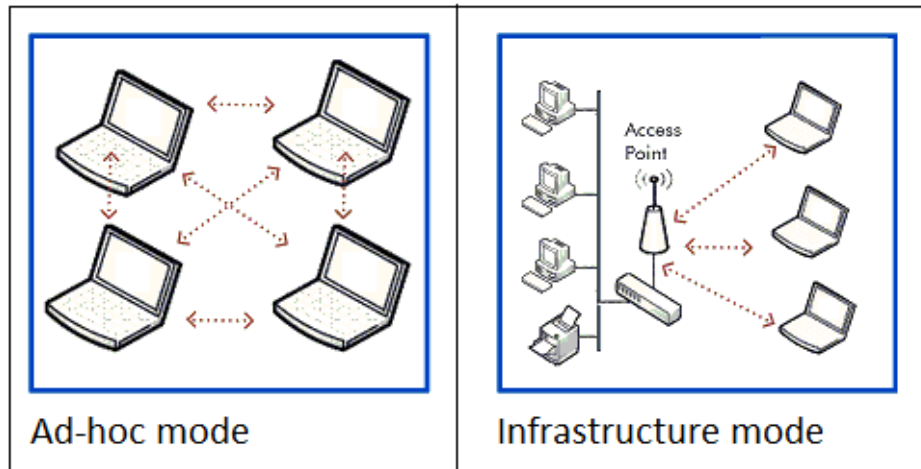
Εικόνα 7: Τοπολογία συστάδας δέντρου

3.4.4 Τρόποι σύνδεσης ασύρματων σταθμών

Παρατηρούμε δυο τρόπους σύνδεσης των ασύρματων σταθμών στις παραπάνω τοπολογίες. Την σύνδεση υποδομής (Infrastructure Mode) και την αυτοοργανωμένη η κατ' απαίτηση σύνδεση (ad-hoc).

Η **σύνδεση υποδομής (Infrastructure Mode)** χρησιμοποιεί έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης για να συνδέσει τους ασύρματους σταθμούς. Οι σταθμοί βάσης συνήθως συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενσύρματου δικτύου. Κάθε σταθμός βάσης καλύπτει μια περιοχή, γνωστή ως κυψέλη, που αποτελεί την εμβέλειά του. Οι ασύρματοι σταθμοί που βρίσκονται εντός μιας κυψέλης εξυπηρετούνται από τον αντίστοιχο σταθμό βάσης και ονομάζονται πελάτες. Οι κυψέλες των διάφορων σταθμών βάσης επικαλύπτονται ώστε ένας ασύρματος σταθμός να μπορεί να μετακινείται από μια κυψέλη σε μια άλλη χωρίς απώλεια επικοινωνίας με το δίκτυο. Υπάρχουν διάφορες τοπολογίες σύνδεσης υποδομής. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ένας σταθμός βάσης σε ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, όλοι οι ασύρματοι σταθμοί συνδέονται με αυτόν, σχηματίζοντας μια τοπολογία αστέρα. Αυτή είναι η κατάσταση που συναντάμε συνήθως σε σπίτια και μικρές επιχειρήσεις. Σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας σταθμοί βάσης, σχηματίζεται μια τοπολογία πλέγματος.

Στη δεύτερη μέθοδο σύνδεσης, δηλαδή την **αυτοοργανωμένη η κατ' απαίτηση σύνδεση (ad-hoc)**, δεν χρησιμοποιείται κανένας σταθμός βάσης, αλλά οι ασύρματοι σταθμοί συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, σχηματίζοντας peer-to-peer συνδέσεις από σημείο προς σημείο. Συνήθως, αυτή η μέθοδος σύνδεσης χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ δύο ασύρματων σταθμών χωρίς τη χρήση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης. Ωστόσο, γενικά είναι δυνατό να συνδεθούν πολλοί ασύρματοι σταθμοί, δημιουργώντας έτσι μια τοπολογία πλέγματος.



4. Επίπεδο ζεύξης

Το επίπεδο ζεύξης (data-link layer) βρίσκεται στο δεύτερο επίπεδο του OSI (Open Systems Interconnection) μοντέλου και αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο στον κόσμο των ασύρματων τοπικών δικτύων. Αναφέρεται στην διεπαφή μεταξύ του φυσικού μέσου, όπως ο αέρας, και των πρωτοκόλλων ανωτέρων επιπέδων που επιτρέπουν την μετάδοση δεδομένων μέσω ασύρματης τεχνολογίας. Στόχος του επιπέδου ζεύξης είναι να διασφαλίσει την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα της ασύρματης μετάδοσης δεδομένων, καθώς και να χειρίζεται θέματα όπως ο έλεγχος σφαλμάτων, η διαχείριση της πρόσβασης στο μέσο, και η ασφάλεια των δεδομένων.

Το επίπεδο ζεύξης ασχολείται με την τοπική ανταλλαγή πλαισίων δεδομένων (data frames) μεταξύ συσκευών, που βρίσκονται στο ίδιο τοπικό δίκτυο και παραμένουν περιορισμένα στα όρια του. Η δρομολόγηση της πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών δικτύων και σε παγκόσμιο επίπεδο εμπίπτει στην αρμοδιότητα υψηλότερων επιπέδων του OSI μοντέλου. Διευθύνσεις υλικού χρησιμοποιούνται για την παράδοση των πλαισίων, όπου κάθε πλαίσιο περιλαμβάνει μια επικεφαλίδα που περιέχει τις διευθύνσεις πηγής και προορισμού. Αντίστοιχα αυτές, υποδεικνύουν την προέλευση και τον προορισμό του πλαισίου.

Η τεχνολογία του επιπέδου ζεύξης εξελίσσεται συνεχώς για να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες απαιτήσεις των ασύρματων δικτύων, όπως υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και μεγαλύτερη ευαισθησία σήματος. Μερικές από τις σημαντικές τεχνολογικές προόδους περιλαμβάνουν τη χρήση πολλαπλών κεραιών (MIMO – Multiple – Input – Multiple – Output), τον εξοπλισμό με πολλαπλές συχνότητες και την υιοθέτηση νέων πρωτοκόλλων.

Επιπλέον, η αποτελεσματική λειτουργία του επιπέδου ζεύξης συμβάλει στην αποφυγή των παρεμβολών, τη μείωση της καθυστέρησης, και τη βελτίωση της εμβέλειας του σήματος. Με την ευρεία χρήση ασύρματων συνδέσεων σε καθημερινές δραστηριότητες, από το σπίτι και το γραφείο έως τα δημόσια μέσα μεταφοράς, ο ρόλος του επιπέδου ζεύξης είναι ουσιώδης για την απρόσκοπτη και την αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ συσκευών και δικτύων.

4.1 Μέθοδος προσπέλασης

Τα ασύρματα συστήματα WiFi χρησιμοποιούν διαμορφώσεις κοινόχρηστου μέσου half duplex, όπου όλοι οι σταθμοί εκπέμπουν και λαμβάνουν στο ίδιο ραδιοκανάλι. Ωστόσο, το θεμελιώδες πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα ραδιοσυστήματα είναι ότι ένας σταθμός δεν μπορεί να ακούσει ενώ στέλνει, και ως εκ τούτου είναι αδύνατο να ανιχνεύσει μια σύγκρουση. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, οι δημιουργοί του πρότυπου 802.11 επινόησαν μια λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού που ονομάζεται Distributed Coordination Function (DCF).

Σύμφωνα με το DCF, ένας σταθμός Wi-Fi μπορεί να μεταδώσει μόνο αν το κανάλι είναι αδρανές. Όταν ένας σταθμός στέλνει ένα πλαίσιο, εάν δεν λάβει επιβεβαίωση για την επιτυχία της μετάδοσης, τότε υποθέτει ότι το πλαίσιο έχει χαθεί, είτε λόγω σύγκρουσης είτε λόγω λάθους μετάδοσης. Στη συνέχεια, επαναλαμβάνει τη μετάδοση μετά από ένα τυχαίο χρονικό διάστημα αναμονής για να αποφύγει νέες συγκρούσεις. Όσο αυξάνεται η κυκλοφορία στο δίκτυο ή σε καταστάσεις όπου οι κινητοί σταθμοί δεν μπορούν να ακούσουν ο ένας τον άλλον, η πιθανότητα συγκρούσεων αυξάνεται, καθιστώντας αυτόν τον μηχανισμό αποφυγής συγκρούσεων ιδιαίτερα σημαντικό για την ομαλή λειτουργία των ασύρματων δικτύων.

Μία από τις κύριες μεθόδους πρόσβασης στα ασύρματα δίκτυα είναι η μέθοδος CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), που αποτελεί ένα πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο (MAC protocol) στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα, και μειώνει τις πιθανότητες των συγκρούσεων πλαισίων και την αποτελεσματική κατανομή του ασύρματου καναλιού μεταξύ των συσκευών. Ο τρόπος με τον οποίο το επιτυγχάνει αυτό είναι ο εξής:

- Ανίχνευση φορέα (Carrier Sense): Οι συσκευές πριν μεταδώσουν πρέπει να παρατηρήσουν το κοινό ασύρματο μέσο για να ελέγξουν αν υπάρχουν άλλες μεταδόσεις από άλλες συσκευές. Αν διαπιστώσουν ότι το μέσο είναι κενό, τότε προσπαθούν να μεταδώσουν.
- Η λειτουργία κατανεμημένου συντονισμού (DCF) είναι η βασική τεχνική ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) του προτύπου WLAN που βασίζεται στο IEEE 802.11 (συμπεριλαμβανομένου του Wi-Fi). Η DCF χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA/CA) με τον αλγόριθμο δυαδικής εκθετικής οπισθοχώρησης.

- Αξιολόγηση καθαρού καναλιού (Clear Channel Assessment): Η αξιολόγηση καθαρού καναλιού (CCA) είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί εάν ένα κανάλι είναι διαθέσιμο για μετάδοση δεδομένων. Εάν το κανάλι είναι διαθέσιμο, η συσκευή μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση δεδομένων. Εάν το κανάλι είναι απασχολημένο, η συσκευή θα περιμένει μέχρι να γίνει διαθέσιμο.
- Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS): Το QoS είναι ένας μηχανισμός που δίνει προτεραιότητα στην κυκλοφορία με βάση τη σημασία ή τον επείγοντα χαρακτήρα της. Οι συσκευές με υψηλότερη προτεραιότητα μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα πριν από συσκευές με χαμηλότερη προτεραιότητα.
- Κατακερματισμός (Fragmentation): Ο κατακερματισμός είναι η διαδικασία διάσπασης μεγάλων πακέτων δεδομένων σε μικρότερα, πριν από τη μετάδοσή τους. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση την πιθανότητα λανθασμένης μετάδοσης.
- Αποφυγή παρεμβολών (Interference Avoidance): Η αποφυγή παρεμβολών είναι ένας μηχανισμός που εντοπίζει πηγές παρεμβολών σε ένα ασύρματο δίκτυο και λαμβάνει μέτρα για την αποφυγή τους. Αποφεύγοντας πηγές παρεμβολών, όπως άλλα ασύρματα δίκτυα ή ηλεκτρονικές συσκευές, η αποφυγή παρεμβολών μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κινδύνου συγκρούσεων.
- Μηχανισμός Backoff: Αν κατά την προσπάθεια μετάδοσης ένα πλαίσιο δεν επιβεβαιωθεί, η συσκευή προγραμματίζει ένα τυχαίο χρονικό διάστημα αναμονής πριν προσπαθήσει ξανά. Αυτός ο μηχανισμός backoff μειώνει την πιθανότητα να προκληθούν νέες συγκρούσεις όταν πολλές συσκευές προσπαθούν να αποκτήσουν πρόσβαση στο μέσο ταυτόχρονα.
- Σύνδεση καναλιών (Channel Bonding): Η σύνδεση καναλιών είναι η διαδικασία συνδυασμού πολλαπλών ασύρματων καναλιών σε ένα ενιαίο, ευρύτερο κανάλι. Χρησιμοποιώντας τη σύνδεση καναλιών, τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να αυξήσουν το εύρος ζώνης τους, επιτρέποντας τη μεταφορά μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και βελτιώνοντας την απόδοση της δικτυακής σύνδεσης για πολλές συσκευές.
- Έλεγχος ισχύος (Power Control): Ο έλεγχος ισχύος είναι μια δυνατότητα που προσαρμόζει το επίπεδο ισχύος μιας ασύρματης συσκευής με βάση την απόστασή της από το σημείο πρόσβασης. Μειώνοντας το επίπεδο ισχύος των συσκευών που βρίσκονται κοντά στο σημείο πρόσβασης, ο έλεγχος ισχύος μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κινδύνου παρεμβολών με άλλες συσκευές στο δίκτυο.

Πέρα από το DCF πρότυπο, δημιουργήθηκε το PCF, ή Point Coordination Function. Αυτό είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο για ασύρματα δίκτυα το οποίο χρησιμοποιεί έναν κεντρικό συντονιστή για να διαχειρίζεται την πρόσβαση στο φάσμα.

Σε ένα δίκτυο PCF, ο συντονιστής στέλνει περιοδικά πλαίσια ελέγχου πρόσβασης. Αυτά τα πλαίσια περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το χρόνο και το κανάλι που θα χρησιμοποιηθούν για την επόμενη μετάδοση. Οι σταθμοί εργασίας που θέλουν να μεταδώσουν, περιμένουν να λάβουν ένα πλαίσιο ελέγχου πρόσβασης και στη συνέχεια στέλνουν το πλαίσιο δεδομένων τους στο καθορισμένο χρόνο και κανάλι. Αυτά τα πλαίσια ελέγχου πρόσβασης είναι 2 είδη: Τα πλαίσια ελέγχου (Control Frames) και τα πλαίσια δεδομένων (Data Frames). Τα πλαίσια ελέγχου χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία και τη διατήρηση της κατάστασης του PCF και περιλαμβάνουν: τα πλαίσια φάρου (Beacon Frames), τα πλαίσια ψηφοφορίας (Poll Frames), πλαίσια δεδομένων + πλαίσια δίχως ύπαρξη διαμάχης ψηφοφορίας (Data+Contention-Free poll frames), πλαίσια δίχως ύπαρξη διαμάχης επιβεβαίωσης/τερματισμού (Contention-Free Ack/End frame). Παρακάτω θα περιγράψω περιληπτικά την λειτουργία του κάθε πλαισίου.

- Τα **Control Frames** χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία και τη διατήρηση της κατάστασης του PCF με αποτέλεσμα την αποφυγή συγκρούσεων στο ασύρματο μέσο.
- Τα **Data Frames** κατευθύνεται από τον συντονιστή του σημείου πρόσβασης σε ένα συγκεκριμένο σταθμό. Εάν ο συντονιστής σημείου δεν λάβει πλαίσιο ACK από τον παραλήπτη, ο συντονιστής σημείου μπορεί να μεταδώσει εκ νέου το μη επιβεβαιωμένο πλαίσιο κατά τη διάρκεια της περιόδου χωρίς ανταγωνισμό περίοδο, μετά το διάστημα PIFS. Ένας συντονιστής σημείου μπορεί να στείλει μεμονωμένα, broadcast, και πλαίσια πολλαπλής διανομής σε όλους τους σταθμούς, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να συμμετάσχουν στην ψηφοφορία.
- Τα **Beacon Frames** μεταδίδονται από το PC για να διαφημίσουν την παρουσία του και για να συγχρονίσουν τα STAs στο WLAN.
- Τα **Poll Frames** αποστέλλονται από τον υπολογιστή για να ζητήσουν δεδομένα από τους συμμετέχοντες για επικοινωνία σταθμούς.
- Τα **CF-Poll Frames** αποστέλλονται από έναν σταθμό για να ζητήσουν πρόσβαση στο ασύρματο μέσο για να μεταδώσει ένα ενιαίο πλαίσιο σε οποιονδήποτε προορισμό. Εάν ο σταθμός που ερωτάται δεν έχει πλαίσιο για αποστολή, πρέπει να στείλει ένα μηδενικό πλαίσιο δεδομένων. Εάν ο σταθμός αποστολής δεν λάβει καμία επιβεβαίωση πλαισίου, δεν μπορεί να μεταδώσει εκ νέου το πλαίσιο, εκτός εάν ο σημειακός συντονιστής ξεκινήσει νέα ψηφοφορία. Εάν ο σταθμός λήψης της μετάδοσης χωρίς ανταγωνισμό δεν είναι CF Pollable, επιβεβαιώνει τη λήψη

του πλαισίου χρησιμοποιώντας κανόνες λειτουργίας κατανεμημένου συντονισμού.

- Στα **Data+Contention-Free poll frames** ο συντονιστής σημείου στέλνει ένα πλαίσιο δεδομένων σε έναν σταθμό και ζητά από τον ίδιο σταθμό να στείλει ένα πλαίσιο χωρίς ανταγωνισμό. Αυτή είναι μια μορφή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης η οποία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της επιβάρυνσης του δικτύου.
- Τα **CF-Ack Frames** χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση ένα πλαισίου CF-Poll.
- Τα **CF-End Frames** χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν το τέλος της περιόδου ανταγωνισμού, η οποία συμβαίνει όταν συμβαίνει ένα από τα ακόλουθα:
 - Αυτή τελειώνει.
 - Ο συντονιστής του σημείου δεν έχει άλλα πλαίσια για μετάδοση και κανέναν σταθμό για να συμμετάσχει στην ψηφοφορία.

Το PCF μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου μειώνοντας τις συγκρούσεις δεδομένων. Αυτό συμβαίνει επειδή ο συντονιστής ρυθμίζει τη ροή δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι μόνο ένας σταθμός εργασίας μεταδίδει ανά πάσα στιγμή. Πέρα από την βελτιωμένη απόδοση, προσφέρει επίσης μειωμένη καθυστέρηση για χρονικά δεσμευμένες υπηρεσίες δίνοντας προτεραιότητα στην πρόσβαση στο ασύρματο μέσο για σταθμούς που μεταδίδουν δεδομένα με χρονικό όριο. Ένα ακόμα θετικό του πρωτοκόλλου αυτού είναι ότι όλοι οι σταθμοί που συμμετέχουν σε ψηφοφορίες συμμετοχής για την επικοινωνία, έχουν ισάξια πρόσβαση στο μέσο.

Ωστόσο υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως για παράδειγμα το ότι είναι πιο περίπλοκο από το DCF, το οποίο είναι το βασικό πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο για ασύρματα δίκτυα. Αυτό συμβαίνει επειδή το PCF απαιτεί πρόσθετα πλαίσια ελέγχου και μηχανισμούς για τη διαχείριση της πρόσβασης στο ασύρματο μέσο. Έτσι, μπορεί να δυσκολέψει τη διαχείριση και τη διάγνωση του δικτύου. Δεδομένου ότι το PCF βασίζεται σε ένα κεντρικό πρωτόκολλο δημοσκόπησης, εξαιτίας ψηφοφοριών για το ποιος θα μεταδώσει, και τα μηδενικά πακέτα που μεταδίδουν οι σταθμοί για να δηλώσουν ότι δεν έχουν δεδομένα να μεταδώσουν, σπαταλιέται κάποιο εύρος ζώνης. Το PCF απαιτεί επιπλέον έναν κεντρικό συντονιστή, ο οποίος μπορεί να αποτελέσει σημείο αποτυχίας. Εάν ο συντονιστής αποτύχει, το δίκτυο θα σταματήσει να λειτουργεί. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι το DCF είναι υποχρεωτικό ενώ το PCF όχι, που σημαίνει ότι όλες οι κάρτες δικτύου υποχρεωτικά χρησιμοποιούν το DCF πρωτόκολλο ενώ το

PCF όχι απαραίτητα. Τα περισσότερα WLAN χρησιμοποιούν το DCF, το οποίο είναι πιο απλό και πιο αποδοτικό για τις περισσότερες εφαρμογές.

Αυτά ήταν μερικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που προκύπτουν με βάση την χρήση των δυο αυτών πρωτοκόλλων πρόσβασης στο μέσο. Συνολικά, το PCF είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση και την ασφάλεια των ασύρματων δικτύων. Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του PCF πριν από τη χρήση του σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο.

4.2 Σύγκριση πρωτοκόλλων προσπέλασης CSMA/CA και CSMA/CD

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τα δυο αυτά πρωτοκόλλα ανίχνευσης, θα πρέπει να γνωρίζουμε το πως λειτουργεί και το CSMA/CD.

Το πρότυπο IEEE 802.3 περιγράφει το Ethernet, ορίζοντας το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC ενός ενσύρματου τοπικού δικτύου υπολογιστών. Το πρότυπο καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα υποστρώματα MAC έχουν πρόσβαση στο φυσικό μέσο μετάδοσης, καθώς και τις υπηρεσίες που παρέχονται από το υποεπίπεδο MAC στο υποεπίπεδο LLC. Περιλαμβάνει, επίσης, τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο και τον τρόπο ανίχνευσης συγκρούσεων κατά τη μετάδοση δεδομένων σε κοινόχρηστο μέσο.

Ο τρόπος πρόσβασης στα μέσα που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο του προτύπου IEEE 802.3 είναι γνωστός ως στρατηγική CSMA/CD (Collision Detection Carrier Detection Multiple Access). Αυτό ελέγχει αν το κανάλι είναι αδρανές πριν επιτρέψει στις συσκευές να στείλουν δεδομένα. Αν το κανάλι είναι αδρανές, μια συσκευή ξεκινά τη μετάδοση. Εάν ανιχνευτεί σύγκρουση κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, όλες οι εμπλεκόμενες συσκευές σταματούν και αποστέλλουν ένα σήμα σύγκρουσης (jam signal) για να ειδοποιήσουν τους σταθμούς του δικτύου. Στη συνέχεια, περιμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα και προσπαθούν ξανά να στείλουν τα δεδομένα. Ο τυχαίος αυτός χρόνος υπολογίζεται μέσω του αλγορίθμου Binary Exponential Backoff, ο οποίος αυξάνει εκθετικά το χρόνο αναμονής μετά από κάθε αποτυχημένη προσπάθεια, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα επαναλαμβανόμενων συγκρούσεων. (Ξανθόπουλος, 2020).

Τόσο το CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) όσο και το CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) λοιπόν, είναι πρωτόκολλα πρόσβασης στο μέσο (MAC protocols) που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα για τη διαχείριση της πρόσβασης των συσκευών στο κοινό μέσο μετάδοσης. Ωστόσο, υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ τους σχετικά με τον τρόπο που αντιμετωπίζουν τις συγκρούσεις και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν στο δίκτυο. Αυτή είναι η εξής:

Στο CSMA/CD, ο αλγόριθμος "binary exponential backoff" ξεκινά με πολύ μικρό εύρος καθυστέρησης. Με την πρώτη σύγκρουση, το k γίνεται 1 και το παράθυρο καθυστέρησης έχει

εύρος από 0 μέχρι $2^k - 1$, δηλαδή από 0 μέχρι 1, οπότε υπάρχουν δύο δυνατές επιλογές. Στη δεύτερη σύγκρουση το $k=2$, το παράθυρο μεγαλώνει σε [0..3] με αποτέλεσμα να έχουμε 4 επιλογές, στην τρίτη [0..7], άρα 8 επιλογές, και συνεχίζει να διπλασιάζεται μέχρι να φτάσει σε ένα προκαθορισμένο μέγιστο όριο. Στα πρώτα στάδια της διαδικασίας, ο σταθμός έχει περιορισμένο αριθμό πιθανών επιλογών καθυστέρησης, ξεκινώντας από 2 πιθανά χρονικά διαστήματα.

Αντίθετα, στο CSMA/CA, τα "contention windows" έχουν προκαθορισμένα ελάχιστα (CWmin) και μέγιστα όρια. Συνήθως, το CWmin ξεκινά από τιμές όπως 15 ή 31, δηλαδή 16 ή 32 πιθανά χρονικά διαστήματα καθυστέρησης. Έπειτα από κάθε αποτυχημένη προσπάθεια μετάδοσης, το μέγεθος του παραθύρου διπλασιάζεται, αλλά ξεκινά από μια ήδη αρκετά μεγάλη βάση συγκριτικά με το CSMA/CD.

Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι στο CSMA/CA, οι συγκρούσεις είναι πιο «ακριβές» λόγω της μεγάλης διάρκειας της σύγκρουσης, καθώς πρέπει να σταλεί ολόκληρο το πλαίσιο και η σύγκρουση να ανιχνευθεί από την έλλειψη ACK. Σε αντίθεση με το CSMA/CD, όπου υπάρχει μηχανισμός ανίχνευσης σύγκρουσης σε πραγματικό χρόνο (collision detection), στα ασύρματα δίκτυα δεν υπάρχει τέτοιος μηχανισμός «στον αέρα». Έτσι, το μεγαλύτερο αρχικό παράθυρο μειώνει την πιθανότητα ταυτόχρονων προσπαθειών μετάδοσης και περιορίζει τις επαναλαμβανόμενες συγκρούσεις.

Στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου επιπέδου MAC, το CSMA/CA χρησιμοποιεί μια ακολουθία εντοπισμού και μετάδοσης φέροντος σε 3 βήματα. Αυτή η προσέγγιση συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της πιθανότητας συγκρούσεων.

Carrier Sense (CS): Το Carrier Sense είναι η διαδικασία μέσω της οποίας κάθε συσκευή στο δίκτυο ελέγχει το μέσο μετάδοσης πριν προχωρήσει στη μετάδοση δεδομένων. Η συσκευή "ακούει" το κανάλι για να επιβεβαιώσει ότι δεν το χρησιμοποιεί άλλη συσκευή, δηλαδή ότι το μέσο είναι αδρανές. Καμία συσκευή δεν προχωρά στη μετάδοση δεδομένων μέχρι να βεβαιωθεί ότι το κανάλι είναι ελεύθερο και προσβάσιμο.

Πολλαπλή πρόσβαση (ΠΠ). Δεδομένου ότι πολλοί σταθμοί μοιράζονται το μέσο μετάδοσης, είναι θεμελιώδες όλοι οι σταθμοί να συμμορφώνονται με την επίσημη σύμβαση για να εξασφαλιστεί η επικοινωνία.

Αποφυγή Συγκρούσεων (CA): Η Αποφυγή Συγκρούσεων είναι μια διαδικασία που μειώνει την πιθανότητα σύγκρουσης δεδομένων, προσπαθώντας να διασφαλίσει ότι οι συσκευές δεν αρχίζουν τη μετάδοση ταυτόχρονα. Στο CSMA/CA, κάθε συσκευή ελέγχει το κανάλι για να βεβαιωθεί ότι είναι αδρανές πριν μεταδώσει. Αν το κανάλι είναι κατειλημμένο, η συσκευή ελέγχει συνέχεια πριν επιχειρήσει ξανά να στείλει δεδομένα. Προσπαθεί να ξαναστείλει δεδομένα όταν τελειώσει η τρέχουσα μετάδοση ο σταθμός και το κανάλι γίνει αδρανές Αυτό μειώνει την πιθανότητα σύγκρουσης και επιτρέπει στις συσκευές να μεταδίδουν δεδομένα με πιο ελεγχόμενο τρόπο.

Τέλος, η αποφυγή συγκρούσεων προσφέρει αύξηση της απόδοσης του δικτύου, επιτρέποντας τη μετάδοση περισσότερων δεδομένων σε μικρότερο χρονικό διάστημα.

Το CSMA/CA προτιμάται γενικά για ασύρματα δίκτυα, όπου οι συγκρούσεις μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας στο ασύρματο μέσο, καθώς δεν μπορούμε να καταλάβουμε άμεσα την σύγκρουση ακούγοντας την στιγμή που εκπέμπουμε.

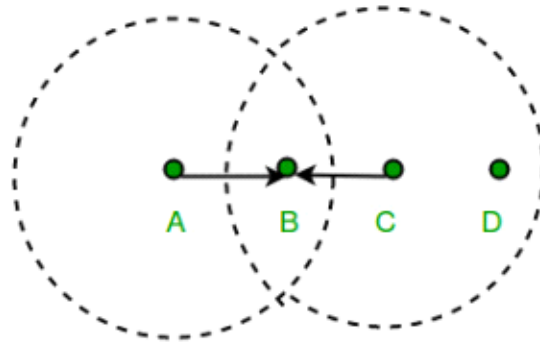
4.3 Κρυφοί και εκτεθειμένοι σταθμοί

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) είναι βασικά στα πλαίσια επικοινωνίας αιχμής και διευκολύνουν τη συνδεσιμότητα οπουδήποτε. Σε αυτό το μέρος, εξετάζεται η φύση και η σημασία δύο βασικών προβλημάτων: των κρυφών και εκτεθειμένων σταθμών εντός του Wlan με το πρωτόκολλο αποφυγής συγκρούσεων (CSMA/CA). Επίσης, επισημαίνει τους τρόπους αντιμετώπισης με σκοπό τη βελτίωση των προβλημάτων που δημιουργούνται, για την καλύτερη αποδοτικότητα του δικτύου.

Στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, το Wlan έχει αναδειχθεί σε αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης δικτυακής υποδομής. Το πρότυπο IEEE802.11, αποτελεί τη σπονδυλική στήλη των WLAN, επιτρέποντας στις συσκευές να συνδέονται και να επικοινωνούν σε μικρές αποστάσεις χωρίς φυσικό καλώδιο. Παρά τα κομβικά τους σημεία, τα WLAN αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις, ιδίως λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της απομακρυσμένης μετάδοσης. Μεταξύ αυτών των προκλήσεων, τα προβλήματα των κρυφών και εκτεθειμένων σταθμών είναι ιδιαίτερα σημαντικά λόγω της επίδρασής τους στην απόδοση του δικτύου. Παρακάτω θα διερευνηθούν αυτά τα προβλήματα και ο ρόλος του πρωτοκόλλου CSMA/CA στην αντιμετώπισή τους.

4.3.1 Πρόβλημα κρυφού σταθμού

Πρόβλημα Κρυμμένου Σταθμού σε WLAN: Το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού εμφανίζεται σε δίκτυα WLAN όταν δύο συσκευές (ο A και ο C) βρίσκονται εκτός της εμβέλειας η μία της άλλης, αλλά και οι δύο μπορούν να επικοινωνούν με έναν κοινό σταθμό (π.χ. τον B). Στην περίπτωση που ο A έχει ξεκινήσει την μετάδοση στον B, καθ' όλη τη διάρκεια της μετάδοσης του πλαισίου, θα συμβεί σύγκρουση αν ο C θα προσπαθήσει να μεταδώσει και αυτός προς τον B, καθώς δεν ακούει την εκπομπή του A και θεωρεί ότι το μέσο είναι ελεύθερο. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να μειώσει την απόδοση του δικτύου λόγω των επαναλαμβανόμενων συγκρούσεων και επανεκπομπών.



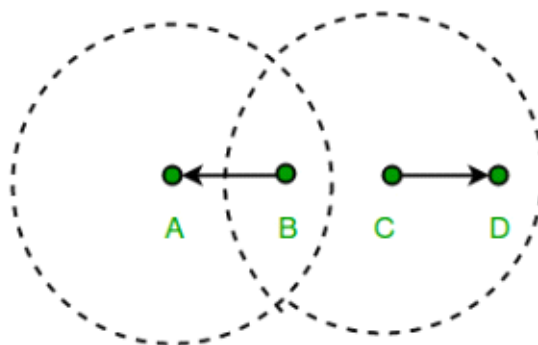
Hidden Node Problem

Εικόνα 8 Πηγή : <https://www.geeksforgeeks.org/collision-avoidance-in-wireless-networks/>

4.3.2 Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού

Αντίθετα, το πρόβλημα του εκτεθειμένου σταθμού ανακύπτει όταν αναβάλλεται η μετάδοσή του λόγω της εγγύτητας της μετάδοσης άλλων σταθμών, ακόμη και αν η αναβολή αυτή δεν είναι ζωτικής σημασίας. Στην περίπτωση αυτή, ο σταθμός δέχεται εσφαλμένα ότι η μετάδοσή του θα προκαλέσει σύγκρουση.

Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί. Αυτήν την φορά ο B στέλνει στον A, ο κόμβος C γνωρίζει αυτή την επικοινωνία επειδή ακούει τη μετάδοση του B. Ο C, λανθασμένα θα συμπεράνει ότι δεν μπορεί να μεταδώσει σε κανέναν μόνο και μόνο επειδή μπορεί να ακούσει τη μετάδοση του B. Υποθέτοντας ότι ο C θέλει να μεταδώσει στον σταθμό D, αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα, δεδομένου ότι η μετάδοση του C στον D δεν θα επηρεάσει την ικανότητα του A να λαμβάνει από τον B.



Exposed Node Problem

Εικόνα 9 Πηγή : <https://www.geeksforgeeks.org/collision-avoidance-in-wireless-networks/>

4.3.3 Αντιμετώπιση κρυφών σταθμών

Για να αντιμετωπιστεί ειδικά το πρόβλημα του κρυμμένου σταθμού, το CSMA/CA εφαρμόζει το μηχανισμό RTS/CTS (Send Request/Clear Send). Αυτός ο μηχανισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός για διάρκεια της σύγκρουσης(είτε των RTS μηνυμάτων είτε των δεδομένων) μεταξύ κρυφών σταθμών και για την παροχή αξιόπιστης πρόσβασης στο κοινό περιβάλλον.

Ακολουθεί ο τρόπος λειτουργίας του RTS/CTS για την επίτευξη αυτού του στόχου:

Αίτηση αποστολής (RTS): Ένας σταθμός (π.χ. ο A) στέλνει δεδομένα σε έναν άλλο σταθμό (B) περιλαμβάνοντας πληροφορίες με την διάρκεια επικοινωνίας και το αιτημα δέσμευσης του καναλιού .

Έγκριση Αποστολής (CTS): Όταν ένας σταθμός B λαμβάνει ένα πλαίσιο RTS (Request to Send) από έναν άλλο σταθμό που επιθυμεί να μεταδώσει δεδομένα, ο σταθμός B απαντά με ένα πλαίσιο CTS (Clear to Send), το οποίο περιέχει πληροφορίες για τη διάρκεια της επικείμενης μετάδοσης τις οποίες έχει λάβει από το RTS, ενημερώνοντας όλους τους σταθμούς εντός της εμβέλειας του B ότι το μέσο είναι δεσμευμένο, ώστε να αποφεύγονται παρεμβολές. Η χρονική διάρκεια που περιλαμβάνεται στο CTS υπολογίζεται από την χρονική διάρκεια που περιλαμβάνεται στο RTS αν αφαιρεθεί η χρονική διάρκεια που χρειάζεται το CTS.

Μετάδοση και Επιβεβαίωση: Αφού ο σταθμός A λάβει το πλαίσιο CTS (Clear to Send) από τον σταθμό B, ξεκινά με τη μετάδοση του DATA πλαισίου δεδομένων προς τον B. Ο σταθμός B, όταν παραλάβει τα δεδομένα, επιβεβαιώνει τη λήψη τους με τη μετάδοση ενός πλαισίου ACK (Acknowledgment), ολοκληρώνοντας έτσι τη διαδικασία της επικοινωνίας.

Αποφυγή σύγκρουσης:

Για κρυφούς Σταθμούς: Όταν ο σταθμός A στέλνει ένα πλαίσιο RTS (Request to Send) στον σταθμό B, άλλοι σταθμοί, όπως ο C, που βρίσκονται εκτός της εμβέλειας του A, αλλά μπορούν να επικοινωνούν με τον B, δεν γνωρίζουν ότι ο A θα μεταδώσει δεδομένα. Όταν ο B απαντήσει με το CTS (Clear to Send), οι σταθμοί που ακούνε το CTS ενημερώνονται για την επικείμενη μετάδοση και αποφεύγουν να στείλουν δεδομένα προς τον B, καθυστερώντας τη μετάδοσή τους για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτό αποτρέπει τις συγκρούσεις και εξασφαλίζει ότι οι συσκευές συντονίζονται για να αποφύγουν παρεμβολές.

Για εκτεθειμένους σταθμούς: (για παράδειγμα, ο σταθμός D) καθυστερούν επίσης τη μετάδοση για ορισμένο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτρέπει στη μετάδοση δεδομένων από το σταθμό A στο B να προχωρήσει χωρίς παρεμβολές. Αντίστροφα, εάν ένας σταθμός όπως ο C θέλει να στείλει σε έναν άλλο σταθμό που δεν βρίσκεται εντός του B , θα ήταν μια πολύ καλή ιδέα να βεβαιωθεί ότι ο προοριζόμενος για τη διεκδίκηση δέκτης του δεν επηρεάζεται από την τρέχουσα επικοινωνία.

5. Περιγραφή προτύπων ασύρματων δικτύων

5.1 HomeRF

Το πρότυπο HomeRF είναι ένα πρότυπο στα ασύρματα δίκτυα το οποίο δημιουργήθηκε το 1988 από την Home Radio Frequency Working Group, όπου σε αυτή συμμετείχαν οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας: Intel, Siemens AG, Philips, Proxim Wireless και άλλες εταιρίες. Στόχος αυτού του προτύπου ήταν η χρήση της ασύρματης δικτύωσης μέσα στις οικίες, αλλά σύντομα έπαψε να χρησιμοποιείται καθώς άλλα ασύρματα δίκτυα έγιναν προσβάσιμα στους οικιακούς χρήστες και η Microsoft περιλάμβανε υποστήριξη σε αυτά μέσω του λειτουργικού συστήματος των Windows.

Η προδιαγραφή HomeRF, η οποία αρχικά ονομαζόταν SWAP, επέτρεψε σε υπολογιστές, περιφερειακά, ασύρματα τηλέφωνα και άλλες συσκευές να μοιράζονται και να επικοινωνούν με ομιλία και δεδομένα μέσα και γύρω από το σπίτι, χωρίς την ανάγκη καλωδίων. Το HomeRF χρησιμοποιούσε διάφορες ασύρματες τεχνολογίες στη ζώνη ISM των 2,4 GHz, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας FH (Frequency Hopping) για τα δεδομένα και της τεχνολογίας DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) για τη φωνή. Το FH είναι μια μορφή spread spectrum επικοινωνίας, όπου το σήμα "πηδά" (hops) από τη μία συχνότητα στην άλλη, ακολουθώντας μια προσχεδιασμένη και συγχρονισμένη ακολουθία, μέσα στο διαθέσιμο φάσμα. Αυτό έχει δύο βασικά οφέλη. Πρώτον, καθιστά το σύστημα πιο ανθεκτικό στις παρεμβολές, καθώς το σήμα παραμένει μόνο για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα σε κάθε συχνότητα, καθιστώντας δύσκολο για εξωτερικές παρεμβολές να το επηρεάσουν σε σταθερή βάση. Δεύτερον, βελτιώνει την ασφάλεια της επικοινωνίας, καθώς η ακριβής ακολουθία hopping είναι γνωστή μόνο στους συμμετέχοντες στο δίκτυο.

Το FH υιοθετήθηκε ως μία από τις δύο μεθόδους spread spectrum στην πρώτη έκδοση του προτύπου Wi-Fi, αλλά είχε χαμηλότερη απόδοση από το DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), που γρήγορα έγινε πιο δημοφιλές. Το HomeRF, όμως, χρησιμοποίησε το FHSS ως τη βάση για τη μετάδοση δεδομένων, καθώς θεωρήθηκε καταλληλότερο για περιβάλλοντα με πολλές πιθανές παρεμβολές, όπως οι οικιακοί χώροι με πληθώρα ασύρματων τηλεφώνων και άλλων συσκευών. Επιπλέον, η μέγιστη θεωρητική απόδοση του HomeRF ήταν 10 Mbps, με εμβέλεια έως και 50 μέτρα από ένα σημείο ασύρματης πρόσβασης, καθιστώντας το ιδανικό για προσωπικά δίκτυα (PAN), τα οποία συνδέουν συσκευές σε μικρές αποστάσεις.

Η τεχνολογία DECT, που χρησιμοποιήθηκε για τη φωνητική επικοινωνία στο HomeRF, ήταν ήδη καθιερωμένη στην Ευρώπη ως πρότυπο για ασύρματα τηλέφωνα και προσέφερε βελτιωμένη ποιότητα φωνής και ασφάλεια. Συνδυάζοντας αυτές τις δύο τεχνολογίες, το HomeRF μπόρεσε να προσφέρει ανθεκτική, ασφαλή και ποιοτική επικοινωνία. Αυτή η συνδυαστική προσέγγιση έδωσε στο HomeRF πλεονεκτήματα σε θέματα όπως την ασφάλεια, την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και την προστασία από παρεμβολές, προβλήματα που αντιμετώπιζε το Wi-Fi εκείνη την εποχή, ειδικά στις πρώτες του εκδόσεις. Παρά τα πλεονεκτήματά του, όμως, το HomeRF τελικά δεν κατάφερε να επικρατήσει, κυρίως λόγω της

ταχείας ανάπτυξης και εξάπλωσης του Wi-Fi, το οποίο προσέφερε υψηλότερες ταχύτητες και μεγαλύτερη υποστήριξη από κατασκευαστές συσκευών.

Η Proxim Wireless ήταν ο μοναδικός προμηθευτής chipset HomeRF. Αυτό έθεσε τους κατασκευαστές συσκευών σε μειονεκτική θέση, καθώς έπρεπε να αγοράζουν βασικά εξαρτήματα από έναν μόνο προμηθευτή. Αυτή η σύγκρουση, σε συνδυασμό με την οικονομική ύφεση και το γεγονός ότι το HomeRF αναπτύχθηκε από κοινοπραξία και όχι από επίσημο φορέα τυποποίησης, οδήγησαν στην εμπορική αποτυχία του προτύπου.

5.2 HiperLAN/1

Το HiperLAN/1 (High Performance Radio Local Area Network) αποτελεί πρότυπο ασύρματου τοπικού δικτύου υψηλής ταχύτητας, που δημιουργήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) και εγκρίθηκε το 1996. Σχεδιάστηκε ως ανταγωνιστής του προτύπου IEEE 802.11, παρέχοντας ταχύτητες δεδομένων έως και 20 Mbps στη συχνότητα των 5 GHz, καθώς και αναβαθμισμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) για πολυμεσικές εφαρμογές. Με εμβέλεια που φτάνει τα 100 μέτρα, καλύπτει τις απαιτήσεις ενός ασύρματου δικτύου υψηλής απόδοσης.

Το HiperLAN/1 βασίζεται τεχνολογικά στη μέθοδο direct-sequence spread spectrum (DSSS), μέσω της οποίας το σήμα δεδομένων διασπείρεται σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων, καθιστώντας το ανθεκτικό στις παρεμβολές. Επιπλέον, ενσωματώνει το πρωτόκολλο MAC CSMA/CA, το οποίο μειώνει τις συγκρούσεις κατά την ταυτόχρονη χρήση του ίδιου καναλιού από πολλούς χρήστες.

Η ανάπτυξη του HiperLAN/1 προέκυψε από την ανάγκη για ένα ευρωπαϊκό πρότυπο που θα προσέφερε υψηλές ταχύτητες και αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία. Παρόλο που εκπλήρωσε αυτούς τους στόχους, η διεύθυνσή του περιορίστηκε από τον ανταγωνισμό με άλλα πρότυπα και την αυξανόμενη δημοτικότητα του Wi-Fi, που κυριάρχησε στην αγορά.

Το HiperLAN/1 δημιουργήθηκε για να καλύψει τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για απομακρυσμένες δικτυακές λύσεις, ικανές να υποστηρίξουν τις αναπτυσσόμενες εφαρμογές πολυμέσων και επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο, στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Εκείνη την περίοδο, το πρότυπο IEEE 802.11, παρότι αναγνωρισμένο, περιοριζόταν ως προς τον ρυθμό δεδομένων και την ποιότητα υπηρεσιών (QoS), καθιστώντας το ανεπαρκές για απαιτητικές εφαρμογές όπως τηλεδιασκέψεις και πολυμέσα υψηλού εύρους ζώνης.

Η ανάπτυξη του HiperLAN/1 βασίστηκε σε στενή συνεργασία μεταξύ ευρωπαϊκών εταιρειών τηλεπικοινωνιών και ερευνητικών ινστιτούτων. Το έργο εστίασε στην αξιοποίηση των πλέον σύγχρονων ραδιοτεχνολογιών της εποχής, θέτοντας τα θεμέλια για ένα καινοτόμο πρότυπο που ανταποκρινόταν στις τότε απαιτήσεις της αγοράς.

5.2.1 Τεχνικές προδιαγραφές

Το HiperLAN/1 ξεχωρίζει για τα προηγμένα χαρακτηριστικά του, τα οποία έχουν σχεδιαστεί ώστε να προσφέρουν υψηλή απόδοση, σταθερή ποιότητα και αξιοπιστία σε διάφορα περιβάλλοντα δικτύωσης. Ορισμένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων: Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματά του είναι η δυνατότητα υποστήριξης ρυθμών μετάδοσης δεδομένων έως 23,5 Mbps. Αυτός ο ρυθμός είναι σημαντικά υψηλότερος σε σύγκριση με το αρχικό πρότυπο IEEE 802.11, καθιστώντας το HiperLAN/1 ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν αυξημένη χωρητικότητα και γρήγορη μεταφορά δεδομένων, όπως πολυμέσα υψηλής ανάλυσης και επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο.

Μέθοδος Διαμόρφωσης: Το HiperLAN/1 χρησιμοποιεί τη μέθοδο διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK), γνωστή για την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία της στις ασύρματες επικοινωνίες. Η χρήση του GMSK μειώνει τον ρυθμό σφαλμάτων (bit error rate) και βελτιώνει τη συνολική ποιότητα της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Μηχανισμοί Διόρθωσης Λαθών: Για να εξασφαλιστεί αξιόπιστη μετάδοση, το HiperLAN/1 ενσωματώνει προηγμένες τεχνικές διόρθωσης λαθών, όπως συνελικτική κωδικοποίηση και μηχανισμούς Αυτόματης Επαναμετάδοσης (ARQ). Αυτές οι τεχνολογίες ενισχύουν την αξιοπιστία του συστήματος, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση και διόρθωση των λαθών.

Μέσο Ελέγχου Πρόσβασης (MAC): Το επίπεδο MAC του HiperLAN/1 χρησιμοποιεί δυναμικούς αλγόριθμους κατανομής καναλιών και αποκεντρωμένο συντονισμό. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει ότι όλοι οι χρήστες έχουν δίκαιη πρόσβαση στο κοινό μέσο επικοινωνίας. Επιπλέον, μειώνει τις πιθανότητες συγκρούσεων κατά τη μετάδοση δεδομένων και ενισχύει την αποδοτικότητα του δικτύου, προσφέροντας σταθερή και αξιόπιστη απόδοση ακόμα και σε περιβάλλοντα με πολλούς χρήστες.

Ακτίνα Κάλυψης: Η τυπική εμβέλεια του HiperLAN/1 είναι περίπου 45 μέτρα. Αν και μικρότερη σε σχέση με τα συστήματα που λειτουργούν στη ζώνη των 2,4 GHz, η μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα και τα ανώτερα επίπεδα ταχύτητας το καθιστούν προτιμότερο για εφαρμογές όπου η ποιότητα και η ταχύτητα είναι κρίσιμες.

Η εμβέλεια μετάδοσης του πρωτοκόλλου τοπικού δικτύου HiperLAN/1 φτάνει συνήθως τα 45 μέτρα. Η μικρότερη αυτή εμβέλεια, σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες που λειτουργούν στη ζώνη των 2,4 GHz, αποδίδεται στη χρήση υψηλότερης συχνότητας από το HiperLAN/1. Ωστόσο, το πρωτόκολλο αντισταθμίζει τον περιορισμό αυτό, παρέχοντας καλύτερη απόδοση σε τοπικά δίκτυα, με υψηλότερους ρυθμούς ανταλλαγής δεδομένων και μειωμένες παρεμβολές, καθιστώντας το ιδανικό για απαιτητικές εφαρμογές σε μικρές αποστάσεις.

5.2.2 Εφαρμογές και χρήσεις

Το πρωτόκολλο HIPERLAN/1, που αναπτύχθηκε από την ETSI (European Telecommunications Standards Institute), εισάγει μια νέα προσέγγιση για ασύρματα τοπικά δίκτυα (LAN) υψηλής απόδοσης. Ο σχεδιασμός του αποσκοπεί στην κάλυψη αναγκών τόσο για αντικατάσταση ενσύρματων δικτύων LAN όσο και για την υποστήριξη ad-hoc δικτύων, ενώ παράλληλα προσαρμόζεται σε ποικίλα περιβάλλοντα χρήσης όπως γραφεία, νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα και βιομηχανικούς χώρους.

Μία από τις βασικές εφαρμογές του HIPERLAN/1 είναι η αντικατάσταση των ενσύρματων δικτύων LAN, ειδικά σε περιβάλλοντα όπου η κινητικότητα των χρηστών δημιουργεί την ανάγκη να υπάρχουν πολλά σημεία ενσύρματης πρόσβασης σε διάφορους χώρους.

Στα παραδοσιακά LAN, κάθε μετακίνηση εργαζομένων ή αλλαγή διαρρύθμισης χώρου συνεπάγεται την ανάγκη για αλλαγές στις υπάρχουσες υποδομές καλωδίωσης. Το HIPERLAN/1 εξαλείφει αυτή την απαίτηση αντικαθιστώντας το τελευταίο τμήμα σύνδεσης από τον κορμό του δικτύου προς τους τερματικούς σταθμούς με ασύρματα σημεία πρόσβασης (access points). Τα σημεία αυτά τοποθετούνται σε κατάλληλα σημεία, όπως την οροφή, εξασφαλίζοντας απρόσκοπτη επικοινωνία με τους χρήστες.

Παρόλο που η ασύρματη σύνδεση προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση κόστους, συνοδεύεται από ορισμένες τεχνικές προκλήσεις. Η σωστή τοποθέτηση των σημείων πρόσβασης απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα φασματικής πόρωσης. Σε περιπτώσεις έντονων παρεμβολών, μπορεί να είναι απαραίτητη η χρήση προηγμένων εργαλείων πρόβλεψης κάλυψης, γεγονός που αυξάνει το κόστος της αρχικής εγκατάστασης. Παρ' όλα αυτά, η συνολική αποδοτικότητα που προσφέρει αυτή η λύση, σε σύγκριση με τις απαιτήσεις καλωδίωσης, παραμένει σαφώς ανώτερη.

Ad-Hoc Δικτύωση: Το HIPERLAN/1 υποστηρίζει επίσης ad-hoc δίκτυα, μια μορφή προσωρινής σύνδεσης χωρίς την ανάγκη υποδομής. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου η πρόσβαση σε μια κεντρική δικτυακή υποδομή δεν είναι δυνατή ή επιθυμητή.

Ένα τυπικό σενάριο ad-hoc δικτύου περιλαμβάνει τη σύνδεση φορητών υπολογιστών σε περιβάλλοντα όπως συνεδριακές αίθουσες, αεροδρόμια, ή ξενοδοχεία. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν προσωρινά δίκτυα για συνεργατική επεξεργασία εγγράφων ή κοινή χρήση δεδομένων. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για επαγγελματίες που ταξιδεύουν ή συμμετέχουν σε εκδηλώσεις.

Η υποδομή ad-hoc του HIPERLAN/1 χαρακτηρίζεται από δυναμική τοπολογία επικοινωνίας τύπου πλέγματος (mesh). Σε αντίθεση με την αντικατάσταση ενσύρματων LAN, εδώ η επικοινωνία πραγματοποιείται απευθείας μεταξύ των συσκευών, χωρίς τη διαμεσολάβηση κεντρικών σημείων πρόσβασης. Η τεχνολογία του HIPERLAN/1 είναι ικανή να προσαρμοστεί

σε αντίξορες συνθήκες, όπως αυτές που περιλαμβάνουν παρεμβολές και αυξημένη εξασθένηση σήματος, εξασφαλίζοντας σταθερότητα και αποδοτικότητα.

Ωστόσο, η έλλειψη οπτικής επαφής μεταξύ των συσκευών σε ad-hoc δίκτυα μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα λόγω του χαρακτηριστικού Rayleigh fading, καθώς και της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης. Παρά αυτές τις προκλήσεις, το HIPERLAN/1 διασφαλίζει ότι η ποιότητα της υπηρεσίας παραμένει συγκρίσιμη με εκείνη ενός ενσύρματου δικτύου.

Ειδικές Εφαρμογές: Το HIPERLAN/1 υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που καλύπτουν διαφορετικούς τομείς και απαιτήσεις όπως:

- Αυτοματισμοί Γραφείων: Παρέχει γρήγορη ασύρματη συνδεσιμότητα για κοινή χρήση πόρων, όπως εκτυπωτές και αρχεία, μειώνοντας την ανάγκη για ενσύρματη υποδομή.
- Χρηματοοικονομικές Υπηρεσίες: Ενδείκνυται για τραπεζικά και χρηματοπιστωτικά περιβάλλοντα, όπου απαιτείται ασφαλής και αξιόπιστη επικοινωνία.
- Ιατρικά και Νοσοκομειακά Συστήματα: Επιτρέπει τη σύνδεση φορητών ιατρικών συσκευών, επιταχύνοντας την πρόσβαση σε δεδομένα ασθενών και υποστηρίζοντας την απομακρυσμένη παρακολούθηση.
- Εκπαίδευση και Κατάρτιση: Χρήση σε σχολεία και πανεπιστήμια για την υποστήριξη πολυμέσων, πρόσβαση στο διαδίκτυο και διαδραστική μάθηση.
- Βιομηχανικοί Αυτοματισμοί: Εξυπηρετεί την επικοινωνία μεταξύ μηχανών σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και την ευελιξία.

Υποστήριξη Κινητικότητας: Το HIPERLAN/1 έχει σχεδιαστεί για περιβάλλοντα με κινητικότητα, υποστηρίζοντας ταχύτητες κίνησης έως 10 m/s. Αυτό το καθιστά κατάλληλο για δυναμικές εφαρμογές, όπως σε εσωτερικούς χώρους με κινούμενα οχήματα ή σε εργοστάσια παραγωγής. Επιπλέον, η δυνατότητα υποστήριξης ισοχρονικών δεδομένων, όπως φωνή και βίντεο, το καθιστά κατάλληλο για απαιτητικές εφαρμογές πολυμέσων.

Το HIPERLAN/1 συνδυάζει τεχνολογική ευελιξία με υψηλή απόδοση, καθιστώντας το ιδανικό για ποικίλες εφαρμογές σε διαφορετικούς τομείς. Από τη σταθερή χρήση σε γραφεία και εκπαιδευτικά ιδρύματα έως τη δυναμική δικτύωση σε βιομηχανικούς και ιατρικούς χώρους, το πρωτόκολλο προσφέρει λύσεις για τις σύγχρονες ανάγκες συνδεσιμότητας

5.3 Hiperlan/2

Το HIPERLAN/2 αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 ως απάντηση στις αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλές ταχύτητες και αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία. Αποτελεί μια σημαντική εξέλιξη σε σχέση με τον προκατόχό του, HIPERLAN/1, το οποίο αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια καθιέρωσης ενός ασύρματου δικτύου υψηλών επιδόσεων. Ενώ το

HIPERLAN/1 βασιζόταν σε παλαιότερες τεχνολογίες, το HIPERLAN/2 ενσωματώνει πιο σύγχρονες προδιαγραφές, οι οποίες του επιτρέπουν να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις ενός συνεχώς εξελισσόμενου περιβάλλοντος επικοινωνίας.

Το HIPERLAN/2 λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz και χρησιμοποιεί την τεχνολογία Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Η επιλογή αυτής της τεχνολογίας εξασφαλίζει αυξημένη ανθεκτικότητα σε παρεμβολές και πολυδιάδρομους διαδρομές (multipath fading), βελτιώνοντας σημαντικά την απόδοση του δικτύου σε σχέση με το HIPERLAN/1, το οποίο βασιζόταν σε παλαιότερες μεθόδους διαμόρφωσης.

Επιπλέον, το HIPERLAN/2 υποστηρίζει μια σειρά από τεχνικές διαμόρφωσης, όπως BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM. Η δυνατότητα επιλογής διαφορετικών τεχνικών διαμόρφωσης επιτρέπει τη δυναμική προσαρμογή του ρυθμού μετάδοσης ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση της αποδοτικότητας και της ευελιξίας του. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων μπορούν να φτάσουν έως και τα 54 Mbps, παρέχοντας σημαντικά βελτιωμένες επιδόσεις σε σύγκριση με την προηγούμενη γενιά του πρωτοκόλλου.

Η μετάβαση από το HIPERLAN/1 στο HIPERLAN/2 συνοδεύτηκε από σημαντικές βελτιώσεις τόσο στην αξιοπιστία όσο και στην απόδοση της ασύρματης επικοινωνίας. Το HIPERLAN/2 επιτρέπει την καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, διασφαλίζοντας υψηλότερες ταχύτητες και σταθερότερες συνδέσεις. Παράλληλα, η αποδοτικότερη διαχείριση των δεδομένων το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για περιβάλλοντα με αυξημένη κίνηση, όπου η σταθερότητα και η ποιότητα της επικοινωνίας είναι κρίσιμη σημασία.

Η ανάπτυξη του HIPERLAN/2 αντικατοπτρίζει την ανάγκη για πιο ευέλικτες, αξιόπιστες και υψηλής ταχύτητας λύσεις στον τομέα των ασύρματων δικτύων. Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί μια από τις σημαντικότερες τεχνολογικές καινοτομίες της εποχής του, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση των μελλοντικών προτύπων ασύρματης επικοινωνίας και θέτοντας τις βάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη των δικτύων ευρείας ζώνης.

5.3.1 Τεχνικές προδιαγραφές

Το HIPERLAN/2 αποτελεί πρότυπο ασύρματης τοπικής επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από τον ETSI και λειτουργεί κυρίως στη ζώνη των 5 GHz. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε για να προσφέρει υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και αξιόπιστη επικοινωνία σε περιβάλλοντα με περιορισμένη εμβέλεια, όπως είναι τα ασύρματα δίκτυα τοπικής και μεσαίας εμβέλειας. Η επιλογή της ζώνης των 5 GHz, σε συνδυασμό με τους αυστηρούς κανονισμούς για την εκμετάλλευση του συγκεκριμένου φάσματος, διασφαλίζει τόσο την υψηλή απόδοση όσο και την αποφυγή παρεμβολών με άλλες υπηρεσίες.

Η τεχνολογία του HIPERLAN/2 στηρίζεται στην χρήση του OFDM, που επιτρέπει την αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων σε πολυκαναλικά περιβάλλοντα και παρέχει σημαντική ανθεκτικότητα έναντι των πολυπορεσμικών φαινομένων και άλλων παρεμβολών. Η μέθοδος αυτή συνδυάζεται με διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης, όπως η BPSK, η QPSK, η 16-QAM και η

64-QAM, επιτρέποντας την προσαρμογή της μετάδοσης ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού και τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Η χρήση κατάλληλων μηχανισμών κωδικοποίησης, όπως η συνελκτική κωδικοποίηση και η διασταυρωμένη αλληλοδιαπλοκή, συμβάλλει στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ποιότητας της μετάδοσης.

Στο επίπεδο πρόσβασης στο μέσο, το HIPERLAN/2 εφαρμόζει τεχνικές όπως το Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) σε συνδυασμό με μηχανισμούς κράτησης του καναλιού, προκειμένου να εξασφαλίσει την ομαλή διαχείριση της κυκλοφορίας και την επίτευξη ποιοτικών υπηρεσιών για εφαρμογές που απαιτούν εγγυημένη ποιότητα (QoS). Το σύστημα υποστηρίζει τόσο λειτουργία σε αρχιτεκτονική υποδομής με κεντρικό access point όσο και λειτουργία σε δομή ad-hoc, επιτρέποντας ευέλικτη και άμεση επικοινωνία μεταξύ των συσκευών. Η δυνατότητα προτεραιοποίησης της κυκλοφορίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογές real-time, όπως η φωνή και το βίντεο, όπου απαιτείται σταθερή και συνεπής μετάδοση δεδομένων.

Το μέγεθος του καναλιού στο HIPERLAN/2 ορίζεται συνήθως στα 20 MHz, αν και σε ορισμένες υλοποιήσεις μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις τοπικές ρυθμίσεις και τους κανονισμούς. Οι ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται από πολύ χαμηλές τιμές, που εξασφαλίζουν την αξιοπιστία σε δύσκολες συνθήκες, έως και υψηλές ταχύτητες, με τιμές που μπορεί να φτάσουν μέχρι και τα 54 Mbps. Σε περιβάλλοντα με ευθεία γραμμή, το σύστημα μπορεί να επιτύχει εμβέλεια έως και 150 μέτρα, ενώ σε περιπτώσεις με εμπόδια ή σε μη ευθεία γραμμή, η πρακτική εμβέλεια μειώνεται σημαντικά.

Η ανθεκτικότητα σε παρεμβολές και η αντιμετώπιση των πολυπορεσμικών φαινομένων αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του HIPERLAN/2, το οποίο υποστηρίζει τη μετάδοση δεδομένων ακόμα και σε περιβάλλοντα με έντονη ηλεκτρομαγνητική ρύπανση. Επιπρόσθετα, το πρότυπο περιλαμβάνει βασικούς μηχανισμούς ασφάλειας, που εξασφαλίζουν τον έλεγχο πρόσβασης και την προστασία της επικοινωνίας, ενώ σε μεταγενέστερες υλοποιήσεις μπορούν να ενσωματωθούν πιο εξελιγμένα πρωτόκολλα για την ενίσχυση της ασφάλειας των δεδομένων.

5.4 IEEE 802.11b

5.4.1 Επισκόπηση και ανάπτυξη

Το πρωτόκολλο 802.11b αποτέλεσε ένα σημαντικό ορόσημο στην ιστορία των ασύρματων δικτύων, εισάγοντας το Wi-Fi στην καθημερινή ζωή. Εγκρίθηκε το 1999 από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) ως επέκταση του αρχικού προτύπου 802.11. Οι βελτιώσεις του επικεντρώθηκαν στην αύξηση της ταχύτητας και την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων.

Το 802.11b λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz, η οποία χρησιμοποιείται και από άλλες ασύρματες συσκευές, της φούρνους μικροκυμάτων και Bluetooth. Παρά τον κίνδυνο

παρεμβολών, η επιλογή της συγκεκριμένης ζώνης έγινε επειδή είναι διαθέσιμη διεθνώς χωρίς την ανάγκη αδειοδότησης.

Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του 802.11b είναι η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η οποία φτάνει τα 11 Mbps, καθιστώντας το πιο γρήγορο από της προκατόχους του. Παρόλα αυτά, οι πραγματικές ταχύτητες κυμαίνονται μεταξύ 5-6 Mbps λόγω του πρωτοκόλλου διόρθωσης σφαλμάτων και της δικτυακής συμφόρησης. Επιπλέον, το 802.11b είναι πλήρως συμβατό με το αρχικό πρότυπο 802.11, εξασφαλίζοντας ομαλή μετάβαση για της υπάρχουσες εγκαταστάσεις.

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στο 802.11b βασίζεται στο Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), το οποίο επιτρέπει την ανθεκτικότητα της παρεμβολές και την καλύτερη απόδοση σε περιβάλλοντα με θόρυβο. Ειδικότερα, το DSSS κατανέμει τα δεδομένα σε της συχνότητες, μειώνοντας την πιθανότητα απώλειας πληροφοριών.

Η ανάπτυξη του 802.11b επικεντρώθηκε στην παροχή αξιόπιστης και ταχείας ασύρματης συνδεσιμότητας σε περιβάλλοντα της γραφεία, σπίτια και δημόσιοι χώροι. Το DSSS αποτέλεσε μια κρίσιμη καινοτομία, επιτρέποντας μεγαλύτερη απόσταση λειτουργίας και σταθερότητα σε σχέση με τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούσαν Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Αυτή η αλλαγή αύξησε την απόδοση και την ποιότητα της σύνδεσης, κάνοντάς την πιο πρακτική για καθημερινή χρήση.

Παράλληλα, το 802.11b υποστήριξε σημαντικά την ανάπτυξη τεχνολογίας Wi-Fi, επειδή ήταν το πρώτο πρότυπο που προσέφερε αρκετά υψηλές ταχύτητες σε προσιτό κόστος, διευκόλυνε τη μαζική υιοθέτηση του ασύρματου δικτύου από καταναλωτές και επιχειρήσεις. Επιπλέον, οι δυνατότητες διαχείρισης ασύρματων σημείων πρόσβασης (AP) βελτιώθηκαν σημαντικά, επιτρέποντας τη διασύνδεση πολλών χρηστών ταυτόχρονα.

Η επιτυχία του 802.11b οδήγησε στην καθιέρωση του Wi-Fi ως στάνταρ για ασύρματη συνδεσιμότητα, προετοιμάζοντας το έδαφος για τα πιο προηγμένα πρότυπα, της τα 802.11g και 802.11n, τα οποία προσφέρουν ακόμα υψηλότερες ταχύτητες και καλύτερη αξιοπιστία.

5.4.2 Τεχνικές προδιαγραφές

Το πρότυπο IEEE 802.11b, αποτέλεσε ένα από τα πρώτα σημαντικά βήματα στην εξέλιξη των ασύρματων δικτύων τοπικής πρόσβασης (WLAN). Σχεδιάστηκε για να προσφέρει αυξημένες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, μεγαλύτερη συμβατότητα και βασική ασφάλεια, καθιστώντας το ένα δημοφιλές πρότυπο για οικιακά και επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

Το 802.11b λειτουργεί στη μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz, που είναι διαθέσιμη παγκοσμίως. Ωστόσο, η χρήση της της ζώνης αυξάνει τον κίνδυνο παρεμβολών από της τεχνολογίες, της οι φούρνοι μικροκυμάτων, τα συστήματα Bluetooth και τα τηλέφωνα DECT. Παρά της παρεμβολές, το πρότυπο χρησιμοποιεί τη μέθοδο μετάδοσης Direct-Sequence

Spread Spectrum (DSSS) με Complementary Code Keying (CCK), βελτιώνοντας την αντοχή της παρεμβολές σε σύγκριση με παλαιότερες τεχνικές, της το Barker Code.

Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων φτάνει τα 11 Mbps, ενώ υποστηρίζονται και χαμηλότερες ταχύτητες (5.5, 2 και 1 Mbps). Η αυτόματη υποβάθμιση ταχύτητας διασφαλίζει τη σταθερότητα της σύνδεσης σε περιπτώσεις χαμηλής ισχύος σήματος ή αυξημένου θορύβου, προσφέροντας ανθεκτικότητα σε ποικίλα περιβάλλοντα λειτουργίας. Η διαμόρφωση δεδομένων βασίζεται στη μέθοδο Phase-Shift Keying (PSK), και ειδικότερα στο Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK), το οποίο μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα του φάσματος.

Ο έλεγχος της βασης στο τηςσο (MAC) πραγματοποιείται με τη χρήση της τεχνικής Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει της συσκευές να ελέγχουν εάν το μέσο είναι ελεύθερο πριν στείλουν δεδομένα, μειώνοντας την πιθανότητα συγκρούσεων. Επιπλέον, ενσωματώνεται βασικός μηχανισμός διόρθωσης σφαλμάτων μέσω Automatic Repeat Request (ARQ), που διασφαλίζει την αξιοπιστία της μετάδοσης, απαιτώντας την επανεκπομπή πακέτων όταν ανιχνεύονται σφάλματα.

Όσον αφορά την ασφάλεια, το 802.11b υποστηρίζει το Wired Equivalent Privacy (WEP) για την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Αν και για την εποχή του αποτελούσε σημαντική καινοτομία, έχει αποδειχθεί ευάλωτο σε επιθέσεις, γεγονός που οδήγησε στην αντικατάστασή του από ισχυρότερους μηχανισμούς ασφαλείας, της το WPA και το WPA2.

Η συμβατότητα του προτύπου 802.11b με το αρχικό πρότυπο 802.11 επέτρεψε την ανάπτυξη μικτών δικτύων, όπου συσκευές διαφορετικών ταχυτήτων μπορούσαν να συνεργαστούν χωρίς προβλήματα. Αυτή η δυνατότητα συνέβαλε στη σταδιακή υιοθέτηση των ασύρματων δικτύων από τον καταναλωτικό και επιχειρηματικό τομέα.

Η ακτίνα λειτουργίας του προτύπου επηρεάζεται από το περιβάλλον εγκατάστασης. Σε εξωτερικούς χώρους, η μέγιστη απόσταση φτάνει τα 100 μέτρα, ενώ σε εσωτερικούς χώρους, όπου υπάρχουν φυσικά εμπόδια της τοίχοι, περιορίζεται στα 30-50 μέτρα. Αυτές οι αποστάσεις είναι επαρκείς για της περισσότερες εφαρμογές μικρής κλίμακας, καθιστώντας το 802.11b δημοφιλές σε οικιακά και μικρούς επαγγελματικούς χώρους.

5.4.3 Εφαρμογές και χρήσεις

Το IEEE 802.11b σχεδιάζεται να καλύψει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, καθιστώντας την ασύρματη δικτύωση πιο διαθέσιμη και βιώσιμη για μια ποικιλία περιπτώσεων χρήσης. Οι αυξημένοι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων, η αξιόπιστη εκτέλεση και η ευρεία συμβατότητα οδήγησαν στην ευρεία υιοθέτησή του τόσο σε ιδιωτικά όσο και σε εμπορικά περιβάλλοντα.

Οικιακή δικτύωση: IEEE 802.11b έχει γίνει μια διαδεδομένη επιλογή για την οικιακή οργάνωση, καθώς επιτρέπει τη σύνδεση πολλαπλών συσκευών στο διαδίκτυο χωρίς να απαιτούνται φυσικά καλώδια. Αυτό ενθάρρυνε την αύξηση της οικιακής χρήσης του διαδικτύου,

των διαδικτυακών παιχνιδιών και της ροής πολυμέσων, παρέχοντας μια χρήσιμη και προσαρμόσιμη λύση για τον σύγχρονο ψηφιακό τρόπο ζωής.

Επιχειρηματικά δίκτυα: Σε εταιρικές καταστάσεις, το IEEE 802.11b έχει υιοθετηθεί ευρέως για την παροχή ασύρματης συνδεσιμότητας της υπαλλήλους, επιτρέποντας την απρόσκοπτη επικοινωνία και συνεργασία. Υποστηρίζοντας ταχύτερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και σταθερή εκτέλεση, το IEEE 802.11b είναι κατάλληλο για περιβάλλοντα γραφείων, αίθουσες συσκέψεων και χώρους συγκέντρωσης, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και την κινητικότητα.

Δημόσια δίκτυα πρόσβασης: Το IEEE 802.11b χρησιμοποιείται της σε ανοικτά συστήματα πρόσβασης, της αεροδρόμια, ξενοδοχεία, καφετέριες και συνεδριακά κέντρα, όπου η διευθέτηση ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Η ευρεία διαθεσιμότητα της ζώνης 2,4 GHz και η ισχυρή απόδοση του IEEE 802.11b το καθιστούν ιδανική λύση για τέτοια χώρους με υψηλή κίνηση πληροφορίας.

Εκπαίδευση και υγειονομική περίθαλψη: Τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης έχουν υιοθετήσει το IEEE 802.11b για να υποστηρίξουν της ανάγκες ασύρματης δικτύωσης, επιτρέποντας την ευέλικτη πρόσβαση σε πόρους, ψηφιακή μάθηση και ηλεκτρονικά αρχεία υγείας. Η προσαρμοστικότητα και η άνεση της ασύρματης συνδεσιμότητας έχει συμβάλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της εμπειρίας των χρηστών σε της της τομείς.

Καταναλωτικά ηλεκτρονικά προϊόντα: Η ευρεία συμβατότητα και η αξιόπιστη απόδοση του IEEE 802.11b το έχει καταστήσει τυπικό χαρακτηριστικό σε της συσκευές με δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης και η υιοθέτησή του στην αγορά καταναλωτικών ηλεκτρονικών διευκόλυνε την ανάπτυξη του οικοσυστήματος των συνδεδεμένων συσκευών.

Το IEEE 802.11b αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα ορόσημα στην εξέλιξη της ασύρματης δικτύωσης, θέτοντας τα θεμέλια για την ευρεία υιοθέτηση του Wi-Fi σε παγκόσμιο επίπεδο. Λειτουργώντας στην παγκόσμια διαθέσιμη ζώνη 2,4 GHz, προσέφερε ταχύτητες έως 11 Mbps, βελτιωμένη αξιοπιστία και ευρεία συμβατότητα με τα υπάρχοντα πρότυπα, καθιστώντας την ασύρματη δικτύωση προσιτή τόσο σε οικιακούς χρήστες όσο και σε επιχειρήσεις. Η χρήση προηγμένων τεχνικών διαμόρφωσης, μηχανισμών διόρθωσης σφαλμάτων και αποδοτικού ελέγχου πρόσβασης στα μέσα εξασφάλισε ισχυρές επιδόσεις και σταθερή συνδεσιμότητα, επιτρέποντας την απομακρυσμένη εργασία, τη δικτύωση μικρών επιχειρήσεων και τη σύνδεση φορητών συσκευών. Η επιτυχία του όχι μόνο έδωσε ώθηση στην οικογένεια προτύπων IEEE 802.11, αλλά και έθεσε της βάσεις για την επέκταση της ασύρματης συνδεσιμότητας παγκοσμίως, υπογραμμίζοντας τη σημασία της καινοτομίας και της συνεργασίας για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών επικοινωνίας.

5.5 IEEE 802.11a

5.5.1 Επισκόπηση και ανάπτυξη

Το IEEE 802.11a είναι μία από τις πρώτες επεκτάσεις του αρχικού προτύπου IEEE 802.11, που αναπτύχθηκε για να καλύψει την αυξανόμενη ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και βελτιωμένες επιδόσεις στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Εγκρίθηκε το 1999 και σχεδιάστηκε για να λειτουργεί στη ζώνη 5 GHz, προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στην ολόενα και πιο συμφορημένη ζώνη 2,4 GHz, που χρησιμοποιούσε το αρχικό πρότυπο IEEE 802.11.

Η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.11a καθοδηγήθηκε από σημαντικά κίνητρα. Πρώτον, υπήρχε μια ραγδαία αυξανόμενη ζήτηση για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων λόγω της εξάπλωσης διαδραστικών εφαρμογών πολυμέσων, όπως η κοινοποίηση βίντεο και τα διαδικτυακά παιχνίδια, τα οποία απαιτούσαν μεγαλύτερο εύρος ζώνης από αυτό που μπορούσε να παρέχει το πρότυπο IEEE 802.11b. Επιπλέον, η ζώνη των 2,4 GHz γινόταν όλο και πιο συμφωνημένη λόγω της παρουσίας πλήθους συσκευών, όπως ασύρματα τηλέφωνα, συσκευές Bluetooth και φούρνοι μικροκυμάτων, γεγονός που προκαλούσε παρεμβολές και υποβάθμιση της απόδοσης. Το IEEE 802.11a απέφυγε μεγάλο μέρος αυτών των προβλημάτων, λειτουργώντας στη ζώνη 5 GHz, εξασφαλίζοντας έτσι πιο αξιόπιστη ασύρματη συνδεσιμότητα.

Η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.11a πραγματοποιήθηκε από την επιστημονική ομάδα του IEEE 802.11, αποτελούμενη από ειδικούς διαφόρων βιομηχανικών κλάδων και ερευνητικών οργανισμών. Στόχος της ομάδας ήταν η δημιουργία ενός προτύπου που θα συνδύαζε προηγμένες τεχνικές διαμόρφωσης και διόρθωσης σφαλμάτων ώστε όχι μόνο να παρέχει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, αλλά και να βελτιώνει τη συνολική απόδοση και αξιοπιστία των WLAN. Το IEEE 802.11a αποτέλεσε ένα καθοριστικό βήμα προόδου στην τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης και έθεσε τα θεμέλια για την εξέλιξη της οικογένειας προτύπων IEEE 802.11.

5.5.2 Τεχνικές προδιαγραφές

Το πρότυπο IEEE 802.11a, που υιοθετήθηκε το 1999, αποτελεί μια σημαντική τροποποίηση του αρχικού προτύπου 802.11, εισάγοντας βελτιώσεις που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και μεγαλύτερη αξιοπιστία. Μία από τις βασικές καινοτομίες του ήταν η χρήση της τεχνολογίας ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (OFDM), η οποία διασφαλίζει αποτελεσματική μετάδοση σε περιβάλλοντα με πολλαπλές παρεμβολές και ανακλάσεις. Παράλληλα, το πρότυπο λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz, γεγονός που προσφέρει περισσότερα μη επικαλυπτόμενα κανάλια σε σύγκριση με τη ζώνη των 2,4 GHz, μειώνοντας έτσι τις παρεμβολές από άλλες συσκευές.

Το 802.11a υποστηρίζει έναν μέγιστο θεωρητικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 54 Mbit/s, προσφέροντας σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα προγενέστερα πρότυπα. Ωστόσο, στην πράξη, ο καθαρός ρυθμός μετάδοσης είναι μικρότερος, κυμαινόμενος περίπου στα 20 Mbit/s, λόγω της επιβάρυνσης που εισάγουν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και οι συνθήκες του δικτύου. Αυτή η ταχύτητα ήταν αρκετά ικανοποιητική για την εποχή, καθιστώντας το πρότυπο κατάλληλο για απαιτητικές εφαρμογές όπως η μεταφορά μεγάλων αρχείων και η ροή πολυμέσων.

Ωστόσο, η επιλογή της ζώνης των 5 GHz έχει και κάποιους περιορισμούς. Η εμβέλεια του 802.11a είναι μικρότερη σε σύγκριση με τα πρότυπα που λειτουργούν στα 2,4 GHz, όπως το 802.11b, επειδή οι υψηλότερες συχνότητες υφίστανται μεγαλύτερη εξασθένηση, ειδικά όταν το σήμα πρέπει να διαπεράσει εμπόδια, όπως τοίχους. Αν και αυτό περιορίζει τη χρήση του σε μεγαλύτερες αποστάσεις, η ζώνη των 5 GHz είναι ιδανική για χώρους με πυκνή δικτυακή δραστηριότητα, όπου η υψηλή απόδοση και η μείωση των παρεμβολών είναι απαραίτητες.

Στο πεδίο της συμβατότητας, το 802.11a δεν είναι συμβατό με τα πρότυπα 802.11b και 802.11g, καθώς λειτουργεί σε διαφορετική συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές 802.11a δεν μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας με συσκευές που υποστηρίζουν μόνο τα 802.11b/g, εκτός εάν χρησιμοποιούνται διπλής ζώνης (dual-band) σημεία πρόσβασης ή συσκευές που μπορούν να λειτουργούν τόσο στα 2,4 GHz όσο και στα 5 GHz. Η ανάγκη για διαλειτουργικότητα επιλύθηκε αργότερα με την εισαγωγή του 802.11n, το οποίο υποστηρίζει και τις δύο ζώνες συχνοτήτων, προσφέροντας έτσι συμβατότητα με παλαιότερες συσκευές.

Όσον αφορά την ποιότητα υπηρεσίας (QoS), το 802.11a δεν περιλάμβανε μηχανισμούς για την προτεραιοποίηση της κίνησης ή τη βελτιστοποίηση της απόδοσης για εφαρμογές όπως η φωνή και το βίντεο. Η υποστήριξη για QoS προστέθηκε αργότερα με το πρότυπο 802.11e, το οποίο εισήγαγε νέες λειτουργίες στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσου (MAC) για την εξυπηρέτηση εφαρμογών με απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο.

Συνολικά, το 802.11a αποτέλεσε μια τεχνολογική εξέλιξη που έθεσε τα θεμέλια για νεότερα και πιο ολοκληρωμένα πρότυπα. Παρά τους περιορισμούς του στην εμβέλεια και τη συμβατότητα, η χρήση του σε περιβάλλοντα με υψηλές απαιτήσεις και η δυνατότητα λειτουργίας στη ζώνη των 5 GHz το κατέστησαν σημαντικό για την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων.

5.5.3 Εφαρμογές και χρήσεις

Με βάση τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του στη ζώνη των 5 GHz και την ικανότητά του να προσφέρει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με μειωμένες παρεμβολές, το 802.11a αποδεικνύεται ιδανικό για διάφορες χρήσεις. Παρά την έλλειψη εγγενούς υποστήριξης για ποιότητα υπηρεσίας (QoS), η αποδοτικότητά του το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν ταχύτητα και αξιοπιστία.

Επιχειρηματικοί χώροι: Το 802.11a χρησιμοποιείται συχνά σε επιχειρήσεις όπου απαιτούνται υψηλές ταχύτητες και αξιοπιστία. Η ζώνη των 5 GHz προσφέρει περισσότερα μη επικαλυπτόμενα κανάλια, γεγονός που μειώνει τις παρεμβολές σε χώρους με πολλές ταυτόχρονες συνδέσεις. Έτσι, σε χώρους εργασίας με υψηλή πυκνότητα χρηστών, όπως γραφεία και συνεδριακά κέντρα, το 802.11a διασφαλίζει τη σταθερότητα και την αποδοτικότητα του δικτύου.

Ροή πολυμέσων (Media Streaming): Η δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων με θεωρητικούς ρυθμούς έως και 54 Mbps κάνει το 802.11a κατάλληλο για εφαρμογές ροής πολυμέσων, όπως η αναπαραγωγή βίντεο υψηλής ανάλυσης (HD) και η μετάδοση ήχου. Οι αυξημένοι ρυθμοί δεδομένων εξασφαλίζουν ομαλή εμπειρία, ειδικά σε περιβάλλοντα όπου απαιτείται συνεχής ροή χωρίς διακοπές. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το πρότυπο χρήσιμο σε σπίτια, εκδηλώσεις και εμπορικές εγκαταστάσεις.

Χώροι υψηλού αριθμού χρηστών: Σε περιοχές όπως τα πανεπιστήμια, τα εμπορικά κέντρα ή τα αεροδρόμια, όπου πολλοί χρήστες μοιράζονται το ίδιο δίκτυο, η λειτουργία του 802.11a στη ζώνη των 5 GHz είναι πλεονέκτημα. Η ύπαρξη περισσότερων καναλιών μειώνει τον κίνδυνο αλληλοεπικαλύψεων, βελτιώνοντας την απόδοση ακόμη και σε συνθήκες αυξημένης ζήτησης.

Υποστήριξη ασύρματων υποδομών: Το 802.11a χρησιμοποιείται επίσης για τη σύνδεση σημείων πρόσβασης (access points) σε ασύρματα δίκτυα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλό εύρος ζώνης και χαμηλή καθυστέρηση, όπως σε data centers και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η σταθερότητα της σύνδεσης σε περιορισμένα περιβάλλοντα το καθιστά προτιμώμενη λύση.

Περιορισμοί: Παρόλο που το 802.11a έχει πλεονεκτήματα, η μικρότερη εμβέλεια του σε σχέση με τα πρότυπα που λειτουργούν στη ζώνη των 2,4 GHz περιορίζει τη χρήση του σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, η έλλειψη εγγενούς υποστήριξης για QoS μπορεί να το καθιστά λιγότερο κατάλληλο για εφαρμογές φωνής ή βίντεο, όπου απαιτείται χαμηλή καθυστέρηση και σταθερότητα.

5.6 IEEE 802.11g

5.6.1 Επισκόπηση και ανάπτυξη

Η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.11g ήταν αποτέλεσμα της αυξανόμενης ανάγκης για ταχύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και βελτιωμένης απόδοσης στα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Η συνεχής ροή βίντεο και τα διαδικτυακά παιχνίδια, σε συνδυασμό με την ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση για αξιόπιστες και υψηλής ταχύτητας συνδέσεις στο διαδίκτυο, ανέδειξαν την επιτακτική ανάγκη για ένα πρότυπο που να ανταποκρίνεται σε αυτές τις απαιτήσεις.

Το IEEE 802.11a, που λειτουργεί στη ζώνη των 5 GHz, είχε αναπτυχθεί νωρίτερα για να καλύψει αυτές τις ανάγκες, προσφέροντας υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή του περιορίστηκε εξαιτίας του υψηλού κόστους του εξοπλισμού για τη ζώνη αυτή, καθώς και το να μην είναι συμβατό με το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο πρότυπο IEEE 802.11b.

Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, η ομάδα εργασίας IEEE 802.11 στόχευσε στη δημιουργία ενός νέου προτύπου που θα συνδύαζε τα πλεονεκτήματα των προτύπων IEEE 802.11b και IEEE 802.11a. Συγκεκριμένα, προσπάθησε να διατηρήσει τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης του IEEE 802.11a, ενώ ταυτόχρονα να λειτουργεί στη ζώνη των 2,4 GHz, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα με τις συσκευές του IEEE 802.11b. Αυτή η προσέγγιση έδωσε τη δυνατότητα στους χρήστες και στους παρόχους υπηρεσιών να περάσουν ομαλά σε ένα πιο αποδοτικό δίκτυο, αξιοποιώντας παράλληλα τον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό.

Το τελικό αποτέλεσμα ήταν το πρότυπο IEEE 802.11g, το οποίο συνδύασε επιτυχώς αυτά τα χαρακτηριστικά. Παρείχε ταχύτητες μετάδοσης έως 54 Mbps, δηλαδή σημαντικά υψηλότερες από τα 11 Mbps του IEEE 802.11b, ενώ παράλληλα λειτουργούσε στη ζώνη των 2,4 GHz, εξασφαλίζοντας συμβατότητα με τον υπάρχοντα εξοπλισμό. Η ευελιξία και οι επιδόσεις του το καθιέρωσαν ως ένα από τα πιο δημοφιλή και ευρέως χρησιμοποιούμενα πρότυπα, κατάλληλο για ποικίλες εφαρμογές και χώρους.

5.6.2 Τεχνικές προδιαγραφές

Το πρότυπο IEEE 802.11g, που εγκρίθηκε το 2003, αποτέλεσε μια σημαντική πρόοδο για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN), συνδυάζοντας τα πλεονεκτήματα των προτύπων 802.11a και 802.11b. Λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz και υποστηρίζει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως 54 Mbps, αξιοποιώντας τη μέθοδο διαμόρφωσης Ορθογώνιας Πολυπλεξίας Διαίρεσης Συχνοτήτων (OFDM). Αυτή η δυνατότητα το καθιστά συμβατό με το πρότυπο 802.11b, επιτρέποντας τη συνύπαρξη συσκευών και από τα δύο πρότυπα στο ίδιο δίκτυο, διευκολύνοντας την ομαλή μετάβαση σε βελτιωμένες ταχύτητες.

Η χρήση της διαμόρφωσης OFDM επιτρέπει στο 802.11g να επιτυγχάνει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης συγκριτικά με το 802.11b, το οποίο χρησιμοποιεί τη μέθοδο Διαμόρφωσης Κώδικα Συμπληρωματικού Κώδικα (CCK). Επιπλέον, το 802.11g υποστηρίζει πολλαπλούς ρυθμούς μετάδοσης, όπως 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 και 54 Mbps, παρέχοντας ευελιξία στις συνθήκες του δικτύου.

Για τη διαχείριση της πρόσβασης στο μέσο (MAC), το 802.11g χρησιμοποιεί την Κατανεμημένη Λειτουργία Συντονισμού (DCF), η οποία βασίζεται στο πρωτόκολλο Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). Αυτή η τεχνική εξασφαλίζει ότι οι σταθμοί ελέγχουν το κανάλι πριν από τη μετάδοση, μειώνοντας τις πιθανότητες σύγκρουσης. Επιπλέον, το πρότυπο υποστηρίζει την Προαιρετική Λειτουργία Συντονισμού (PCF) για εφαρμογές που απαιτούν εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS).

Λόγω της λειτουργίας του στη ζώνη των 2,4 GHz, το IEEE 802.11g έχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνει μεγαλύτερες αποστάσεις σε σύγκριση με πρότυπα που λειτουργούν στη ζώνη των 5 GHz, όπως το 802.11a. Τα σήματα στις χαμηλότερες συχνότητες, όπως τα 2,4 GHz, διαπερνούν εμπόδια όπως τοίχους και έπιπλα πιο αποτελεσματικά και παρουσιάζουν μικρότερη εξασθένηση κατά τη διάδοσή τους.

Υπό ιδανικές συνθήκες, όπου δεν υπάρχουν παρεμβολές ή φυσικά εμπόδια, το πρότυπο μπορεί να επιτύχει μέγιστη απόσταση έως 100 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους και περίπου 300 μέτρα σε εξωτερικούς χώρους. Αυτές οι αποστάσεις επηρεάζονται από την ισχύ του εξοπλισμού, το περιβάλλον και τη φυσική απόσβεση του σήματος.

Σε πρακτικές συνθήκες, όπου υπάρχουν παρεμβολές από άλλες συσκευές στη ζώνη των 2,4 GHz ή εμπόδια που προκαλούν απώλειες σήματος, η απόσταση μειώνεται. Στους εσωτερικούς χώρους, η τυπική εμβέλεια του IEEE 802.11g κυμαίνεται γύρω στα 30-50 μέτρα, ενώ σε εξωτερικούς χώρους μπορεί να φτάσει τα 100-150 μέτρα. Οι πραγματικές αποστάσεις εξαρτώνται επίσης από την ποιότητα του δρομολογητή και των συσκευών που χρησιμοποιούνται.

Παρόλο που η συμβατότητα με το 802.11b αποτελεί ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του 802.11g, η συνύπαρξη συσκευών και από τα δύο πρότυπα στο ίδιο δίκτυο μπορεί να επηρεάσει την απόδοση. Συγκεκριμένα, η παρουσία συσκευών 802.11b μειώνει τη συνολική ταχύτητα του δικτύου, καθώς το δίκτυο προσαρμόζεται στις χαμηλότερες δυνατότητες αυτών των συσκευών. Ωστόσο, η ισχυρή υποστήριξη για διαφορετικές συσκευές και η αυξημένη απόδοση κατέστησαν το 802.11g ένα ευρέως αποδεκτό πρότυπο για ποικίλες εφαρμογές.

5.6.3 Εφαρμογές και χρήσεις

Οι χρήσεις και οι εφαρμογές του προτύπου 802.11g παρέμειναν ουσιαστικά ίδιες με εκείνες του προγενέστερου 802.11b. Και τα δύο πρότυπα εξυπηρετούν τις ίδιες ανάγκες, όπως η ασύρματη σύνδεση συσκευών σε δίκτυα για περιήγηση στο διαδίκτυο, μεταφορά δεδομένων, και υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων.

Η διαφορά, ωστόσο, έγκειται στη βελτιωμένη εμπειρία χρήσης. Με ταχύτητες που φτάνουν τα 54 Mbps—σε αντίθεση με τα 11 Mbps του 802.11b—το 802.11g έκανε τη χρήση πιο αποδοτική και ευέλικτη, ειδικά σε περιβάλλοντα που απαιτούσαν μεγαλύτερο εύρος ζώνης, όπως ροή βίντεο ή μεταφορά αρχείων υψηλής ανάλυσης. Με αυτόν τον τρόπο, το 802.11g ενίσχυσε τις ίδιες εφαρμογές, καθιστώντας τις πιο λειτουργικές και γρήγορες, χωρίς την ανάγκη αλλαγής στον τρόπο χρήσης τους.

5.7 IEEE 802.11n

5.7.1 Επισκόπηση και ανάπτυξη

Το πρότυπο IEEE 802.11n, που εγκρίθηκε το 2009, έφερε τεράστιες βελτιώσεις στην ταχύτητα, την εμβέλεια και την αξιοπιστία των ασύρματων δικτύων, ανταποκρινόμενο στις αυξανόμενες ανάγκες μεταφοράς δεδομένων. Συγκριτικά με προηγούμενα πρότυπα, όπως το 802.11a και το 802.11g, που προσέφεραν μέγιστες ταχύτητες 54 Mbps, το 802.11n θεωρητικά έφτασε στα 600 Mbps. Σχεδιάστηκε για απαιτητικές εφαρμογές όπως ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας, διαδικτυακά παιχνίδια και τηλεδιασκέψεις, καθιστώντας το μια ισχυρή επιλογή για ασύρματη δικτύωση.

Η ανάπτυξη του διήρκεσε αρκετά χρόνια, με τη συμβολή εταιρειών τεχνολογίας και ερευνητικών φορέων υπό την επίβλεψη της IEEE. Πριν την επίσημη επικύρωση, κυκλοφόρησαν στην αγορά προϊόντα βασισμένα στις πρώιμες εκδόσεις "Draft N", διευκολύνοντας τη δοκιμή και την υιοθέτηση της τεχνολογίας. Το πρότυπο 802.11n έγινε γρήγορα δημοφιλές σε καταναλωτικές συσκευές, όπως δρομολογητές και φορητούς υπολογιστές, προωθώντας τη μετάβαση σε ασύρματα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων.

Μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες του ήταν η τεχνολογία MIMO (Multiple Input Multiple Output), η οποία αύξησε την αποδοτικότητα του φάσματος με τη χρήση πολλαπλών κεραιών για μετάδοση και λήψη δεδομένων. Έτσι, επέτρεψε τη μετάδοση πολλών πακέτων ταυτόχρονα, βελτιώνοντας την ταχύτητα και την αξιοπιστία, ακόμα και σε περιβάλλοντα με εμπόδια, όπως τοίχους και έπιπλα.

Το πρότυπο, πέρα από τις καινοτομίες του, ενσωμάτωσε τη δυνατότητα χρήσης καναλιών εύρους 40 MHz, διπλασιάζοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε σχέση με τα παλαιότερα πρότυπα που χρησιμοποιούσαν 20 MHz. Αυτή η εξέλιξη αύξησε κατακόρυφα τις ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, ιδίως στη ζώνη των 5 GHz, που χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες παρεμβολές από άλλες συσκευές. Παράλληλα, με την υποστήριξη δύο ζωνών συχνοτήτων, των 2,4 GHz και 5 GHz, οι χρήστες απέκτησαν μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή του δικτύου, ανάλογα με τις απαιτήσεις και το περιβάλλον τους.

Μια ακόμη σημαντική καινοτομία ήταν η τεχνική aggregation, η οποία συνδύαζε πολλά μικρά πακέτα δεδομένων σε ένα μεγαλύτερο, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα στη χρήση του εύρους ζώνης. Συνδυαστικά με προηγμένες τεχνικές κωδικοποίησης όπως το LDPC (Low-Density Parity Check), το πρότυπο 802.11n εξασφάλιζε βελτιωμένη ακρίβεια και αξιοπιστία στη μετάδοση δεδομένων, ακόμα και σε περιβάλλοντα με πολλές προκλήσεις.

Συνολικά, το 802.11n αποτέλεσε ορόσημο για την τεχνολογία Wi-Fi, προσφέροντας αναβαθμισμένες δυνατότητες που κάλυψαν τις ανάγκες τόσο των καταναλωτών όσο και των επιχειρήσεων. Η γρήγορη υιοθέτηση του προτύπου έθεσε τις βάσεις για τη μετάβαση σε δίκτυα

υψηλών ταχυτήτων, ενώ ταυτόχρονα προετοίμασε το έδαφος για την ανάπτυξη νεότερων προτύπων, όπως το 802.11ac.

5.7.2 Τεχνικές προδιαγραφές

Το πρότυπο IEEE 802.11n εισήγαγε μια σειρά από τεχνικές βελτιώσεις που το καθιστούν σημαντική αναβάθμιση σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα Wi-Fi, όπως τα 802.11a και 802.11g.

Μία από τις κύριες αναβαθμίσεις του 802.11n είναι η αύξηση της ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων. Το πρότυπο υποστηρίζει θεωρητικές ταχύτητες έως και 600 Mbps, πολύ υψηλότερες από τα 54 Mbps που προσέφεραν τα 802.11a/g. Αυτή η βελτίωση επιτεύχθηκε μέσω της τεχνολογίας MIMO (Multiple Input Multiple Output), που επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών κεραιών για ταυτόχρονη αποστολή και λήψη δεδομένων. Συγκεκριμένα, το 802.11n υποστηρίζει έως και 4x4 MIMO, δηλαδή 4 κεραιές αποστολής και 4 λήψης. Κάθε κεραία μπορεί να μεταφέρει διαφορετικά πακέτα δεδομένων, πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα μετάδοσης. Αυτό αυξάνει τη χωρητικότητα και μειώνει τις παρεμβολές από ανάκλαση ή διάθλαση του σήματος.

Επιπλέον, το πρότυπο 802.11n εισήγαγε κανάλια εύρους 40 MHz, διπλάσια από το παραδοσιακό εύρος των 20 MHz. Τα ευρύτερα κανάλια σημαίνουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και ταχύτερη μεταφορά δεδομένων, μεταφέροντας περισσότερες πληροφορίες ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η βελτίωση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη ζώνη των 5 GHz, όπου υπάρχει μικρότερη παρεμβολή. Το πρότυπο μπορεί επίσης να υποστηρίξει έως και 4 χωρικά ρεύματα και έναν αριθμό από κεραιές MIMO που εργάζονται για την ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων. Κάθε ρεύμα μπορεί να διαχειριστεί δεδομένα με ταχύτητα έως 150 Mbps, φτάνοντας συνολικά τα 600 Mbps.

Το πρότυπο 802.11n μπορεί να λειτουργεί τόσο στη ζώνη των 2,4 GHz όσο και στη ζώνη των 5 GHz, προσφέροντας ευελιξία και βελτιωμένη απόδοση. Η ζώνη των 2,4 GHz εξασφαλίζει μεγαλύτερη εμβέλεια, ενώ η ζώνη των 5 GHz παρέχει υψηλότερες ταχύτητες με λιγότερες παρεμβολές. Η βασική καινοτομία του 802.11n είναι η τεχνολογία MIMO, που αποτελεί τη βάση για τη μετάδοση υψηλής απόδοσης.

Το πρότυπο εισήγαγε εξελιγμένες τεχνικές κωδικοποίησης και διαμόρφωσης, όπως την τεχνική OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), η οποία βελτιώνει την αντοχή στις παρεμβολές μέσω της ταυτόχρονης μετάδοσης δεδομένων σε πολλαπλές υποσυχνότητες. Επιπλέον, περιλαμβάνει τη μέθοδο LDPC (Low-Density Parity Check), μια προηγμένη τεχνική διόρθωσης σφαλμάτων που μειώνει την απώλεια δεδομένων, ακόμη και σε περιβάλλοντα με έντονο θόρυβο.

Το 802.11n σχεδιάστηκε για να είναι συμβατό με τα παλαιότερα πρότυπα 802.11a/b/g. Έτσι, συσκευές παλαιότερης τεχνολογίας μπορούν να λειτουργούν ομαλά σε δίκτυα 802.11n, αν και με χαμηλότερες ταχύτητες, διευκολύνοντας την υιοθέτηση του προτύπου χωρίς την ανάγκη

άμεσης αντικατάστασης παλαιών συσκευών. Το 802.11n καθόρισε ένα νέο επίπεδο για τα ασύρματα δίκτυα Wi-Fi, εισάγοντας τεχνολογίες που αύξησαν δραματικά την ταχύτητα, τη σταθερότητα και την εμβέλεια των δικτύων. Οι καινοτομίες όπως το MIMO, τα κανάλια 40 MHz, η διπλή ζώνη συχνοτήτων και οι εξελιγμένες τεχνικές κωδικοποίησης το καθιστούν ένα από τα πιο επιτυχημένα πρότυπα στην ιστορία της ασύρματης δικτύωσης.

5.7.3 Εφαρμογές και χρήσεις

Με την αύξηση του αριθμού των συσκευών που έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο, όπως τα smartphones, οι έξυπνες τηλεοράσεις και οι φορητοί υπολογιστές, το 802.11n παρέχει την ταχύτητα και την αξιοπιστία που εξασφαλίζουν μια ομαλή εμπειρία χρήσης.

Είναι επίσης ιδιαίτερα επωφελές για επιχειρήσεις. Οι επιχειρήσεις μπορούν να επωφεληθούν από την αυξημένη ταχύτητα και την πολύ πιο αξιόπιστη φύση του για να επιτρέψουν στους εργαζομένους να μοιράζονται δεδομένα μεταξύ τους και να εκτελούν απαιτητικές εφαρμογές, όπως η βιντεοδιάσκεψη σε HD. Επιπλέον, η σταθερότητα του δικτύου και η δυνατότητα διαχείρισης πολλών συνδέσεων επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να λειτουργούν και να παραμένουν παραγωγικές ακόμα και όταν ο όγκος δεδομένων είναι υψηλός.

Στον τομέα της εκπαίδευσης, το πρότυπο 802.11n έχει γίνει αναπόσπαστο εργαλείο για τα σχολεία και τα πανεπιστήμια. Η ασύρματη συνδεσιμότητα επιτρέπει στους φοιτητές και το διδακτικό προσωπικό να έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρονικούς πόρους, πλατφόρμες ηλεκτρονικής μάθησης και εκπαιδευτικά υλικά σε πραγματικό χρόνο. Ειδικά σε πανεπιστήμια με εκτεταμένους χώρους και υψηλή πυκνότητα χρηστών, η βελτιωμένη εμβέλεια και απόδοση του 802.11n παρέχει την απαραίτητη υποδομή για να καλυφθούν οι απαιτήσεις όλων των χρηστών.

Σε δημόσιους χώρους, όπως καφετέριες, ξενοδοχεία και αεροδρόμια, το 802.11n διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην παροχή αξιόπιστης και ταχείας σύνδεσης για τους επισκέπτες. Η αυξημένη ταχύτητα του προτύπου εξασφαλίζει ότι οι χρήστες μπορούν να περιηγούνται στο διαδίκτυο, να εργάζονται απομακρυσμένα ή να παρακολουθούν πολυμέσα χωρίς διακοπές. Η δυνατότητα υποστήριξης πολλαπλών συνδέσεων είναι κρίσιμη σε περιβάλλοντα όπου πολλοί χρήστες συνδέονται ταυτόχρονα, όπως στα αεροδρόμια.

Στις βιομηχανικές εφαρμογές, το 802.11n αξιοποιείται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο μέσω της ασύρματης σύνδεσης αισθητήρων, μηχανών και συσκευών. Η σταθερότητα του δικτύου είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας των βιομηχανικών συστημάτων, ειδικά σε περιβάλλοντα που απαιτούν συνεχή ροή δεδομένων και αξιόπιστη επικοινωνία.

Το 802.11n συνέβαλε καθοριστικά στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών, καθιστώντας τις πιο ευέλικτες, αποδοτικές και αξιόπιστες. Οι εξαιρετικές του δυνατότητες το καθιστούν κατάλληλο για πολλές εφαρμογές, είτε στην καθημερινή ζωή είτε σε επαγγελματικά ή

βιομηχανικά περιβάλλοντα. Ως εκ τούτου, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως, παρά την εμφάνιση νεότερων προτύπων Wi-Fi.

5.8 IEEE 802.11ac

5.8.3 Επισκόπηση και ανάπτυξη

Το πρότυπο 802.11ac, γνωστό και ως "Gigabit Wi-Fi", αντιπροσωπεύει μία από τις πιο σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία ασύρματων δικτύων. Αναπτύχθηκε με κύριο στόχο την αύξηση των ταχυτήτων και της αποδοτικότητας των δικτύων Wi-Fi. Η εξέλιξή του ξεκίνησε το 2007 από την ομάδα εργασίας Task Group ac (TGac) του IEEE 802.11, με στόχο την επίτευξη πολύ υψηλών ταχυτήτων (Very High Throughput - VHT), ξεπερνώντας τους περιορισμούς της προηγούμενης τεχνολογίας 802.11n.

Η ανάπτυξη βασίστηκε στην αυξανόμενη ανάγκη για ταχύτερες συνδέσεις και μεγαλύτερη χωρητικότητα, ιδίως για απαιτητικές εφαρμογές όπως streaming υψηλής ευκρίνειας και online gaming. Στόχος του 802.11ac ήταν να προσφέρει ταχύτητες Gigabit και να εξαλείψει τη συμφόρηση μέσω βελτιστοποίησης του φάσματος στα 5 GHz.

Εύρη Καναλιών: Το πρότυπο εισήγαγε νέα εύρη καναλιών 80 MHz και 160 MHz, τα οποία διπλασιάζουν και τετραπλασιάζουν, αντίστοιχα, το εύρος καναλιού 40 MHz του 802.11n. Η μέγιστη χωρητικότητα επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός καναλιού 160 MHz ή δύο μη συνεχόμενων καναλιών 80+80 MHz.

256-QAM Διαμόρφωση: Η διαμόρφωση 256-QAM αυξάνει την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων κατά 33%, επιτρέποντας τη μετάδοση 8 bits ανά σύμβολο, σε σύγκριση με τα 6 bits του 64-QAM που χρησιμοποιούσε το 802.11n. Αυτή η βελτίωση απαιτεί καθαρό φάσμα και υψηλό λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR).

Multi-User MIMO (MU-MIMO): Η τεχνολογία MU-MIMO επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων σε πολλούς χρήστες μέσω beamforming, δηλαδή κατευθύνοντας την ενέργεια της μετάδοσης σε συγκεκριμένους δέκτες. Αυτή η τεχνολογία ενισχύει την αποδοτικότητα του δικτύου, ιδίως σε περιβάλλοντα υψηλής πυκνότητας, όπως γραφεία ή αεροδρόμια.

Περιορισμός στο Φάσμα των 5 GHz: Το πρότυπο λειτουργεί αποκλειστικά στο φάσμα των 5 GHz, αποφεύγοντας τη συμφόρηση που παρατηρείται συχνά στα 2.4 GHz. Το καθαρότερο φάσμα των 5 GHz επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το 256-QAM και τα ευρύτερα κανάλια 160 MHz, ενώ παράλληλα προστατεύεται από ρυθμιστικούς περιορισμούς, μειώνοντας τις παρεμβολές.

Wave 1: Υποστήριζε κανάλια έως 80 MHz, με ταχύτητες έως 1.3 Gbps χρησιμοποιώντας τρεις spatial streams.

Wave 2: Εισήγαγε την τεχνολογία MU-MIMO και κανάλια 160 MHz, επιτυγχάνοντας ταχύτητες έως 2.6 Gbps. Υποστήριξε περισσότερους spatial streams και βελτίωσε την αποδοτικότητα.

Το 802.11ac επανάστησε στην τεχνολογία Wi-Fi, επιτρέποντας την εξυπηρέτηση χρηστών με υψηλές απαιτήσεις ταχύτητας και ποιότητας υπηρεσιών. Οι καινοτομίες του αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη προτύπων όπως το 802.11ax, που επιδιώκει ακόμη υψηλότερες ταχύτητες και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.

5.8.2 Τεχνικές Προδιαγραφές

Το πρότυπο 802.11ac εισάγει σημαντικές τεχνολογικές βελτιώσεις που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των σύγχρονων δικτύων, ενισχύοντας την ταχύτητα και την αποδοτική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η χρήση της ζώνης συχνοτήτων 5 GHz, που εξασφαλίζει καθαρότερο φάσμα και μειωμένες παρεμβολές σε σύγκριση με τη ζώνη 2.4 GHz. Επιπλέον, η υποστήριξη εύρους καναλιών έως 160 MHz επιτρέπει υψηλότερες ταχύτητες και μεγαλύτερη χωρητικότητα, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές όπως το streaming υψηλής ευκρίνειας και το online gaming.

Το πρότυπο υποστηρίζει έως και 8 spatial streams, ενισχύοντας τη συνολική ταχύτητα του δικτύου και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της μετάδοσης δεδομένων. Κάθε spatial stream αντιπροσωπεύει μια ξεχωριστή ροή δεδομένων που μεταδίδεται μέσω διαφορετικών κεραιών, επιτρέποντας την παράλληλη διαχείριση μεγάλων όγκων πληροφορίας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο δίκτυο να ανταποκρίνεται πιο αποτελεσματικά στις αυξημένες απαιτήσεις των σύγχρονων εφαρμογών.

Η τεχνολογία Beamforming αποτελεί μία από τις πιο καινοτόμες λειτουργίες του 802.11ac. Μέσω αυτής, το σήμα εστιάζεται προς την κατεύθυνση της συσκευής-παραλήπτη, διασφαλίζοντας βελτιωμένη ποιότητα σύνδεσης και αυξημένη εμβέλεια. Επιπλέον, η κατευθυντική μετάδοση μειώνει τις παρεμβολές, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα και απόδοση στο δίκτυο.

6. Περιγραφή επικοινωνίας στο φυσικό επίπεδο: Ραδιοκύματα και υπέρυθρη μετάδοση

Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει πλήθος τεχνολογιών που αξιοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τη μετάδοση πληροφοριών. Δύο βασικές τεχνικές είναι η χρήση ραδιοκυμάτων και υπέρυθρων ακτίνων, κάθε μία με ξεχωριστά πλεονεκτήματα και εξειδικευμένες εφαρμογές, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος επικοινωνίας. Η εις βάθος γνώση αυτών των μεθόδων είναι κρίσιμη για μηχανικούς, ερευνητές και επαγγελματίες σε τομείς όπως οι τηλεπικοινωνίες, η δικτύωση, η αεροδιαστημική και τα ηλεκτρονικά ευρείας χρήσης.

6.1 Επισκόπηση της επικοινωνίας σε φυσικό επίπεδο

Η επικοινωνία στο φυσικό επίπεδο αφορά τη μετάδοση σημάτων μέσω της διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στον χώρο και στα διάφορα μέσα, μεταφέροντας δεδομένα που κωδικοποιούνται μέσω παραμέτρων όπως η συχνότητα, το πλάτος και η φάση. Το φυσικό επίπεδο καλύπτει ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, ξεκινώντας από τα ραδιοκύματα εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF) έως τα υπέρυθρα κύματα υψηλής συχνότητας. Διάφορες τεχνολογίες αξιοποιούν αυτό το φάσμα, προσαρμοσμένες στις ανάγκες που σχετίζονται με το εύρος μετάδοσης, την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, την ενεργειακή αποδοτικότητα και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τα ραδιοκύματα και οι υπέρυθρες ακτίνες αποτελούν δύο βασικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που χρησιμοποιούνται ευρέως στις ασύρματες επικοινωνίες. Τα ραδιοκύματα, με συχνότητες που κυμαίνονται από μερικά hertz έως αρκετά gigahertz, είναι ιδανικά για επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων, ραδιοφωνικές μεταδόσεις, κινητές επικοινωνίες και ασύρματα δίκτυα. Από την άλλη, η υπέρυθρη ακτινοβολία, που λειτουργεί σε συχνότητες από εκατοντάδες gigahertz έως terahertz, χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μικρής εμβέλειας, τηλεχειριστήρια, μετάδοση δεδομένων και οπτικά συστήματα επικοινωνίας.

6.1.1 Σημασία της κατανόησης των διαφόρων τεχνικών μετάδοσης

Η κατανόηση των διαφορετικών τεχνικών μετάδοσης είναι κρίσιμη, καθώς χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές και κάθε μία διαθέτει ξεχωριστές δυνατότητες. Οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές οφείλουν να επιλέγουν την κατάλληλη τεχνολογία βάσει παραγόντων όπως η απαιτούμενη απόσταση μετάδοσης, η αποδοτικότητα δεδομένων, η ενεργειακή κατανάλωση, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και οι κανονιστικές απαιτήσεις.

Για παράδειγμα, τα ραδιοκύματα είναι κατάλληλα για μεγάλες αποστάσεις και μπορούν να παρακάμπτουν εμπόδια, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές όπως τα παγκόσμια συστήματα επικοινωνίας (π.χ. κυβελοειδή δίκτυα, δορυφορικές επικοινωνίες), οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές, καθώς και τα ασύρματα δίκτυα (π.χ. Wi-Fi, Bluetooth). Η κατανόηση των μορφών διάδοσης ραδιοκυμάτων, όπως τα επίγεια κύματα, τα ουράνια κύματα και τα κύματα οπτικής επαφής, δίνει τη δυνατότητα στους μηχανικούς να βελτιστοποιούν την κάλυψη, να μειώνουν τις παρεμβολές και να διασφαλίζουν αξιόπιστη επικοινωνία σε διαφορετικές συνθήκες.

Από την άλλη, η υπέρυθη μετάδοση προτιμάται συνήθως για επικοινωνία μικρής εμβέλειας σε περιβάλλοντα οπτικής επαφής. Αυτή η τεχνολογία προσφέρει πλεονεκτήματα όπως υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και αντοχή στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές όπως τηλεχειριστήρια, μετάδοση δεδομένων μικρής απόστασης (π.χ. μεταξύ κοντινών συσκευών) και οπτικές συνδέσεις επικοινωνίας. Ωστόσο, η κατανόηση των περιορισμών της, όπως η ευαισθησία σε εμπόδια και περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη ακεραιότητα του σήματος, επιτρέπει στους μηχανικούς να σχεδιάζουν ανθεκτικά συστήματα και να εφαρμόζουν αποτελεσματικές λύσεις αντιμετώπισης.

Η κατανόηση των λεπτομερειών τόσο της ραδιοφωνικής όσο και της υπέρυθρης μετάδοσης προάγει τη συνεργασία και την καινοτομία. Οι ερευνητές μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες κάθε τεχνολογίας για τη δημιουργία υβριδικών συστημάτων και νέων εφαρμογών που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα και των δύο. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση της υπέρυθρης επικοινωνίας σε ένα μεγαλύτερο ραδιοδίκτυο για ανταλλαγή δεδομένων μικρής εμβέλειας μπορεί να ενισχύσει την απόδοση και την αποδοτικότητα του συστήματος.

Συμπερασματικά, η μελέτη της ραδιοφωνικής και της υπέρυθρης μετάδοσης αποτελεί θεμέλιο για την εξέλιξη των ασύρματων τεχνολογιών και την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών της σύγχρονης κοινωνίας. Με την εις βάθος ανάλυση των χαρακτηριστικών, των εφαρμογών και των αλληλεπιδράσεών τους στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, οι ειδικοί μπορούν να μειώσουν την τεχνική πολυπλοκότητα, να βελτιώσουν τον σχεδιασμό συστημάτων και να προωθήσουν την καινοτομία στα ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα.

6.2 Μετάδοση ραδιοκυμάτων

6.2.1 Ζώνες επανάληψης και εφαρμογές

Τα ραδιοκύματα κατατάσσονται σε διάφορες ζώνες συχνότητας, καθεμία από τις οποίες έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και εξειδικευμένες εφαρμογές. Στη χαμηλή συχνότητα (LF), που εκτείνεται από 30 έως 300 kHz, τα κύματα έχουν μεγάλα μήκη κύματος και χρησιμοποιούνται κυρίως για επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας και χαμηλού εύρους ζώνης, όπως στη ναυτιλία και

τη ραδιοπλοήγηση. Τα κύματα LF ακολουθούν την επιφάνεια της γης, διευκολύνοντας την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.

Η μέση συχνότητα (MF), από 300 kHz έως 3 MHz, επιτρέπει τη μετάδοση σημάτων που μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις πάνω από την επιφάνεια της γης ή να ανακλαστούν από την ιονόσφαιρα, όπως συμβαίνει στο ραδιόφωνο AM. Στη ζώνη υψηλής συχνότητας (HF), που εκτείνεται από 3 έως 30 MHz, τα σήματα ανακλώνται από την ιονόσφαιρα, καθιστώντας τα ιδανικά για παγκόσμιες επικοινωνίες χωρίς οπτική επαφή, όπως στις στρατιωτικές και ερασιτεχνικές επικοινωνίες.

Στην πολύ υψηλή συχνότητα (VHF), από 30 έως 300 MHz, τα κύματα μεταδίδονται με γραμμή οπτικής επαφής, περιορίζοντας την εμβέλειά τους, αλλά παρέχοντας καθαρές επικοινωνίες σε εφαρμογές όπως το ραδιόφωνο FM, οι τηλεοπτικές εκπομπές και η αεροπορική επικοινωνία. Στη ζώνη υπερυψηλής συχνότητας (UHF), από 300 MHz έως 3 GHz, τα κύματα είναι κατάλληλα για ευρυζωνικές εφαρμογές, όπως τα κινητά τηλέφωνα, το Wi-Fi και οι τηλεοπτικές εκπομπές, αν και είναι πιο ευαίσθητα στην αποδυνάμωση από φυσικά εμπόδια.

Η σούπερ υψηλή συχνότητα (SHF), που κυμαίνεται από 3 έως 30 GHz, χρησιμοποιείται για εφαρμογές όπως οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ραντάρ και οι μικροκυματικές συνδέσεις. Τα κύματα στη ζώνη αυτή είναι βαθιά κατευθυντικά και ιδανικά για μετάδοση υψηλών ρυθμών δεδομένων, απαιτώντας όμως οπτική επαφή. Στην εξαιρετικά υψηλή συχνότητα (EHF), που καλύπτει το εύρος από 30 έως 300 GHz, τα κύματα υποστηρίζουν προηγμένες εφαρμογές όπως τα στρατιωτικά ραντάρ και τα συστήματα χιλιοστομετρικών κυμάτων. Παρά τη δυνατότητά τους για πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις κλιματικές συνθήκες.

Κάθε ζώνη συχνοτήτων εξυπηρετεί διαφορετικούς σκοπούς, με τα χαρακτηριστικά τους να καθορίζουν την καταλληλότητά τους για συγκεκριμένες εφαρμογές, από επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας μέχρι εξαιρετικά γρήγορες και εξειδικευμένες μεταδόσεις δεδομένων.

6.2.2 Καινοτομία προσαρμογής

Η κωδικοποίηση δεδομένων στα ραδιοκύματα είναι θεμελιώδους σημασίας, καθώς επιτρέπει τη μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις. Υπάρχουν τρεις κύριες αναλογικές στρατηγικές διαμόρφωσης: διαμόρφωση πλάτους (AM), διαμόρφωση συχνότητας (FM) και διαμόρφωση φάσης (PM). Καθεμία από αυτές έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και εφαρμογές.

Στη διαμόρφωση πλάτους (AM), τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω αλλαγών στο πλάτος του φέροντος κύματος, ενώ η συχνότητα και η φάση παραμένουν σταθερές. Αυτή η στρατηγική χρησιμοποιείται ευρέως στις ραδιοφωνικές εκπομπές AM και προσφέρει το πλεονέκτημα της απλότητας και της αποδοτικής λειτουργίας μεταξύ πομπού και δέκτη. Από την άλλη πλευρά, η διαμόρφωση συχνότητας (FM) κωδικοποιεί δεδομένα τροποποιώντας τη συχνότητα του φέροντος κύματος. Το FM είναι λιγότερο ευάλωτο στον θόρυβο και χρησιμοποιείται συχνά στα

φορητά ραδιόφωνα FM. Η διαμόρφωση φάσης (PM), αν και λιγότερο διαδεδομένη από την AM και την FM, επιτρέπει πιο προηγμένες στρατηγικές διαμόρφωσης, προσφέροντας υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος.

Οι ψηφιακές στρατηγικές διαμόρφωσης περιλαμβάνουν την QAM (διαμόρφωση τετραγωνικής πλάτους), την PSK (διαμόρφωση φάσης) και την FSK (διαμόρφωση συχνότητας). Η QAM συνδυάζει τόσο το πλάτος όσο και τη φάση, επιτρέποντας τη μετάδοση περισσότερων πληροφοριών με την εκχώρηση διαφορετικών τιμών πλάτους και φάσης σε ξεχωριστά bits δεδομένων. Αυτή η μέθοδος είναι ευρέως διαδεδομένη σε προηγμένα τηλεοπτικά και καλωδιακά συστήματα. Στη διαμόρφωση φάσης (PSK), η φάση του φέροντος κύματος αλλάζει για να εκπροσωπήσει διαφορετικές καταστάσεις δεδομένων. Η PSK χρησιμοποιείται συχνά σε επικοινωνίες Wi-Fi και Bluetooth λόγω της υψηλής αποτελεσματικότητάς της.

Στη διαμόρφωση συχνότητας (FSK), η συχνότητα του φέροντος σήματος μεταβάλλεται για να αναπαραστήσει δυαδικά δεδομένα. Αυτή η μέθοδος είναι συνήθης σε ασύρματες επικοινωνίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, καθώς παρέχει απλότητα και αξιοπιστία. Κάθε στρατηγική διαμόρφωσης επιλέγεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, διασφαλίζοντας την αποδοτική και αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών.

6.2.3 Χαρακτηριστικά διάδοσης

Η διάδοση των ραδιοκυμάτων επηρεάζεται από τη συχνότητα, τις φυσικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του μέσου μέσω του οποίου ταξιδεύουν.

Η ορατή διάδοση χαρακτηρίζεται από την ανάγκη για μια ανεμπόδιστη γραμμή μεταξύ πομπού και δέκτη. Αυτή η μορφή διάδοσης είναι χαρακτηριστική των ζωνών συχνοτήτων VHF, UHF και SHF και είναι κατάλληλη για εφαρμογές όπως η τηλεόραση, οι κινητές τηλεπικοινωνίες και το Wi-Fi. Εδώ, τα ραδιοκύματα είναι περιορισμένα από την καμπυλότητα της γης και την ύπαρξη εμποδίων όπως κτίρια και δέντρα.

Στην επίγεια διάδοση, οι χαμηλότερες συχνότητες, όπως αυτές στις ζώνες LF και MF, ακολουθούν την επιφάνεια της γης. Αυτό καθιστά αυτή τη μέθοδο ιδανική για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων πάνω σε καμπύλες επιφάνειες, όπως για θαλάσσιες επικοινωνίες ή το ραδιόφωνο AM. Τα κύματα παραμένουν προσκολλημένα στην επιφάνεια, ξεπερνώντας φυσικά εμπόδια.

Η ιονοσφαιρική διάδοση παρατηρείται στις συχνότητες HF, όπου τα ραδιοκύματα ανακλώνονται στην ιονόσφαιρα, διευκολύνοντας την επικοινωνία σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, πέρα από τη γραμμή οπτικής επαφής. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται ευρέως για παγκόσμιες ραδιοφωνικές εκπομπές, στρατιωτικές επικοινωνίες και σε εφαρμογές που απαιτούν κάλυψη μεγάλων περιοχών.

Η διάδοση των ραδιοκυμάτων επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως τα φυσικά εμπόδια (π.χ. κτίρια, βουνά), τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (π.χ. βροχή, υγρασία) και τις παρεμβολές από άλλες πηγές ραδιοσυχνότητας. Η κατανόηση αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, ώστε να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα των δικτύων.

6.2.4 Κεραίες και εξοπλισμός εκπομπής

Οι κεραίες αποτελούν βασικό στοιχείο για τη μετάδοση και τη λήψη ραδιοκυμάτων, με σχεδιασμό που προσαρμόζεται σε συγκεκριμένες εφαρμογές και ζώνες συχνοτήτων. Μεταξύ των πιο διαδεδομένων τύπων κεραίων είναι οι διπολικές, οι παραβολικές, οι κεραίες Yagi-Uda και οι κεραίες patch.

Οι διπολικές κεραίες είναι απλές και ευρέως χρησιμοποιούμενες, λειτουργώντας αποτελεσματικά στις συχνότητες VHF και UHF. Είναι κατάλληλες για ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές. Οι παραβολικές κεραίες, από την άλλη, διαθέτουν έναν παραβολικό ανακλαστήρα που συγκεντρώνει το σήμα σε μια στενή δέσμη, καθιστώντας τις ιδανικές για δορυφορικές επικοινωνίες που απαιτούν υψηλή κατευθυντικότητα. Οι κεραίες Yagi-Uda, που χρησιμοποιούνται συχνά για τηλεοπτικές εκπομπές, είναι κατευθυντικές κεραίες με πολλαπλά στοιχεία που αυξάνουν το κέρδος και την κατευθυντικότητα. Τέλος, οι κεραίες patch είναι συμπαγείς και επίπεδες, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για εξοπλισμό Wi-Fi και Bluetooth, λόγω της ευκολίας ενσωμάτωσής τους σε συσκευές με χαμηλό προφίλ.

Η απόδοση των κεραίων καθορίζεται από παραμέτρους όπως το κέρδος και η κατευθυντικότητα. Το κέρδος αναφέρεται στην πραγματική αποδοτικότητα μιας κεραίας, συμπεριλαμβάνοντας την κατευθυντικότητα και τις απώλειες, ενώ η κατευθυντικότητα σχετίζεται αποκλειστικά με την ικανότητα της κεραίας να επικεντρώνει την ενέργεια σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Ο εξοπλισμός μετάδοσης, όπως οι ενισχυτές, οι διαμορφωτές και οι δέκτες, είναι εξίσου κρίσιμος για την επιτυχή επικοινωνία. Οι ενισχυτές αυξάνουν την ισχύ του σήματος για μετάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις, ενώ οι δέκτες εφαρμόζουν τεχνικές αποδιαμόρφωσης για την εξαγωγή των αρχικών δεδομένων από τα ληφθέντα σήματα.

Η μετάδοση ραδιοκυμάτων αποτελεί τον πυρήνα των σύγχρονων επικοινωνιών, υποστηρίζοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως οι ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές, η τηλεφωνία, το ασύρματο διαδίκτυο και οι δορυφορικές επικοινωνίες. Η ποικιλία στις ζώνες συχνοτήτων και τις τεχνικές διαμόρφωσης επιτρέπει στα ραδιοκύματα να προσαρμόζονται σε διαφορετικές επικοινωνιακές ανάγκες. Η εις βάθος κατανόηση της διάδοσης ραδιοκυμάτων, του σχεδιασμού κεραίων και του εξοπλισμού μετάδοσης είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας.

6.3 Μετάδοση υπέρυθρων

6.3.1 Βασικές αρχές των υπέρυθρων κυμάτων

Η υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) αποτελεί τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που βρίσκεται μεταξύ του ορατού φωτός και των μικροκυμάτων, καλύπτοντας συχνότητες από 300 GHz έως 400 THz. Διαθέτοντας μήκος κύματος μεγαλύτερο από το ορατό φως αλλά μικρότερο από τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι αλλά γίνεται αισθητή ως θερμότητα. Η ιδιαιτερότητα αυτής της περιοχής μηκών κύματος καθιστά την υπέρυθρη ακτινοβολία ένα ευέλικτο εργαλείο για πληθώρα εφαρμογών, όπως η τηλεχειριστήρια, η επικοινωνία δεδομένων και η θερμική απεικόνιση.

Η ανακάλυψη της υπέρυθρης ακτινοβολίας έγινε το 1800 από τον Sir William Herschel, όταν παρατήρησε την ύπαρξη αόρατης ακτινοβολίας πέρα από το κόκκινο άκρο του ορατού φάσματος κατά τη διάρκεια πειραμάτων με το φως της ημέρας. Έκτοτε, η υπέρυθρη ακτινοβολία εξελίχθηκε σε ένα αποτελεσματικό μέσο επικοινωνίας, ειδικά σε εφαρμογές μικρής εμβέλειας και οπτικής επαφής. Οι λόγοι για τη διάδοσή της στις προηγμένες επικοινωνίες περιλαμβάνουν τη μη παρεμβατική φύση της, την ευκολία ενσωμάτωσης σε συστήματα και την αντοχή της στις παρεμβολές από ραδιοσυχνότητες.

Η υπέρυθρη επικοινωνία προσφέρει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ασφαλής και κοντινή επικοινωνία. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται συχνά σε τηλεχειριστήρια, συνδέσεις μικρής εμβέλειας και απομακρυσμένα περιφερειακά συστήματα. Η αξιοπιστία της και η ευελιξία της την καθιστούν εξαιρετική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια και ασφάλεια σε περιορισμένες αποστάσεις.

6.3.2 Φάσμα και εφαρμογές υπέρυθρων

Το υπέρυθρο φάσμα διαχωρίζεται σε υπο-ζώνες, καθεμία με μοναδικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές ανάλογα με το μήκος κύματος και την ενεργειακή συμπεριφορά τους.

Η ζώνη του κοντινού υπέρυθρου (NIR), με μήκη κύματος από 0,75 έως 1,4 μικρόμετρα, χρησιμοποιείται κυρίως για επικοινωνία μέσω οπτικών ινών. Το NIR είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για αυτή την εφαρμογή επειδή μπορεί να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστη εξασθένηση στις οπτικές ίνες. Η ζώνη του υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος (SWIR), που καλύπτει μήκη κύματος από 1,4 έως 3 μικρόμετρα. Η ικανότητά της να ανιχνεύει την υγρασία και να αναγνωρίζει υλικά βάσει των μοναδικών φασματικών ιδιοτήτων τους την καθιστά πολύτιμη για βιομηχανικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Το υπέρυθρο μέσου μήκους κύματος (MWIR), με μήκη κύματος από 3 έως 8 μικρόμετρα, είναι κρίσιμο για εφαρμογές θερμικής απεικόνισης και νυχτερινής όρασης. Αυτή η ζώνη αξιοποιεί τη θερμική υπογραφή των αντικειμένων, καθιστώντας την κατάλληλη για παρακολούθηση και ανίχνευση σε σκοτεινά περιβάλλοντα. Η ζώνη του υπέρυθρου μεγάλου

μήκους κύματος (LWIR), που καλύπτει μήκη κύματος από 8 έως 15 μικρόμετρα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα αντικείμενα. Το LWIR χρησιμοποιείται συχνά σε κάμερες θερμικής απεικόνισης για την ανίχνευση θερμικών μοτίβων και τη δημιουργία θερμογραφικών εικόνων.

Η τεχνολογία υπέρυθρων έχει ενσωματωθεί σε πολλές καθημερινές εφαρμογές. Στις οικιακές συσκευές, οι υπέρυθρες χρησιμοποιούνται σε τηλεχειριστήρια για την αλληλεπίδραση με συστήματα ψυχαγωγίας και ηλεκτρονικές συσκευές. Στις επικοινωνίες δεδομένων, το πρωτόκολλο IrDA (Infrared Data Association) παρέχει ένα πρότυπο για απομακρυσμένη επικοινωνία μικρής εμβέλειας, διευκολύνοντας την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών, όπως φορητοί υπολογιστές, εκτυπωτές και κινητά τηλέφωνα.

Επιπλέον, οι αισθητήρες υπέρυθρων έχουν κρίσιμες εφαρμογές σε συστήματα ασφαλείας, στη ρομποτική και στη φυσική παρακολούθηση, καθώς μπορούν να ανιχνεύουν την κίνηση, τις αλλαγές θερμοκρασίας και την εγγύτητα. Ο περιορισμός της ανάγκης για οπτική επαφή σε επικοινωνίες με υπέρυθρες αυξάνει την ασφάλεια, καθιστώντας αυτή την τεχνολογία ιδανική για ευαίσθητες και εντοπισμένες εφαρμογές επικοινωνίας.

6.3.3 Τεχνικές διαμόρφωσης

Η υπέρυθρη επικοινωνία χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης για την κωδικοποίηση δεδομένων στο υπέρυθρο φως, διευκολύνοντας έτσι την αξιόπιστη και αποδοτική μετάδοση πληροφοριών. Αυτές οι τεχνικές διαμόρφωσης μετατρέπουν ψηφιακά δεδομένα σε σήματα που μπορούν να εκπέμπονται από έναν πομπό υπέρυθρων και να αποκωδικοποιούνται από έναν δέκτη.

Μία από τις πιο συνήθεις τεχνικές είναι η διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM), η οποία κωδικοποιεί πληροφορίες αλλάζοντας το πλάτος των παλμών ανάλογα με τα δεδομένα. Η PWM είναι απλή στην υλοποίηση και κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή έως μεσαία ταχύτητα δεδομένων.

Η διαμόρφωση συχνότητας (FSK) χρησιμοποιεί αλλαγές στη συχνότητα του υπέρυθρου σήματος για την κωδικοποίηση πληροφοριών. Αυτή η μέθοδος είναι λιγότερο ευαίσθητη στις παρεμβολές σε σύγκριση με τη διαμόρφωση πλάτους, γεγονός που την καθιστά πιο αξιόπιστη για εφαρμογές που απαιτούν σταθερότητα.

Ένα πρωτόκολλο που έχει καθιερωθεί για την υπέρυθρη επικοινωνία είναι το Infrared Data Association (IrDA). Αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και παρέχει ένα πρότυπο για επικοινωνία μικρής εμβέλειας μέσω υπέρυθρων. Το αρχικό στάδιο FIR (Fast Infrared) κάλυπτε τις φυσικές, συνδυαστικές και μεταφορικές πτυχές της επικοινωνίας και υποστήριζε ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 4 Mbps, ενώ σήμερα η μέγιστη δυνατή ταχύτητα φτάνει τα 16 Mbps. Παρόλο που η χρήση του έχει μειωθεί με την έλευση τεχνολογιών όπως το Wi-Fi και το Bluetooth, το IrDA παραμένει χρήσιμο για συγκεκριμένες εφαρμογές που

απαιτούν ασφαλή επικοινωνία. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ιατρικών συσκευών, συστημάτων σημείων πώλησης (POS) και περιφερειακών υπολογιστών που ανήκουν σε παλαιότερες τεχνολογίες.

Παρά τις εναλλακτικές λύσεις που κυριαρχούν σήμερα, οι τεχνικές διαμόρφωσης και τα πρωτόκολλα υπέρυθρων παραμένουν κρίσιμα σε εφαρμογές όπου η ασφάλεια, η ακρίβεια και η απλότητα αποτελούν προτεραιότητα.

6.3.4 Χαρακτηριστικά του Engendering

Η υπέρυθη επικοινωνία διαφέρει σημαντικά από τη χρήση ραδιοκυμάτων, κυρίως λόγω των χαρακτηριστικών διάδοσης που σχετίζονται με τις υψηλότερες συχνότητες και τα μικρότερα μήκη κύματος. Σε αντίθεση με τα ραδιοκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες απαιτούν γραμμική οπτικής επαφής, γεγονός που σημαίνει ότι ο πομπός και ο δέκτης πρέπει να βρίσκονται σε ευθεία γραμμή χωρίς παρεμβολές. Αυτή η ιδιότητα περιορίζει τη χρήση της υπέρυθρης επικοινωνίας σε ελεγχόμενες καταστάσεις, καθώς δεν μπορεί να διεισδύσει σε φυσικά εμπόδια, όπως τοίχους ή άλλα συμπαγή αντικείμενα.

Τα φυσικά εμπόδια, όπως έπιπλα ή η κίνηση ανθρώπων, μπορούν να παρεμποδίσουν το υπέρυθρο σήμα, διακόπτοντας την επικοινωνία. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως το έντονο ηλιακό φως ή οι πηγές τεχνητού φωτός, μπορούν να προκαλέσουν θόρυβο στο σήμα και να μειώσουν την αξιοπιστία της επικοινωνίας, ιδιαίτερα σε εξωτερικές εφαρμογές. Εξαιτίας αυτών των περιορισμών, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός στη διάταξη και τη ρύθμιση των συσκευών υπέρυθρων για τη διασφάλιση σταθερής σύνδεσης.

Η υπέρυθη επικοινωνία έχει περιορισμένο εύρος, που συχνά δεν ξεπερνά μερικά μέτρα, ανάλογα με την ισχύ του πομπού και την ευαισθησία του δέκτη. Ωστόσο, αυτός ο περιορισμός προσφέρει το πλεονέκτημα της αυξημένης ασφάλειας, καθώς περιορίζει την εξάπλωση του σήματος, μειώνοντας την πιθανότητα παρεμβολών από άλλες συσκευές. Αυτή η ιδιότητα καθιστά την υπέρυθη επικοινωνία ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν ελεγχόμενη και εντοπισμένη επικοινωνία. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη χρήση σε εσωτερικά τηλεχειριστήρια, απομακρυσμένα συστήματα ελέγχου και μεταδόσεις δεδομένων μικρής εμβέλειας.

Παρά τους περιορισμούς της, η υπέρυθη επικοινωνία παραμένει μια αξιόπιστη και ασφαλής επιλογή για εφαρμογές όπου η εμβέλεια και η διάτρηση φυσικών εμποδίων δεν αποτελούν βασική απαίτηση.

6.3.5 Συσκευές υπέρυθρης μετάδοσης

Η υπέρυθη μετάδοση βασίζεται σε εξειδικευμένο υλικό που περιλαμβάνει πομπούς και δέκτες σχεδιασμένους να λειτουργούν εντός του φάσματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο πομπός αποτελείται συνήθως από μια δίοδο εκπομπής φωτός (LED), ενώ ο δέκτης βασίζεται σε μια φωτοδίοδο.

Οι LED χρησιμοποιούνται ως πομποί υπέρυθρης ακτινοβολίας, εκπέμποντας υπέρυθρο φως όταν τις διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτές οι συσκευές είναι συμπαγείς, ενεργειακά αποδοτικές και οικονομικά προσιτές, καθιστώντας τις ιδανικές για εφαρμογές καταναλωτών, όπως τηλεχειριστήρια και συνδέσεις δεδομένων μικρής εμβέλειας. Επιπλέον, το μήκος κύματος εκπομπής των LED μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια, επιτρέποντας τη βελτίωση της απόδοσης σε εφαρμογές επικοινωνίας μικρής εμβέλειας.

Οι φωτοдиодοι λειτουργούν ως δέκτες υπέρυθρης ακτινοβολίας, ανιχνεύοντας την ακτινοβολία και μετατρέποντάς την σε ηλεκτρικό σήμα. Χάρη στον γρήγορο χρόνο απόκρισής τους και την υψηλή ευαισθησία τους, οι φωτοдиодοι είναι απαραίτητες σε εφαρμογές που απαιτούν μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Πιο εξελιγμένες εκδόσεις τους ενσωματώνουν φίλτρα που βελτιώνουν την αντοχή τους σε συνθήκες μεταβαλλόμενου φωτισμού, διατηρώντας σταθερή απόδοση.

Παρόλο που το πρωτόκολλο Infrared Data Association (IrDA) αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο για συγκεκριμένες εφαρμογές μικρής εμβέλειας, πολλές συσκευές, όπως τηλεοράσεις, κλιματιστικά και προβολείς, χρησιμοποιούν τα δικά τους ειδικά πρωτόκολλα υπέρυθρης επικοινωνίας. Αυτά καθορίζουν τις συχνότητες μετάδοσης, τις μεθόδους διαμόρφωσης και τις στρατηγικές ελέγχου σφαλμάτων για να εξασφαλίσουν τη συμβατότητα και την αξιοπιστία μεταξύ των συσκευών.

Η υπέρυθρη επικοινωνία κατέχει μια ιδιαίτερη θέση στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, παρέχοντας ασφαλή επικοινωνία μέσω οπτικής επαφής, ιδανική για εφαρμογές μικρής εμβέλειας. Η περιορισμένη εμβέλεια των υπέρυθρων, η ευαισθησία τους σε φυσικά εμπόδια και η αντοχή τους στις ραδιοπαρεμβολές καθιστούν αυτή την τεχνολογία κατάλληλη για εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως τα καταναλωτικά gadgets, η μηχανική αυτοματοποίηση και η μετάδοση δεδομένων. Η βαθιά κατανόηση των βασικών στοιχείων της υπέρυθρης ακτινοβολίας, των χαρακτηριστικών διάδοσης και του εξοπλισμού μετάδοσης επιτρέπει στους μηχανικούς και τους σχεδιαστές να αξιοποιούν αποτελεσματικά την τεχνολογία αυτή για την ικανοποίηση ποικίλων επικοινωνιακών αναγκών.

Παρά την εξάπλωση άλλων ασύρματων τεχνολογιών, όπως το Wi-Fi και το Bluetooth, η υπέρυθρη επικοινωνία εξακολουθεί να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε εφαρμογές όπου η ασφάλεια, η προστασία και ο τοπικός έλεγχος είναι κρίσιμοι παράγοντες. Αυτή η μοναδική θέση υπογραμμίζει τη συνεχιζόμενη σημασία της τεχνολογίας υπέρυθρων σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας.

6.4 Σύγκριση των ραδιοκυμάτων και της υπέρυθρης μετάδοσης

6.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Η μετάδοση ραδιοκυμάτων και υπέρυθρων ακτίνων διαθέτει ξεχωριστά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, καθιστώντας τις κατάλληλες για διαφορετικές εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας. Οι κύριες διαφορές τους εντοπίζονται στα χαρακτηριστικά διάδοσης, την εμβέλεια, την ευαισθησία σε παρεμβολές και την κατανομή συχνότητας.

Εμβέλεια και Διάδοση

Τα ραδιοκύματα υπερτερούν στην εμβέλεια, καθώς μπορούν να διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμη και στο διαστηκό επίπεδο. Ειδικά σε χαμηλές συχνότητες, έχουν τη δυνατότητα να διαπερνούν εμπόδια όπως τοίχους, κτίρια και περιβαλλοντικά εμπόδια, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για εφαρμογές όπως η κινητή τηλεφωνία, οι δορυφορικές επικοινωνίες και οι ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές. Αντίθετα, οι υπέρυθρες ακτίνες περιορίζονται σε μικρές αποστάσεις και απαιτούν γραμμή οπτικής επαφής. Δεν μπορούν να διαπεράσουν τοίχους ή άλλα ισχυρά εμπόδια, γεγονός που περιορίζει τη χρήση τους σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Ωστόσο, αυτή η περιορισμένη εξάπλωση της υπέρυθρης ακτινοβολίας προσφέρει πλεονεκτήματα για την ασφάλεια, καθώς το σήμα παραμένει εντός μιας τοπικής περιοχής, μειώνοντας τον κίνδυνο υποκλοπής.

Ευαισθησία σε Παρεμβολές

Τα ραδιοκύματα είναι πιο ευαίσθητα σε θόρυβο και παρεμβολές από άλλες πηγές που λειτουργούν στην ίδια ή παρόμοια συχνότητα, όπως ηλεκτρονικές συσκευές, άλλα ασύρματα δίκτυα, κεραυνοί και ηλιακές εκλάμψεις. Από την άλλη πλευρά, οι υπέρυθρες ακτίνες λειτουργούν σε υψηλότερες συχνότητες εκτός του ραδιοφωνικού φάσματος και γενικά δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά εμπόδια. Ωστόσο, είναι ευάλωτες σε παρεμβολές από ισχυρές πηγές φωτός, όπως το άμεσο ηλιακό φως ή έντονο τεχνητό φωτισμό, οι οποίες μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα του σήματος, ειδικά σε εξωτερικούς χώρους.

Αποδοτικότητα Ενέργειας

Η υπέρυθρη μετάδοση είναι πιο ενεργειακά αποδοτική, γεγονός που την καθιστά ιδανική για συσκευές χαμηλής ενέργειας και μικρής εμβέλειας, όπως τηλεχειριστήρια και αισθητήρες εγγύτητας. Από την άλλη, τα συστήματα που βασίζονται σε ραδιοκύματα απαιτούν περισσότερη ισχύ για να εξασφαλίσουν συνδεσιμότητα σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας σε κινητές και φορητές συσκευές, αν και η μεγάλη εμβέλεια παραμένει προτεραιότητα σε τέτοιες εφαρμογές.

Ρυθμίσεις και Κανονισμοί

Οι ραδιοσυχνότητες υπόκεινται σε ρυθμίσεις και ελέγχονται από κυβερνητικούς φορείς, γεγονός που περιορίζει την πρόσβαση σε ορισμένες ζώνες συχνότητας, ειδικά σε εφαρμογές όπως η κινητή τηλεφωνία και το Wi-Fi. Από την άλλη, οι υπέρυθρες ακτίνες δεν υπόκεινται σε

τέτοιους περιορισμούς στις περισσότερες περιοχές. Αυτό επιτρέπει την ευρεία χρήση τους χωρίς τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση συχνοτήτων ή τους κανονισμούς.

Συμπέρασμα

Τα ραδιοκύματα είναι κατάλληλα για εφαρμογές μεγάλης εμβέλειας, όπου η διείσδυση εμποδίων και η ανθεκτικότητα στις περιβαλλοντικές συνθήκες είναι κρίσιμες. Αντίθετα, η υπέρυθη επικοινωνία είναι ιδανική για ασφαλείς, τοπικές εφαρμογές μικρής εμβέλειας που απαιτούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και περιορισμένο εύρος διάδοσης. Και οι δύο τεχνολογίες παραμένουν απαραίτητες, καλύπτοντας διαφορετικές ανάγκες στον τομέα της ασύρματης επικοινωνίας.

6.4.2 Σενάρια περιπτώσεων χρήσης

Η επιλογή μεταξύ ραδιοκυμάτων και υπέρυθρης μετάδοσης εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ανάγκες κάθε εφαρμογής, όπως η εμβέλεια, η ασφάλεια, η κατανάλωση ενέργειας και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα ραδιοκύματα είναι ιδανικά για επικοινωνίες που απαιτούν μεγάλες αποστάσεις ή τη δυνατότητα διείσδυσης σε εμπόδια. Για παράδειγμα, τα κυψελοειδή δίκτυα βασίζονται στα ραδιοκύματα για να παρέχουν επικοινωνία σε εκτεταμένες περιοχές, καλύπτοντας πόλεις, αγροτικές περιοχές και απομακρυσμένες τοποθεσίες. Οι δορυφορικές επικοινωνίες βασίζονται στα ραδιοκύματα για τη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, διασχίζοντας την ατμόσφαιρα της Γης και το διάστημα, όπου παράγοντες όπως η ιονόσφαιρα και οι καιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του σήματος. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως το Wi-Fi και το Bluetooth χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για να προσφέρουν ασύρματη συνδεσιμότητα τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους, επωφελούμενες από την ικανότητά τους να διαδίδονται εκτός οπτικού πεδίου. Παράλληλα, υπηρεσίες μαζικής επικοινωνίας όπως οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές μεταδόσεις βασίζονται στα ραδιοκύματα για να προσεγγίζουν ένα ευρύ κοινό με ελάχιστες απαιτήσεις σε υποδομές.

Από την άλλη πλευρά, η υπέρυθη μετάδοση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογές μικρής εμβέλειας και οπτικής επαφής, όπου απαιτούνται ασφαλείς και ελεγχόμενες επικοινωνίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα τηλεχειριστήρια για τηλεοράσεις, κλιματιστικά και άλλες οικιακές συσκευές, τα οποία χρησιμοποιούν υπέρυθρες ακτίνες για την αποφυγή παρεμβολών από εξωτερικές πηγές. Επιπλέον, η υπέρυθη τεχνολογία χρησιμοποιείται σε βιομηχανικό και ιατρικό εξοπλισμό, όπου απαιτείται ακριβής και ασφαλής ανταλλαγή δεδομένων σε περιορισμένους χώρους. Τα συστήματα επικοινωνίας που βασίζονται στο πρότυπο IrDA επιτρέπουν την άμεση και ενεργειακά αποδοτική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ συμβατών συσκευών, όπως εκτυπωτές και φορητοί υπολογιστές, χωρίς να επηρεάζονται από ραδιοπαρεμβολές. Επίσης, τα υπέρυθρα συστήματα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ασφάλειας και ελέγχου πρόσβασης, όπου η περιορισμένη εξάπλωση του σήματος ενισχύει την προστασία από υποκλοπές.

Συνολικά, τα ραδιοκύματα είναι πιο κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη εμβέλεια, ευελιξία στη διάδοση και ανθεκτικότητα σε φυσικά εμπόδια, ενώ οι υπέρυθρες ακτίνες προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα για ασφαλείς και ελεγχόμενες επικοινωνίες σε μικρές αποστάσεις. Η επιλογή μεταξύ των δύο εξαρτάται από τις ανάγκες της εφαρμογής και τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος χρήσης.

6.4.3 Μελλοντικές τάσεις και εξελίξεις

Η μακροχρόνια πορεία των ραδιοσυχνοτήτων και της υπέρυθρης μετάδοσης διαμορφώνεται συνεχώς από τεχνολογικές εξελίξεις και νέες επικοινωνιακές απαιτήσεις. Η έρευνα και η καινοτομία αυξάνουν διαρκώς τις δυνατότητες και των δύο τεχνολογιών, προσφέροντας νέες προοπτικές.

Στη μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων, η ανάπτυξη των συστημάτων 5G και 6G αποτελεί καθοριστικό σημείο. Αυτές οι τεχνολογίες επεκτείνουν τα όρια της ταχύτητας, του εύρους ζώνης και της χαμηλής καθυστέρησης, λειτουργώντας σε υψηλότερες συχνότητες, όπως τα χιλιοστομετρικά κύματα (24-100 GHz). Αυτά τα κύματα παρέχουν πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά με πιο περιορισμένη εμβέλεια. Επιπλέον, το ραδιόφωνο που καθορίζεται από λογισμικό (SDR) παρέχει ευελιξία με ασυρμάτους που μπορούν να προσαρμόζονται σε διαφορετικές συχνότητες και πρωτόκολλα. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε δυναμικά περιβάλλοντα, όπως οι στρατιωτικές επικοινωνίες και η διαχείριση κρίσεων. Σημαντική πρόοδος παρατηρείται επίσης στο δορυφορικό Διαδίκτυο, με την ανάπτυξη δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO), που βελτιώνουν την πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε απομακρυσμένες περιοχές.

Η υπέρυθρη μετάδοση, από την άλλη, προοδεύει με την ανάπτυξη της Οπτικής Ασύρματης Επικοινωνίας (OWC) και των Επικοινωνιών Ορατού Φωτός (VLC). Η OWC αξιοποιεί υπέρυθρες και ορατές ακτίνες για υψηλής ταχύτητας απομακρυσμένες επικοινωνίες, με εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους, ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών και συνδέσεις μεταξύ συσκευών. Ειδικά το VLC χρησιμοποιεί το φως από LED για τη μετάδοση δεδομένων, ενσωματώνοντας τις επικοινωνίες με τον φωτισμό. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να μετατρέψει τα φωτιστικά σώματα σε κόμβους επικοινωνίας, παρέχοντας ταυτόχρονα φωτισμό και υπηρεσίες δεδομένων. Εξίσου καινοτόμος είναι η τεχνολογία Li-Fi (Light Fidelity), που χρησιμοποιεί φως για εξαιρετικά γρήγορες επικοινωνίες, ειδικά σε περιβάλλοντα όπου τα ραδιοκύματα προκαλούν παρεμβολές, όπως νοσοκομεία ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Και στους δύο τομείς, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης βελτιώνει την απόδοση, τη διαχείριση παρεμβολών, τη βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης και την αξιοπιστία των σημάτων. Με αυτές τις εξελίξεις, οι ραδιοσυχνότητες και οι υπέρυθρες θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν συμπληρωματικό ρόλο στις ασύρματες επικοινωνίες, καλύπτοντας διαφορετικές ανάγκες.

Η σύγκριση των δύο τεχνολογιών αποκαλύπτει τα μοναδικά τους χαρακτηριστικά. Τα ραδιοκύματα παρέχουν μεγάλη εμβέλεια και δυνατότητα διάτρησης εμποδίων, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπως κινητά δίκτυα, δορυφορικές επικοινωνίες και ραδιοφωνικές εκπομπές. Αντίθετα, οι υπέρυθρες ακτίνες προσφέρουν ασφαλή τοπική επικοινωνία με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές μικρής εμβέλειας, όπως τηλεχειριστήρια, ιατρικό εξοπλισμό και δεδομένα κοντινών αποστάσεων. Τεχνολογίες όπως το 5G, το Li-Fi, το OWC και η μηχανική μάθηση θα επεκτείνουν περαιτέρω τις εφαρμογές και τις δυνατότητες και των δύο, ενώ οι εξελίξεις υπόσχονται συνεχή βελτίωση της απόδοσης. Καθώς οι ανάγκες επικοινωνίας εξελίσσονται, η συνεργασία των δύο τεχνολογιών θα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα απαιτήσεων, από τα δίκτυα υψηλής ταχύτητας έως την ασφαλή τοπική συνδεσιμότητα.

6.5 Συμπέρασμα

Στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, τόσο η ραδιοφωνική όσο και η υπέρυθρη μετάδοση διαδραματίζουν σημαντικούς ρόλους, με κάθε τεχνολογία να διαθέτει μοναδικές δυνατότητες και περιορισμούς. Αυτή η συγκριτική ανάλυση εξετάζει τις δύο μεθόδους από διαφορετικές οπτικές γωνίες, όπως τα χαρακτηριστικά διάδοσης, τις τεχνικές διαμόρφωσης, το υλικό και τις εφαρμογές, με στόχο τη βελτιστοποίηση των πλαισίων επικοινωνίας για ποικίλες και συχνά περίπλοκες απαιτήσεις.

Η μετάδοση ραδιοκυμάτων έχει καθοριστική συμβολή στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων επικοινωνίας, κυρίως λόγω της δυνατότητάς της να διαδίδεται σε μεγάλες αποστάσεις και να ξεπερνά φυσικά εμπόδια όπως τοίχους και κτίρια. Αυτά τα χαρακτηριστικά την καθιστούν ιδανική για εφαρμογές όπως τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες και οι ραδιοηλεκτρονικές εκπομπές. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως το Wi-Fi και το Bluetooth βασίζονται στα ραδιοκύματα για να παρέχουν ευελιξία και ευρεία υποστήριξη σε καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η εισαγωγή του 5G και η προοπτική των συστημάτων 6G υπόσχονται ακόμη υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερη αδράνεια και πιο αποδοτική χρήση του φάσματος, επεκτείνοντας περαιτέρω τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας.

Αντίθετα, οι υπέρυθρες επικοινωνίες χαρακτηρίζονται από περιορισμένη εμβέλεια και ανάγκη για οπτική επαφή, κάτι που τις καθιστά ιδανικές για εφαρμογές μικρής εμβέλειας που απαιτούν τοπική, ασφαλή και χωρίς παρεμβολές επικοινωνία. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η ανθεκτικότητα στις ραδιοπαρεμβολές καθιστούν τις υπέρυθρες εξαιρετικά κατάλληλες για τηλεχειριστήρια, ιατρικές συσκευές και βιομηχανικό εξοπλισμό. Αν και η αδυναμία τους να διαπεράσουν εμπόδια τις περιορίζει, αυτή η ιδιότητα μπορεί να αποτελέσει πλεονέκτημα για εφαρμογές με αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας. Νεότερες τεχνολογίες, όπως το Li-Fi και οι οπτικές ασύρματες επικοινωνίες (OWC), αναδεικνύουν τη δυνατότητα των υπέρυθρων για

γρήγορες και ασφαλείς συνδέσεις, ειδικά σε περιβάλλοντα με ραδιοπαρεμβολές ή αυστηρές απαιτήσεις προστασίας.

Η βαθιά κατανόηση των δύο αυτών μεθόδων είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας. Τα ραδιοκύματα προσφέρουν εξαιρετική κάλυψη για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων και εφαρμογές μαζικής επικοινωνίας, ενώ οι υπέρυθρες παρέχουν εξειδικευμένες, τοπικές λύσεις με έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα και την ασφάλεια. Συνδυάζοντας τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δύο τεχνολογιών, οι μηχανικοί μπορούν να δημιουργήσουν υβριδικά συστήματα που καλύπτουν διαφορετικές ανάγκες, όπως δίκτυα μεγάλης εμβέλειας που συνδυάζονται με ασφαλείς, τοπικές επικοινωνίες σε ευαίσθητα περιβάλλοντα.

Στο μέλλον, η ενσωμάτωση των δύο τεχνολογιών θα αποτελέσει θεμέλιο για υβριδικά συστήματα επικοινωνίας που θα ανταποκρίνονται στις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες συνδεσιμότητας. Για παράδειγμα, τα ραδιοκύματα μπορούν να εξασφαλίσουν ευρεία κάλυψη και συνδεσιμότητα, ενώ οι υπέρυθρες μπορούν να διασφαλίσουν ασφαλείς, τοπικές επικοινωνίες σε περιβάλλοντα όπως νοσοκομεία, εργοστάσια και έξυπνες πόλεις. Η αποτελεσματική αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών θα είναι καθοριστική για την ανάπτυξη εφαρμογών όπως τα αυτόνομα οχήματα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και οι έξυπνες υποδομές.

Η συνεχής πρόοδος και η εμβάθυνση στην κατανόηση των ραδιοκυμάτων και της υπέρυθρης μετάδοσης είναι απαραίτητες για την κάλυψη των απαιτήσεων του σύγχρονου ψηφιακού κόσμου. Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των συστημάτων επικοινωνίας, η συνεργασία αυτών των τεχνολογιών θα διασφαλίσει την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού τους για μια συνδεδεμένη και ασφαλή ψηφιακή εποχή.

7. Τεχνικές μετάδοσης σήματος

Στις ασύρματες επικοινωνίες, διάφορες μέθοδοι πρόσβασης είναι απαραίτητες για τη διαχείριση της μετάδοσης δεδομένων μεταξύ πολλών συσκευών που μοιράζονται ένα κοινό κανάλι. Κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και περιορισμούς, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για συγκεκριμένους τύπους δικτύων, απαιτήσεις επιδόσεων και περιβάλλοντα. Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει αναλυτικά διάφορες βασικές τεχνικές, όπως η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA), η ορθογώνια πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM), η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA), η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χώρου (SDMA), η διαμόρφωση δέσμης, το φάσμα διάδοσης με μεταπήδηση συχνότητας (FHSS) και το φάσμα διάδοσης άμεσης ακολουθίας (DSSS). Αυτές οι τεχνικές παίζουν καθοριστικό ρόλο στα κινητά δίκτυα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και άλλα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας.

7.1 Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA)

Code Division Multiple Access (CDMA): Το CDMA (Code Division Multiple Access) είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας όπου όλοι οι χρήστες μοιράζονται το ίδιο φάσμα συχνοτήτων ταυτόχρονα, αλλά κωδικοποιούν τα σήματά τους με μοναδικούς κώδικες ψευδοτυχαίας ακολουθίας (PN codes). Έτσι, το αρχικό ψηφιακό σήμα “διασπείρεται” (spread spectrum) σε ευρύτερη ζώνη συχνοτήτων, βελτιώνοντας την αντοχή σε θόρυβο και παρεμβολές. Στην πλευρά του δέκτη, το σήμα “αφαιρείται” (de-spreading) με τον ίδιο κώδικα ώστε να ανακτηθεί η επιθυμητή πληροφορία. Το CDMA χρησιμοποιήθηκε σε πρότυπα όπως το IS-95 (CDMA One) και το CDMA2000 (3G), ενώ συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη πιο σύγχρονων τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας όπως το WCDMA και, μεταγενέστερα, τα LTE/5G δίκτυα.

7.2 Ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM): Το OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) είναι μια τεχνική πολυπλεξίας που διαιρεί το διαθέσιμο φάσμα σε πολλούς ορθογώνιους υποφορείς (subcarriers), καθένας από τους οποίους μεταφέρει ένα ξεχωριστό ρεύμα δεδομένων. Χάρη στην ορθογώνια διάταξή τους, οι υποφορείς δεν αλληλεπικαλύπτονται φασματικά, γεγονός που εξαλείφει τις παρεμβολές μεταξύ τους και βελτιστοποιεί τη χρήση του εύρους ζώνης. Επιπλέον, η διάσπαση του σήματος σε υποφορείς χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης συμβάλλει στη μείωση των φαινομένων πολλαπλής διαδρομής (multipath) και της παρεμβολής μεταξύ διαδοχικών συμβόλων (ISI), ενισχύοντας τη σταθερότητα και την ποιότητα της επικοινωνίας. Η τεχνολογία OFDM έχει ευρεία εφαρμογή σε συστήματα υψηλών ταχυτήτων, όπως το Wi-Fi (802.11a/g/n/ac/ax), το LTE και το 5G,

επιτρέποντας την κάλυψη μεγάλων περιοχών με αυξημένη χωρητικότητα και αξιόπιστες ευρυζωνικές συνδέσεις.

7.3 Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA)

Time Division Multiple Access (TDMA): Το TDMA (Time Division Multiple Access) είναι μια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που διανέμει το διαθέσιμο εύρος ζώνης ενός καναλιού μεταξύ πολλών χρηστών, αποδίδοντας σε κάθε χρήστη μια συγκεκριμένη χρονική θυρίδα (time slot) μέσα σε ένα επαναλαμβανόμενο χρονικό πλαίσιο. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να μεταδίδουν τα δεδομένα τους διαδοχικά, στη δική τους καθορισμένη χρονική στιγμή, αποφεύγοντας έτσι τις παρεμβολές μεταξύ των σημάτων τους. Το TDMA επιτρέπει τη δυναμική ανακατανομή των χρονικών θυρίδων, καθιστώντας το αποτελεσματικό για δίκτυα με μεταβαλλόμενη ζήτηση. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε διάφορα συστήματα επικοινωνίας, όπως το δίκτυο 2G GSM (Global System for Mobile Communications), όπου το διαθέσιμο φάσμα χωρίζεται σε κανάλια των 200 kHz, το καθένα εκ των οποίων περιλαμβάνει 8 χρονικές θυρίδες. Αν και το TDMA παρέχει καλή αξιοποίηση των πόρων και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για τις κινητές συσκευές, υστερεί σε απόδοση συγκριτικά με νεότερες τεχνολογίες, όπως το CDMA και το OFDM, ειδικά σε εφαρμογές με αυξημένες απαιτήσεις δεδομένων. Σήμερα, το TDMA χρησιμοποιείται κυρίως σε παλαιότερης γενιάς συστήματα, σε απομακρυσμένες περιοχές και σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως οι δορυφορικές επικοινωνίες και τα συστήματα trunked radio.

7.4 Πολλαπλή πρόσβαση με χωρική διαίρεση (SDMA)

Spatial Division Multiple Access (SDMA): Το SDMA (Space Division Multiple Access) είναι μια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που αξιοποιεί τον διαθέσιμο χώρο για τη καλύτερη απόδοση και χωρητικότητα των ασύρματων δικτύων. Σε αντίθεση με τις τεχνικές TDMA, FDMA και CDMA, που διαχωρίζουν τους χρήστες σε χρονικές, συχνοτικές ή κωδικές περιοχές αντίστοιχα, το SDMA χρησιμοποιεί τεχνολογίες διαμόρφωσης δέσμης (beamforming) και χωρικό διαχωρισμό των χρηστών, επιτρέποντας την ταυτόχρονη επικοινωνία πολλών χρηστών στην ίδια συχνότητα και χρονική θυρίδα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω προηγμένων κεραιών πολλαπλών στοιχείων (MIMO – Multiple Input Multiple Output), οι οποίες μπορούν να κατευθύνουν το σήμα προς συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, μειώνοντας τις παρεμβολές και αυξάνοντας τη συνολική χωρητικότητα του δικτύου. Το SDMA εφαρμόζεται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (4G, 5G), δορυφορικές επικοινωνίες και Wi-Fi συστήματα, επιτρέποντας την εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών στον ίδιο γεωγραφικό χώρο με βελτιωμένη απόδοση και αποδοτικότερη αξιοποίηση του φάσματος. Αν και η υλοποίησή του απαιτεί σύνθετες τεχνικές διαχείρισης κεραιών και σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους, το SDMA συμβάλλει ουσιαστικά στην αύξηση της φασματικής απόδοσης και στη βελτίωση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS), ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και δίκτυα επόμενης γενιάς.

7.5 Διαμόρφωση δέσμης (Beamforming)

Beamforming: Η διαμόρφωση δέσμης (Beamforming) είναι μια προηγμένη τεχνική μετάδοσης σήματος που χρησιμοποιείται σε ασύρματα δίκτυα για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας της επικοινωνίας. Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής είναι η εστίαση της εκπεμπόμενης ενέργειας προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις, αντί της διάχυσης του σήματος προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του συνδυασμού πολλαπλών στοιχείων κεραιάς, τα οποία ρυθμίζονται κατάλληλα ώστε να δημιουργούν ενισχυμένες ή ακυρωμένες περιοχές σήματος, επιτρέποντας στοχευμένη μετάδοση και λήψη.

Με τη χρήση πολλαπλών κεραιών (MIMO - Multiple Input Multiple Output), η διαμόρφωση δέσμης προσαρμόζει δυναμικά το σήμα με βάση τη θέση του χρήστη και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, βελτιώνοντας την εμβέλεια, την ταχύτητα και την ποιότητα της σύνδεσης. Η τεχνική αυτή συμβάλλει στη μείωση της παρεμβολής μεταξύ των χρηστών και επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές.

Η διαμόρφωση δέσμης εφαρμόζεται ευρέως σε σύγχρονα δίκτυα Wi-Fi (όπως τα πρότυπα 802.11ac/ax), καθώς και σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G και 5G, όπου η αυξημένη χωρητικότητα και η αποδοτική χρήση του φάσματος είναι κρίσιμης σημασίας. Ειδικά στο 5G, η διαμόρφωση δέσμης, σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες Massive MIMO, επιτρέπει την επικοινωνία σε υψηλές συχνότητες (mmWave), όπου το σήμα υπόκειται σε αυξημένη απόσβεση και απαιτεί ακριβή κατευθυντικότητα για τη διατήρηση της σύνδεσης.

Παρόλο που η διαμόρφωση δέσμης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, η εφαρμογή της απαιτεί προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος και υψηλούς υπολογιστικούς πόρους, καθιστώντας την πιο σύνθετη συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους εκπομπής.

7.6 Φάσμα διασποράς με μεταπήδηση συχνότητας (FHSS)

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS): Το FHSS είναι μια τεχνική διαμόρφωσης και μετάδοσης σήματος που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας στις ασύρματες επικοινωνίες. Στο FHSS, το σήμα μεταδίδεται με γρήγορη και περιοδική εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών συχνοτήτων μέσα σε ένα ευρύ φάσμα, ακολουθώντας μια προκαθορισμένη ακολουθία αλλαγών συχνότητας (hopping pattern). Αυτή η τεχνική μειώνει την πιθανότητα παρεμβολών και υποκλοπών, καθώς ένα τρίτο μέρος δυσκολεύεται να παρακολουθήσει ή να διακόψει τη μετάδοση εάν δεν γνωρίζει την ακολουθία εναλλαγής συχνοτήτων.

Η μετάδοση μέσω FHSS πραγματοποιείται σε μικρά χρονικά διαστήματα (dwell time), κατά τα οποία το σήμα χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη συχνότητα πριν μεταπηδήσει στην επόμενη. Οι αλλαγές συχνότητας μπορούν να ακολουθούν είτε ένα σταθερό είτε ένα τυχαίο μοτίβο,

καθιστώντας το FHSS ανθεκτικό στις παρεμβολές από άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν στατικές ή στενής ζώνης συχνότητες.

Το FHSS εφαρμόζεται σε διάφορες εφαρμογές, όπως τα πρώιμα δίκτυα Bluetooth (έκδοση 1.0), ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και στρατιωτικές επικοινωνίες, όπου η ασφαλής και ανθεκτική μετάδοση είναι κρίσιμης σημασίας. Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής περιλαμβάνουν τη μείωση των παρεμβολών, την ανθεκτικότητα στις διαλείψεις (fading) και τη βελτιωμένη ασφάλεια, καθώς η συνεχής μεταπήδηση συχνοτήτων δυσκολεύει την υποκλοπή.

Ωστόσο, το FHSS παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως τον χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με άλλες τεχνικές διασποράς φάσματος, όπως το DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), καθώς και την απαίτηση για ακριβή συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη.

Σήμερα, το FHSS χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος και μικρού εύρους, ενώ για υψηλότερες απαιτήσεις δεδομένων έχουν επικρατήσει τεχνολογίες όπως το OFDM και το CDMA.

7.7 Φάσμα διασποράς άμεσης ακολουθίας (DSSS)

Direct-sequence spread spectrum (DSSS): Το DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) είναι μια τεχνική διασποράς φάσματος που χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες για την ενίσχυση της αντοχής σε παρεμβολές, την αύξηση της ασφάλειας και τη μείωση της πιθανότητας απώλειας δεδομένων λόγω θορύβου. Στο DSSS, το αρχικό στενής ζώνης σήμα δεδομένων πολλαπλασιάζεται με μια ψευδοτυχαία ακολουθία (PN sequence) υψηλότερης συχνότητας, γνωστή ως διασπειρόμενος κώδικας (spreading code). Μέσω αυτής της διαδικασίας, το σήμα απλώνεται σε ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων, καθιστώντας το πιο ανθεκτικό σε παρεμβολές και διαλείψεις (fading).

Η διασπορά του σήματος επιτρέπει στο DSSS να λειτουργεί με χαμηλότερη ισχύ ανά συχνότητα, γεγονός που καθιστά δύσκολο τον εντοπισμό ή την παρεμπόδιση του από τρίτους, προσφέροντας αυξημένη ασφάλεια. Στην πλευρά του δέκτη, εφαρμόζεται η ίδια ψευδοτυχαία ακολουθία για την αποδιαμόρφωση και ανάκτηση του αρχικού σήματος, απορρίπτοντας παρεμβολές και θόρυβο που δεν είναι συγχρονισμένοι με τον διασπειρόμενο κώδικα.

Το DSSS βρίσκει εφαρμογή σε διάφορα πεδία, όπως τα ασύρματα δίκτυα Wi-Fi (802.11b), τις στρατιωτικές επικοινωνίες, το GPS (Global Positioning System) και άλλα δίκτυα χαμηλής παρεμβολής, όπου απαιτείται αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι η ανθεκτικότητα στις παρεμβολές και την παρακολούθηση, καθώς το σήμα εμφανίζεται ως χαμηλής ισχύος θόρυβος σε όσους δεν γνωρίζουν την ακολουθία διασποράς.

Ωστόσο, το DSSS απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σύγκριση με τεχνικές όπως το FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) και μπορεί να παρουσιάζει χαμηλότερη απόδοση

φάσματος, καθιστώντας το λιγότερο αποδοτικό σε περιβάλλοντα με αυξημένες απαιτήσεις χωρητικότητας. Στα σύγχρονα δίκτυα, το DSSS έχει σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από το OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), το οποίο προσφέρει υψηλότερη απόδοση και καλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

7.8 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου πρόσβασης εξαρτάται από παράγοντες όπως ο τύπος του δικτύου, οι απαιτήσεις απόδοσης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και το κόστος. Για ασύρματα δίκτυα γενικής χρήσης, η πολλαπλή πρόσβαση με αίσθηση φέροντος και αποφυγή σύγκρουσης (CSMA/CA) είναι συχνά επαρκής λόγω της απλότητας και της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας. Το CDMA είναι ιδανικό για περιβάλλοντα υψηλής πυκνότητας όπου είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη μετάδοση δεδομένων σε μία μόνο συχνότητα. Το OFDM, εν τω μεταξύ, ταιριάζει σε δίκτυα υψηλών επιδόσεων με αυστηρές απαιτήσεις ρυθμού δεδομένων και παρεμβολών, ενώ το TDMA προσφέρει μια χρονικά ελεγχόμενη λύση κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν αυστηρό συγχρονισμό.

Η SDMA και η διαμόρφωση δέσμης προτιμώνται για δίκτυα που απαιτούν αυξημένη χωρητικότητα και διαχείριση παρεμβολών, ενώ η FHSS και η DSSS επιλέγονται συχνά για εφαρμογές ευαίσθητες στην ασφάλεια που χρειάζονται ανοσία στις παρεμβολές και περιορισμένη πρόσβαση. Οι σύγχρονες υβριδικές τεχνολογίες και τεχνολογίες πολλαπλής πρόσβασης συνδυάζουν στοιχεία αυτών των παραδοσιακών μεθόδων, επιτρέποντας στα δίκτυα να προσαρμόζονται δυναμικά και να βελτιστοποιούν τους πόρους με βάση τη ζήτηση, την πυκνότητα των συσκευών και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Συνοπτικά, οι τεχνικές πρόσβασης όπως CDMA, OFDM, TDMA, SDMA, διαμόρφωση δέσμης, FHSS και DSSS είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή αποδοτικών, ασφαλών και αξιόπιστων ασύρματων επικοινωνιών. Η επιλογή της τεχνικής εξαρτάται από τις ειδικές απαιτήσεις του δικτύου, με κάθε μέθοδο να προσφέρει διακριτά πλεονεκτήματα για τη διαχείριση των καναλιών επικοινωνίας. Οι εξελίξεις σε αυτές τις μεθόδους θα συνεχίσουν να βελτιώνουν τα ασύρματα δίκτυα, ιδίως καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται για να φιλοξενήσει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερη καθυστέρηση και βελτιωμένη εμπειρία χρήστη σε όλο και πιο σύνθετα περιβάλλοντα.

8. Βιβλιογραφία

Aakriti. (2022, December 6). *Wireless LANs in computer networks: A detailed study*. Network Kings. <https://www.nwkings.com/wireless-lans-in-computer-networks>

Akter, S., Tasnim, T., & Jui, H. S. (2017). *Diminution of contention period of Carrier-sense multiple access with collision detection (CSMA/CD)* (Doctoral dissertation, East West University).

Anvi Jain. (n.d.). *Wireless LAN protocols*. Tutorialspoint. <https://www.tutorialspoint.com/wireless-lan-protocols>

AscentOptics. (n.d.). Κατανόηση του 802.11ac WiFi: Επεξήγηση δρομολογητών και μόντεμ διπλής ζώνης Xfinity. AscentOptics. <https://ascentoptics.com/blog/el/dual-band-wifi-802-11ac/>

Baker, S. (2013). *Ασύρματες επικοινωνίες και δίκτυα* (2η έκδοση). Pearson.

CableFree. (2017, May 18). *The history of WiFi: 1971 to today*. CableFree. <https://www.cablefree.net/history-of-wifi-technology/>

Curku, E. (2022, April 30). *Difference between CCK, DSSS, OFDM*. Huawei Enterprise Support Community. <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/en/thread/difference-between-cck-dsss-ofdm/667262734317797376>

Collision Avoidance in wireless networks. (2023, Απρίλιος, 18). *Geekforgeeks.com*. <https://www.geeksforgeeks.org/collision-avoidance-in-wireless-networks/>

Cisco Systems, Inc. (n.d.). *What is a wireless LAN?* Cisco. <https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/security/what-is-a-wireless-lan.html>

Doufexi, A., Armour, S., Butler, M., Nix, A., Bull, D., McGeehan, J., & Karlsson, P. (2002). A comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE 802.11 a wireless LAN standards. *IEEE Communications magazine*, 40(5), 172-180.

Durgin, G. D. (2003). *Ασύρματα κανάλια χώρου-χρόνου*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Emerson (2006). *Wireless Topologies* [Παρουσίαση Μαθήματος]. PlantWeb University.

<https://www.emerson.com/documents/automation/training-wireless-topologies-en-41144.pdf>

Eye Networks AS. (2019, June 12). *The history of Wi-Fi*. Eye Networks. <https://eyenetworks.no/en/wi-fi-history/>

ETSI, 1996. *Ραδιοεξοπλισμός και συστήματα (RES)- Ραδιοτοπικό δίκτυο υψηλής απόδοσης (HIPERLAN) τύπου 1*. [online] Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <https://www.etsi.org/standards>

ETSI. (2000). *Ευρυζωνικά δίκτυα ραδιοπρόσβασης (BRAN) - HIPERLAN Type 2 - Απαιτήσεις και αρχιτεκτονικές για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση*. Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων. Retrieved from <https://www.etsi.org/standards>

Gast, M. (2013). *802.11 ac: A survival guide*. " O'Reilly Media, Inc."

Goralski, W. (2017). *Chapter 3 - Network link technologies*. In W. Goralski (Ed.), *The illustrated network* (2nd ed., pp. 71-105). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811027-0.00003-5>

Hiertz, G. R., Denteneer, D., Stibor, L., Zang, Y., Costa, X. P., & Walke, B. (2010). The IEEE 802.11 universe. *IEEE Communications Magazine*, 48(1), 62-70.

Harris, M. (2021, September 28). *ISM bands around the world*. Altium. <https://resources.altium.com/p/ism-bands-around-world>

Infoblox. What is Layer 1 of The OSI Model: Physical Layer?

<https://www.infoblox.com/glossary/layer-1-of-the-osi-model-physical-layer/>

IEEE 802.11 Architecture. (2024, Μάρτιος 06). *geeksforgeeks.org*.

<https://www.geeksforgeeks.org/ieee-802-11-architecture/>

IEEE 802.11 Mac Frame. (2023, Μάρτιος 23). *geeksforgeeks.org*.

<https://www.geeksforgeeks.org/ieee-802-11-mac-frame/>

IEEE. (2009). IEEE Standard for Information technology—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput (IEEE Standard No. 802.11n-2009). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5307322>

Intel Corporation. (2021, October 28). *Different Wi-Fi protocols and data rates*. Intel. <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005725/wireless/legacy-intel-wireless-products.html>

Jansons, J., & Dorins, T. (2012, July). Analyzing IEEE 802.11 n standard: outdoor performance. In *2012 Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC)* (pp. 26-30). IEEE.

Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health. (n.d.). *History of wireless networking*. Internet Archive. <https://web.archive.org/web/20080901105939/http://www.jhsph.edu/wireless/history.html>

Kumar, R., & Reddy, A. (2019). *Wireless communication standards: Evolution and future trends* (5th ed.). New York: McGraw Hill.

L-com. (n.d.). *What are the advantages and disadvantages of ISM band frequencies?* L-com. <https://www.l-com.com/frequently-asked-questions/advantages-and-disadvantages-of-ism-band-frequencies>

Matrix-NDI. (2021, June 24). Wired vs. wireless network: Which is better? Matrix-NDI. <https://www.matrix-ndi.com/resources/wired-vs-wireless-internet/>

McCann, E. (2020, October 1). Wi-Fi 101 — *Wi-Fi origins and history*. McCann Tech. <https://evanmccann.net/blog/wifi-101/origins-and-history>

Moumita. (n.d.). *Distributed Coordination Function (DCF)*. TutorialsPoint. <https://www.tutorialspoint.com/distributed-coordination-function-dcf>

Molisch, A. F. (2011). Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). In *Wireless communications* (pp. 417-443). IEEE. <https://doi.org/10.1002/9781119992806.ch19>

Nayarasi. (2014, October 2). *CWAP – 802.11 Control Frame Types*. mrncciew.com. <https://mrncciew.com/2014/10/02/cwap-802-11-control-frame-types/>

Norwood, D. M. (2009, August 18). *Wireless local area networks* [PowerPoint Παρουσίαση]. SlideShare. <https://www.slideshare.net/dmnor510/wireless-local-area-networks>

Ohrman, F., & Handbook, W. F. (2003). *Building 802.11 b Wireless Networks*. New York.

Palo Wireless. (n.d.). About HiperLAN/2. Internet Archive. <https://web.archive.org/web/20080223084856/http://www.palowireless.com/hiperlan2/about.asp>

Perahia, E., & Gong, M. X. (2011). Gigabit wireless LANs: An overview of IEEE 802.11ac and 802.11ad. *SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 15(3), 23–33. <https://doi.org/10.1145/2073290.2073294>

PyNet Labs. (n.d.). *CSMA CD vs CSMA CA – What's the difference?* PyNet Labs. <https://www.pynetlabs.com/csma-cd-vs-csma-ca/>

Proxim Wireless. (2001). HomeRF: *Το πρότυπο ασύρματης δικτύωσης για σπίτια*. Ανακτήθηκε από <http://www.proxim.com>

Radimirsch, M., & Vollmer, V. (1999). HIPERLAN Type 2 Standardisation-An Overview. ITG FACHBERICHT, 139-144.

Rappaport, T. S. (2002). *Ασύρματες επικοινωνίες: Αρχές και πρακτική* (2η έκδοση). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Rifat Sanaç. (2009, February 1). *Point Coordination Function (PCF)*. web.archive.org. <https://web.archive.org/web/20090201053710/http://wireless-center.net/WLANs-WPANs/1436.html>

Stallings, W. (2007). Wireless LANs (Chapter 17). In *Data and computer communications* (8th ed.). NSC Politeknik Surabaya. [https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Computer%20Engineering/Data%20and%20Computer%20Communication%20\(2007\)/18.%20Chapter%2017%20-%20Wireless%20LANs.pdf](https://nscpolteksby.ac.id/ebook/files/Ebook/Computer%20Engineering/Data%20and%20Computer%20Communication%20(2007)/18.%20Chapter%2017%20-%20Wireless%20LANs.pdf)

Shah, V., Patel, R., & Nayak, R. (2017). *Short-range inter-satellite link for data transfer and ranging using IEEE 802.11n*. *International Journal of Computer Applications*, 164(1), 23-25. <https://doi.org/10.5120/ijca2017913561>

Schiller, J. (2003). *Mobile communications*. Boston: Addison-Wesley.

Tse, D., & Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of wireless communication*. Cambridge: Cambridge University Press.

TUALCOM. (2024, February 23). Exploring the role of TDMA in modern data link systems. TUALCOM. <https://www.tualcom.com/exploring-the-role-of-tdma-in-modern-data-link-systems/>

Vardhan, R. (2019, April 9). *Local area network – Wired LAN* [PowerPoint Παρουσίαση]. SlideShare. <https://www.slideshare.net/dmnor510/wireless-local-area-networks>

Wikipedia contributors. (2024, March 14). Wireless LAN. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Μάρτιος 15, 2024, απο το https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wireless_LAN&oldid=1266471178

Wikipedia contributors. (2024, July 31). Point coordination function. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Απρίλιος 10, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Point_coordination_function&oldid=1237719143

Wikipedia contributors. (2024, September 3). HomeRF. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Νοέμβριος 30, 2024, απο <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=HomeRF&oldid=1243862294>

Wikipedia contributors. (2024, November 2). IEEE 802.11b-1999. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε, Δεκέμβριος 04, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11b-1999&oldid=1254971877

Wikipedia contributors. (2024, November 4). IEEE 802.11. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 07, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11&oldid=1270645776

Wikipedia contributors. (2024, December 2). Wired Equivalent Privacy. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 08, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Wired_Equivalent_Privacy&oldid=1271271138

Wikipedia contributors. (2024, August 17). IEEE 802.11a-1999. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 09, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11a-1999&oldid=1240863185

Wikipedia contributors. (2024, September 21). IEEE 802.11g-2003. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 12, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11g-2003&oldid=1264975687

Wikipedia contributors. (2024, September 25). IEEE 802.11n-2009. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 13, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11n-2009&oldid=1272252473

Wikipedia contributors. (2024, September 25). IEEE 802.11n-2009. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 15, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11n-2009&oldid=1272252473

Wikipedia contributors. (2024, December 12). IEEE 802.11ac-2013. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Δεκέμβριο 15, 2024, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11ac-2013&oldid=1262709893

Wikipedia contributors. (2024, August 3). Frequency-hopping spread spectrum. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Ιανουάριος 07, 2025, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Frequency-hopping_spread_spectrum&oldid=1238272802

Wikipedia contributors. (2024, September 4). Direct-sequence spread spectrum. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Ιανουάριος 07, 2025, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Direct-sequence_spread_spectrum&oldid=1244037645

Wikipedia contributors. (2023, August 12). ALOHAnet. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Νοέμβριος 15, 2023, από <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=ALOHAnet&oldid=1263663497>

Wikipedia contributors. (2023, November 16). Carrier-sense multiple access with collision avoidance. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε , Νοέμβριος 20, 2023, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Carrier-sense_multiple_access_with_collision_avoidance&oldid=1205391166

Wikipedia contributors. (2024, December 29). Code-division multiple access. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε, Ιανουάριος 10, 2025, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Code-division_multiple_access&oldid=1266047728

Wikipedia contributors. (2025, January 10). Orthogonal frequency-division multiplexing. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε, Ιανουάριος 11, 2025, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Orthogonal_frequency_division_multiplexing&oldid=1268654981

Wikipedia contributors. (2025, January 6). Time-division multiple access. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε, Ιανουάριος 12, 2025, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time-division_multiple_access&oldid=1267777689

Wikipedia contributors. (2025, January 15). Space-division multiple access. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε, Ιανουάριος 14, 2025, από https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Space-division_multiple_access&oldid=1269647312

Wikipedia contributors. (2024, July 21). Beamforming. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ανακτήθηκε, Ιανουάριος 16, 2025, από <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Beamforming&oldid=1235788941>

Wilkinson, T., Phipps, T. G., & Barton, S. K. (1995). A report on HIPERLAN standardization. *International Journal of Wireless Information Networks*, 2(2), 99-120.

Wong, M. (2017, October 14). Wireless network vs. wired network: Which one to choose?. Medium. <https://medium.com/@mikowong405/wireless-network-vs-wired-network-which-one-to-choose-55b48ff47c3c>

Zhu, Y. H., Tian, X. Z., & Zheng, J. (2011, June). Performance analysis of the binary exponential backoff algorithm for IEEE 802.11 based mobile ad hoc networks. In *2011 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). IEEE.

Αμπατζόγλου Γ., (2018). *Τοπικά δίκτυα – Επίπεδο πρόσβασης δικτύου, Η πρόσβαση στο μέσο*. [Παρουσίαση Μαθήματος] https://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/diktya_ypolog_G_2018_final/_.html

Δίκτυα υπολογιστών 1, (2015). *Μάθημα 3: Τοπολογίες Δικτύων* [Παρουσίαση Μαθήματος]. Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο. https://matthes.mysch.gr/diktya_i/diktya_i_03.pdf

Δίκτυα Υπολογιστών. Κεφάλαιο 4: Υποεπίπεδο Προσπέλασης Μέσου [Παρουσίαση Μαθήματος]. Τμήμα Πληροφορικής Πανεπιστημίου Πειραιώς. https://thales.cs.unipi.gr/modules/document/file.php/TMB115/%ce%94%ce%b9%ce%b1%ce%b%ce%ad%ce%be%ce%b5%ce%b9%cf%82%20%ce%9c%ce%b1%ce%b8%ce%ae%ce%bc%ce%b1%cf%84%ce%bf%cf%82/Presentation_ch4.pdf

Μπούρας Χ., *Εισαγωγή στα Δίκτυα Δεδομένων Μέρος 2* [Παρουσίαση Μαθήματος]. Πανεπιστήμιο Πατρών. https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CEID1064/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BB%CE%AD%CE%BE%CE%B5%CE%B9%CF%82/02_Intro_2.pdf

Ξανθόπουλος, Α. (2020). Μελέτη απόδοσης των αλγορίθμων Backoff σε δίκτυα LoRaWAN (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).

Το Πρότυπο IEEE 802.11. (2019, Απρίλιος 11). *aic.gr*.

<https://www.aic.gr/to-protypo-ieee-802-11/>

Τζίκας, Σ. (2012). *Μελέτη και ανάλυση της ασφάλειας ασύρματων δικτύων όταν τα χρησιμοποιούν χρήστες για κακόβουλες ενέργειες* [Προπτυχιακή Εργασία, Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος]. IHU Repository. <https://repository.ihu.gr/items/7eefe059-edb5-40f9-a54e-01b9e7caae32>

Φυσικό επίπεδο. (2020, Φεβρουαρίου 7). Βικιπαίδεια, Η Ελεύθερη Εγκυκλοπαίδεια. Ανακτήθηκε, Μάρτιος 10, 2024 από το https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B5%CF%80%CE%AF%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%BF&oldid=8048144.