



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ: ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# IEEE WIRELESS

## 802.11-802.15-802.16

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ

ΚΙΤΣΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ

κ.ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ ΜΑΡΓΑΡΙΤΗ

7 ΜΑΡΤΙΟΣ 2005

---

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	V
1.ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11 ΤΗΣ ΙΕΕΕ ΓΙΑ ΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (WLAN). .....	1
1.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΙΕΕΕ 802.11 .....	2
1.3 ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ 802.11 .....	7
1.3.1 ΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ .....	8
1.3.2 ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (DATA LINK LAYER):.....	10
1.3.3 ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΜΑC .....	12
1.4 ΔΙΚΤΥΑ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ ΜΕ ΤΟ 802.11 (AD HOC NETWORKS).....	12
1.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ 802.11 .....	13
1.6 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΤΟΠΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	15
1.7 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ WLAN .....	16
1.8 ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ 802.11B, 802.11A, 802.11G: .....	18
1.9 802.11 ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΟΜΑΔΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	19
1.8.1 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11B .....	20
1.8.2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ 802.11B:.....	24
1.8.3 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11A.....	25
1.8.4 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.11G:.....	26
1.8.5 ΣΥΓΓΡΙΣΗ ΤΩΝ 802.11A, 802.11B, 802.11G .....	27
2 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ 802.15 ΤΗΣ ΙΕΕΕ ΓΙΑ ΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (WPAN).....	29
2.1 ΙΕΕΕ 802.15 WPAN TASK GROUP 1 (TG1) .....	31
2.1.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ: .....	32
2.1.2 ΙΕΕΕ 802.11~802.15.1 ΑΝΑΠΗΔΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ .....	33
2.2 ΙΕΕΕ 802.15 WPAN™ TASK GROUP 2 (TG2). .....	35
2.3 ΙΕΕΕ 802.15 WPAN™ TASK GROUP 3 (TG3)( HIGH-RATE WIRELESS PERSONAL AREA NETWORKS).....	36
2.3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ 802.15.3.....	37
2.3.2 ΤΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.15.3.....	38
2.3.4 ΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ 802.15.3.....	38
2.4 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (WPAN) ΚΑΙ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (LAN).....	39

---

2.5 IEEE 802.15 WPAN™ TASK GROUP 4 (TG4)(Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPAN)).....	40
2.5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.15.4.....	41
2.5.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΟΥ 802.15.4. ....	43
3.1 IEEE 802.16 & WMAN - WIRELESS METROPOLITAN AREA NETWORK` .....	45
3.2 Η ΠΡΟΟΔΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ 802.16. ....	46
3.3 ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ 802.16 (PHY). ....	47
3.4 ΤΟ ΜΕΣΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΡΩΜΑ (MAC)ΤΟΥ 802.16.....	48
3.4.1 ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΚΑΝΑΛΙ. ....	49
3.5 Η ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΟΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ. ....	50
3.6 ΡΥΘΜΟ ΑΠΟΔΟΣΗ, ΕΞΕΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ 802.16. ....	50
3.7 ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ (BROADBAND WIRELESS ACCESS). ....	52
3.8 802.16A 52	
3.9 WiMAX .....	53
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	57

**ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Την τελευταία δεκαετία βιώνουμε την όλο και πιο έντονη παρουσία των ασύρματων τεχνολογιών και η αγορά για τις ασύρματες επικοινωνίες έχει γνωρίσει τεράστια αύξηση. Η ευελιξία που παρέχουν οι ασύρματες τεχνολογίες φάνηκε από νωρίς πως θα άνοιγε ένα τεράστιο πεδίο νέων εφαρμογών. Είναι γεγονός λοιπόν η ασύρματη τεχνολογία στις μέρες μας φθάνει ή είναι σε θέση να φτάσει σε οποιαδήποτε τοποθεσία της γης.

Ασύρματο δίκτυο (Wireless Network) είναι μια νέα τεχνολογία που βοηθάει στην σύνδεση και επικοινωνία ηλεκτρονικών υπολογιστών που βρίσκονται σε απόσταση, χωρίς την χρήση καλωδιακών υποδομών. Λειτουργεί με ασύρματες κάρτες δικτύου ενώ το interface του λογισμικού μοιάζει με αυτό του Ethernet και με μια διεύθυνση υλικού διαφορετική για κάθε κάρτα. Το σημαντικότερο κίνητρο και όφελος από τα ασύρματα δίκτυα (Wireless Networks) είναι η αυξημένη κινητικότητα.

Τα καλωδιακά δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών (Wired Networks) χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές μετάδοσης δεδομένων. Σήμερα όμως το ήδη υπάρχον καλωδιακό δίκτυο – τηλεφωνικές ή μισθωμένες υψηλού ρυθμού μετάδοσης γραμμές - δεν είναι ικανό να υποστηρίξει τις νέες υπηρεσίες ευρείας ζώνης που απαιτούν υψηλό ρυθμό μετάδοσης και εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας. Από την άλλη πλευρά τα ασύρματα συστήματα μπορούν να προσφέρουν την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών σε υψηλές ταχύτητες, ξεπερνώντας έτσι την ανάγκη για επιπλέον καλωδιώσεις μεγάλης χωρητικότητας. Επιπλέον η δημιουργία ασύρματου δικτύου επιβάλλεται είτε από φυσικούς περιορισμούς είτε από ανάγκη συνεχούς μεταφοράς /αλλαγής κάποιων θέσεων εργασίας ή για την υποστήριξη χρηστών που είναι συνεχώς κινούμενοι (mobile users) στο χώρο της επιχείρησης

Η IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineering) *Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών* είναι η παλιότερη και μεγαλύτερη ένωση επαγγελματιών υπολογιστών στον κόσμο. Τα πρότυπα για τα ασύρματα δίκτυα που έχει ορίσει η IEEE είναι το 802.11,802,15,802,16.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την μελέτη των τριών ασύρματων προτύπων του *Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών*. Στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι η παρουσίαση των τριών αυτών ασύρματων πρωτοκόλλων για τα ασύρματα δίκτυα· το IEEE 802.11 πρωτόκολλο για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (**WLAN**), το IEEE 802.15 (**WPAN**) πρωτόκολλο για τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα, το IEEE802.16 (**WMAN**).

Στο κάθε πρότυπο γίνεται ανάλυση στην αρχιτεκτονική και στα επίπεδα του κυρίως στο φυσικό (**PHY**) και στο επίπεδο πρόσβασης μέσου (**MAC**). Επιπλέον μελετείται η ασφάλεια του κάθε πρωτοκόλλου και οι στοιχειώδεις ομάδες του κάθε προτύπου.

Το 802.11 παρέχει μετάδοση στα 1 ή 2 Mbps στη ζώνη των 2,4 GHz χρησιμοποιώντας είτε *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)* είτε *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*

Το 802.15 λειτουργεί στη ζώνη συχνότητας 2,4 GHz με τεχνική *Time Division Multiple Access (TDMA)*. και παρέχει τις μεταδόσεις φωνής σε 64 bit/s και μετάδοση στοιχείων μέχρι 732 kbits/s στις αποστάσεις από 10-100 μέτρα.

Το 802.16 παρέχει ταχύτητα μέχρι και 120 Mbps, χρησιμοποιώντας συχνότητες που βρίσκονται στην περιοχή των 10-66GHz, χρησιμοποιώντας την τεχνική “*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*” ή “**OFMD**”

## 1. Το πρότυπο 802.11 της IEEE για τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN).

Στη σύγχρονη εποχή, η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη. Η ασύρματη τεχνολογία έχει προσεγγίσει, ή τουλάχιστον είναι ικανή να προσεγγίσει, σχεδόν κάθε τοποθεσία στην επιφάνεια της γης. Εκατομμύρια άνθρωποι επικοινωνούν καθημερινά χρησιμοποιώντας κινητά τηλέφωνα, τηλε-ειδοποιητές (pagers) και άλλα προϊόντα ασύρματης τεχνολογίας. Με την τεράστια επιτυχία που γνώρισαν οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες και οι υπηρεσίες αποστολής και λήψης γραπτών μηνυμάτων, δεν είναι καθόλου παράξενο το γεγονός ότι η ασύρματη τεχνολογία έχει αρχίσει να εφαρμόζεται στον ιδιωτικό και στον επιχειρησιακό τομέα ολοένα και περισσότερο.

Έτσι λοιπόν, καθώς τα προϊόντα ασύρματης δικτύωσης κατακλύζουν όλο και περισσότερο την αγορά και καθώς ο αριθμός των υλοποιήσεων ασύρματων δικτύων μεγαλώνει συνεχώς, είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός ή περισσότερων αποδεκτών μηχανισμών και προτύπων (standards), τα οποία θα προσδιορίζουν λύσεις με τις οποίες θα αντιμετωπίζονται τα διάφορα προβλήματα που διέπουν τα ασύρματα δίκτυα. Σε αυτά περιλαμβάνονται ο καθορισμός της τοπολογίας ενός ασύρματου τοπικού δικτύου, τα πρωτόκολλα διαμοιρασμού ενός κοινού μέσου μετάδοσης (Medium Access Control - MAC issues), θέματα ελέγχου και ασφάλειας των χρηστών, κ.α.

Το πρότυπο 802.11 της IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineering*) για τα ασύρματα δίκτυα αποτελεί ένα τέτοιο μηχανισμό. Πρόκειται για την αρχική έκδοση του πρωτοκόλλου, η οποία παρέχει υποστήριξη σε ταχύτητες μέχρι και 2 Mbps. Παρέχει μετάδοση στα 1 ή 2 Mbps στη ζώνη των 2,4 GHz χρησιμοποιώντας είτε *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)* είτε *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*. Ο αριθμός των συσκευών που υιοθετούν το συγκεκριμένο πρότυπο είναι πολύ μικρός και, γενικά η χρήση τους δεν προτείνεται εξαιτίας των καθυστερήσεων που παρατηρούνται κατά την ανταλλαγή των δεδομένων.

Το μοντέλο λειτουργίας του πρωτοκόλλου 802.11 στηρίζεται στη χρήση κατάλληλων καρτών δικτύου και *Access Point*. Όσον αφορά στις κάρτες δικτύου, αυτές είναι οι εσωτερικές ή εξωτερικές συσκευές σχεδιασμένες έτσι ώστε να επικοινωνούν με άλλες συμβατές, υλοποιήσεις χωρίς τη ύπαρξη καλωδίων. Παράλληλα τα *Access Point* λειτουργούν ως συνδετικοί κρίκοι μεταξύ δύο ή περισσότερων υπολογιστών εφοδιασμένων με κάρτες δικτύου συμβατές με το πρωτόκολλο 802.11.

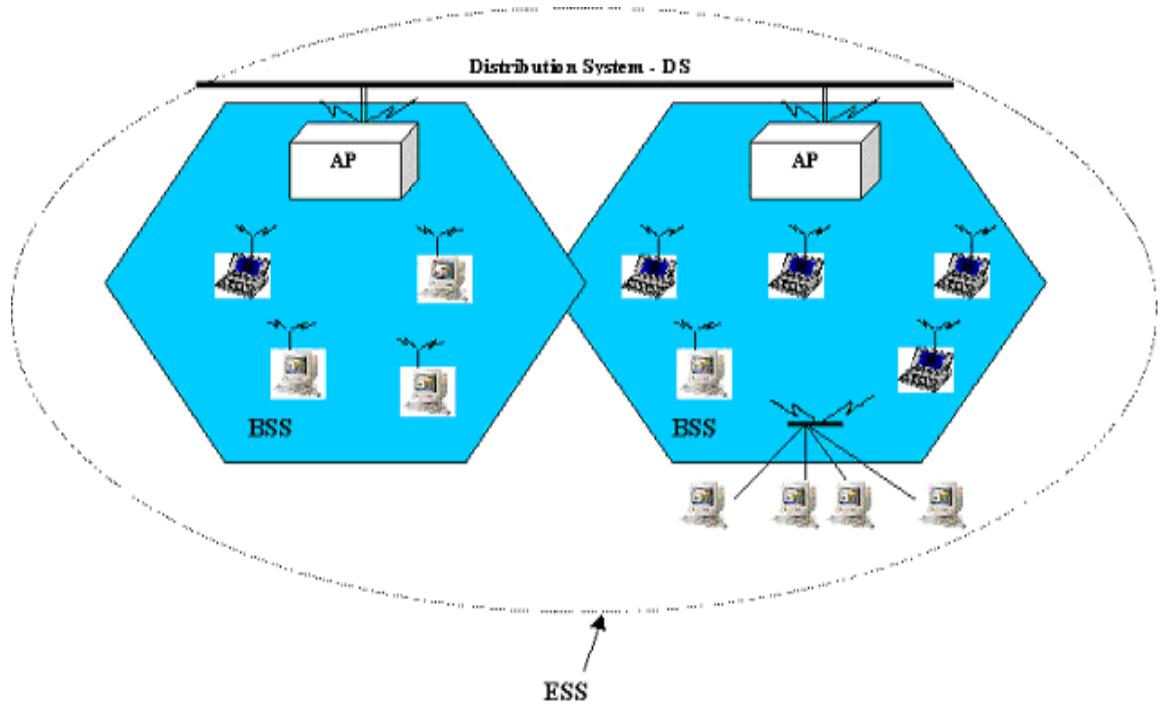
---

Τέλος όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, η συχνότητα στην όποια οι κάρτες δικτύου και τα access point επικοινωνούν είναι είτε τα 2,4 GHz είτε τα 5GHz.

## **1.2 Αρχιτεκτονική του IEEE 802.11**

Ένα ασύρματο δίκτυο 802.11 βασίζεται σε μια κυψελοειδής αρχιτεκτονική, σύμφωνα με την οποία, ολόκληρο το σύστημα διαιρείται σε περιοχές ή κελιά με το κάθε κελί να ελέγχεται από ένα Σταθμό - Βάσης (*Base Station*). Στην ορολογία του 802.11 ένα κελί ονομάζεται Βασικό Σύνολο Υπηρεσιών (*Basic Service Set - BSS*) και ο σταθμός βάσης, Σημείο Πρόσβασης (*Access Point - AP*). Παρόλο που ένα δίκτυο μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο κελί, οι περισσότερες δικτυακές εγκαταστάσεις 802.11 συνήθως αποτελούνται από πολλά κελιά με τα σημεία πρόσβασης να βρίσκονται συνδεδεμένα σε μια ραχοκοκαλιά, η οποία ονομάζεται Σύστημα Διανομής (*Distribution System - DS*) και η οποία μπορεί να είναι είτε ένα ενσύρματο (π.χ. Ethernet), είτε ένα ασύρματο δίκτυο.

Το σύνολο όλων των δια-συνδεδεμένων ασύρματων δικτύων, μαζί με τα σημεία πρόσβασης και το σύστημα διανομής, ονομάζεται Εκτεταμένο Σύνολο Υπηρεσιών (*Extended Service Set - ESS*) και όσον αφορά τα ανώτερα επίπεδα του δικτυακού μοντέλου αναφοράς OSI, σύμφωνα με το πρότυπο, θα πρέπει να θεωρείται ως ένα ενιαίο τοπικό δίκτυο κατηγορίας 802. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η αρχιτεκτονική ενός δικτύου 802.11.



Εικόνα 1: Η αρχιτεκτονική δικτύου κατά το πρότυπο 802.11 της IEEE

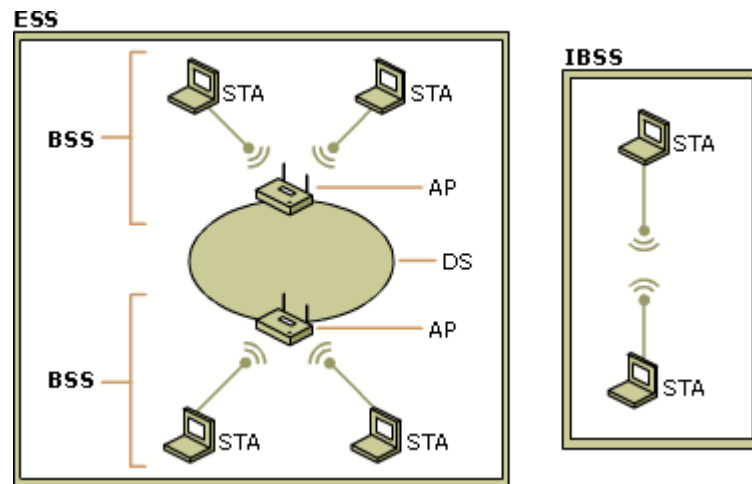
Το πρότυπο ορίζει επίσης και την έννοια της πύλης (*Portal*). Η πύλη είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη δια-σύνδεση ενός δικτύου 802.11 με ένα άλλο δίκτυο κατηγορίας 802. Η λειτουργία της μπορεί να παρομοιαστεί με τη λειτουργία ενός δρομολογητή (*router*), ο οποίος είναι ικανός να δια-συνδέει διαφορετικά δίκτυα. Η λειτουργικότητα μιας πύλης μπορεί να βρίσκεται είτε σε ξεχωριστή συσκευή, είτε να είναι ενσωματωμένη με το σημείο πρόσβασης.

Η αρχιτεκτονική του 802.11 αποτελείται από αρκετά συστατικά μέρη και υπηρεσίες που αλληλεπιδρούν για να παρέχουν στους σταθμούς κινητικότητα εμφανή στα υψηλότερα επίπεδα του δικτύου. Τα βασικά συστατικά της αρχιτεκτονικής είναι:

- **σταθμός (STA),**
- **σημείο πρόσβασης (AP),**
- **ανεξάρτητο βασικό σύνολο υπηρεσιών (IBSS),**
- **βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS),**
- **σύστημα διανομής (DS ) και**
- **εκτεταμένο σύνολο υπηρεσιών (ESS).**

Ο ασύρματος σταθμός (*STA*) περιέχει μια κάρτα προσαρμοσέων, την κάρτα PC, ή μια ενσωματωμένη συσκευή για να παρέχει την ασύρματη συνδετικότητα. Το σημείο πρόσβασης (*AP*) λειτουργεί ως γέφυρα ανάμεσα στους ασύρματους σταθμούς (*STA*) και της υπάρχουσας σπονδυλικής στήλης του δικτύου για την πρόσβαση στο δίκτυο.

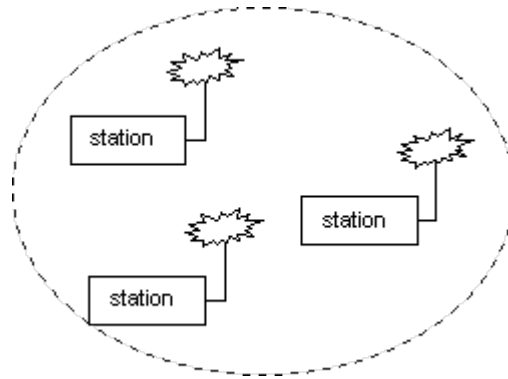




Εικόνα 2:802.11 αρχιτεκτονική (architecture)

**Ασύρματος Σταθμός (STA):** Ο σταθμός (STA) είναι το πιο βασικό συστατικό μέρος του ασύρματου δικτύου. Σταθμός είναι οποιαδήποτε συσκευή που περιέχει τη λειτουργικότητα του πρωτοκόλλου 802.11, το οποίο είναι το επίπεδο πρόσβασης μέσου (MAC) και το φυσικό στρώμα (PHY), και μια σύνδεση στα ασύρματα μέσα. Τυπικά η λειτουργία του 802.11 εφαρμόζεται στο υλικό και το λογισμικό μιας προσαρμοστικής δικτυακής κάρτας (NIC). Ένας σταθμός θα μπορούσε να είναι ένα lap-top PC, μια φορητή συσκευή, ή ένα σημείο πρόσβασης. Οι σταθμοί μπορούν να είναι κινητοί, φορητοί, ή στατικοί και όλοι οι σταθμοί υποστηρίζουν τις υπηρεσίες γνησιότητας, (authentication), ακύρωση γνησιότητας της ταυτότητας, της ιδιωτικότητας, και της υπηρεσίας παράδοσης στοιχείων του σταθμού 802.11.

**Ανεξάρτητο Βασικό σύνολο υπηρεσιών (IBSS):** Ένα ανεξάρτητο βασικό σύνολο υπηρεσιών (IBSS) είναι ένα ασύρματο δίκτυο, αποτελούμενο από τουλάχιστον δύο σταθμούς, που χρησιμοποιείται όταν δεν είναι διαθέσιμη καμία πρόσβαση στο σύστημα διανομής. Ένα IBSS επίσης μερικές φορές αναφέρεται ως *ad-hoc* ασύρματο δίκτυο. Η πιο βασική ασύρματη τοπολογία του LAN είναι ένα σύνολο σταθμών, οι οποίοι έχουν αναγνωρίσει ο ένας τον άλλον και συνδέονται μέσω ασύρματων μέσων με ένα τρόπο 'peer-to-peer'. Αυτή η μορφή της τοπολογίας δικτύων αναφέρεται ως ανεξάρτητη βασικών υπηρεσιών (IBSS). Σε ένα IBSS, οι κινητοί σταθμοί επικοινωνούν απευθείας ο ένας με τον άλλον. Κάθε κινητός σταθμός μπορεί να μην είναι σε θέση να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο σταθμό εξαιτίας των περιορισμών εύρους/τιμών.



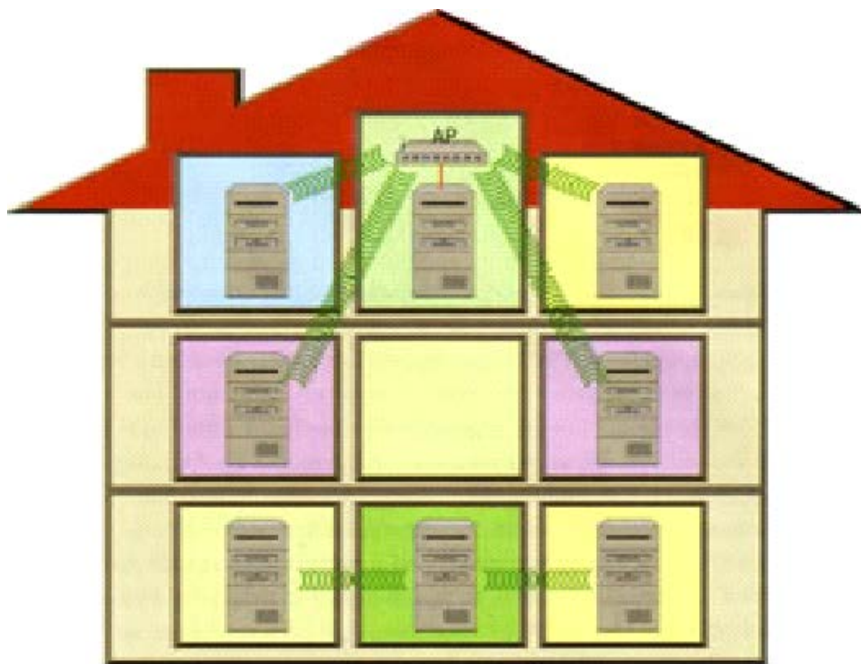
**Εικόνα 3: Independent Basic Service Set (IBSS)**

**Βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS):** Το 802.11 καθορίζει το βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS) ως τη δομική μονάδα ενός 802.11 ασύρματου LAN. Το BSS αποτελείται από μια ομάδα οποιουδήποτε αριθμού σταθμών. Ένα βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS) περιλαμβάνει τη συνδετικότητα στην υπάρχουσα σπονδυλική στήλη του δικτύου μέσω του σημείου πρόσβασης. Το βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS) επίσης μερικές φορές αναφέρεται ως ασύρματο δίκτυο υποδομής. Όλοι οι σταθμοί σε ένα βασικό σύνολο υπηρεσιών (BSS) επικοινωνούν μέσω του σημείου πρόσβασης. Το σημείο πρόσβασης παρέχει τη συνδετικότητα στο συνδεδεμένο με καλώδιο LAN και παρέχει τη λειτουργία γεφυρώματος όταν αρχίζει ένα σταθμός (STA) την επικοινωνία με ένα άλλο σταθμό.

**Εκτεταμένο σύνολο (ESS):** Σε ένα εκτεταμένο σύνολο (ESS) οι σταθμοί πολλαπλάσιου BSS διασυνδέονται. Αυτό επιτρέπει την κινητικότητα, επειδή ο σταθμός μπορεί να κινηθεί από ένα BSS σε ένα άλλο BSS. Τα σημεία πρόσβασης μπορεί να διασυνδεθούν με ή χωρίς καλώδια παρόλα αυτά. Τις περισσότερες φορές συνδέονται με καλώδια. Το σύστημα διανομής είναι το λογικό συστατικό που χρησιμοποιείται για να διασυνδεθεί το βασικό σύνολο υπηρεσιών. Το σύστημα διανομής (DS) παρέχει τις υπηρεσίες διανομής για να επιτρέψει την περιπλάνηση των σταθμών (STA) ανάμεσα στα βασικά σύνολα υπηρεσιών.

**Σημείο πρόσβασης (Access Point):** Τα Access Point είναι ασύρματες συσκευές οι οποίες αυξάνουν την εμβέλεια του ασύρματου δικτύου και ταυτόχρονα προσφέρουν πρόσβαση στο υπάρχον τοπικό ενσύρματο δίκτυο. Όταν σε ένα ασύρματο δίκτυο συμμετέχει ένα Access Point, οι υπολογιστές με ασύρματες κάρτες, αντί να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους, συντονίζονται στο κανάλι εκπομπής του Access

*Point*. Ο ρόλος τους δηλαδή είναι αντίστοιχος των *hub* των ενσύρματων δικτύων. Η εμβέλεια τους κατά κανόνα είναι μεγαλύτερη από αυτή των ασύρματων καρτών, όμως η περιοχή που μπορούν να καλύψουν δεν είναι ίδια για όλα τα μοντέλα. Τα Level One WAP -001 και Unex NexAir HR 011, για παράδειγμα, έχουν μικρή εμβέλεια, ενώ αντίθετα τα 3Com Access Point 6000 και Intel Pro / Wireless 2011b LAN Access Point έχουν πολύ μεγαλύτερη. Τα ακριβότερα μοντέλα μάλιστα, εκτός από τη μεγαλύτερη εμβέλεια, διαθέτουν και πρόσθετα χαρακτηριστικά, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως διακομιστές DHCP για την αυτόματη απόδοση διευθύνσεων IP.



**Εικόνα 4:**Επειδή τα Access Point έχουν πιο δυνατό σήμα από τις ασύρματες κάρτες των υπολογιστών μπορούμε να συνδέσουμε ένα Access Point με ανάστροφο καλώδιο σε ένα από τους υπολογιστές του δικτύου. Στο υποθετικό μας παράδειγμα οι υπολογιστές των δύο πάνω ορόφων βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια του Access Point οπότε επικοινωνούν μεταξύ τους.

Η IEEE 802.11 επιτροπή προτύπων καθορίζει δύο χωριστά επίπεδα για το επίπεδο συνδέσμου δεδομένων του μοντέλου OSI (πρότυπο διασύνδεσης ανοικτού συστήματος), όπου είναι ο λογικός έλεγχος συνδέσεων (*LLC*) και των ελέγχου μέσω πρόσβασης. Το ασύρματο πρότυπο IEEE 802.11 καθορίζει τις προδιαγραφές για το επίπεδο φυσικής σύνδεσης και το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (*MAC*) και επικοινωνεί με το επίπεδο *LLC*.

Όλα τα συστατικά μέρη στην αρχιτεκτονική του 802.11 κατατάσσονται είτε στο επίπεδο ελέγχου μέσων πρόσβασης είτε στο επίπεδο φυσικής σύνδεσης. Οι ασύρματοι σταθμοί, όταν εισέρχονται στο εύρος ενός σημείου πρόσβασης, επιλέγουν ένα ασύρματο σημείο πρόσβασης ώστε να συνδεθούν μαζί του. Αυτή η επιλογή γίνεται αυτόματα με τη χρήση της δύναμης των σημάτων και των πληροφοριών πακέτων ποσοστού σφάλματος. Έπειτα, ο ασύρματος σταθμός επιλέγει την ορισμένη συχνότητα του σημείου πρόσβασης με το οποίο πρόκειται να αρχίσει την επικοινωνία. Περιοδικά, ο ασύρματος σταθμός "ακούει" άλλα σημεία πρόσβασης για να καθορίσει εάν θα παρείχαν ένα ισχυρότερο σήμα ή ένα καλύτερο ποσοστό σφάλματος. Εάν ένα διαφορετικό σημείο πρόσβασης παρέχει ένα καλύτερο σήμα, σταθμός εργασίας αλλάζουν στην συχνότητα εκείνου του σημείου πρόσβασης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ανασύνδεση "*reassociation*".

Η ανασύνδεση μπορεί να συμβεί για πολλούς διαφορετικούς λόγους. Το σήμα μπορεί να αποδυναμωθεί επειδή ο ασύρματος σταθμός απομακρύνεται από το σημείο πρόσβασης ή το σημείο πρόσβασης έχει κορεστεί από υπερβολική άλλη κυκλοφορία ή παρέμβαση. Ο ασύρματος σταθμός, με την αλλαγή σε έναν άλλο ασύρματο σταθμό, μπορεί να διανείμει το φορτίο πέρα από τα παρακείμενα σημεία πρόσβασης, αυξάνοντας την απόδοση των άλλων ασύρματων σταθμών. Χρησιμοποιώντας μια μορφή καναλιών χρονικής επικάλυψης μπορεί να επιτευχθεί κάλυψη για μεγάλες περιοχές. Καθώς ένας ασύρματος σταθμός κινείται, μπορεί να συνδεθεί και να επανασυνδεθεί από το ένα σημείο πρόσβασης σε άλλο, διατηρώντας μια συνεχή σύνδεση κατά τη διάρκεια της διέλευσης.

### **1.3 Τα επίπεδα του 802.11**

Το πρότυπο IEEE 802.11 καθορίζει τις προδιαγραφές στις παραμέτρους και των φυσικών (PHY) αλλά και των μέσων στρωμάτων έλεγχου πρόσβασης (MAC) του δικτύου. Το φυσικό στρώμα PHY, το οποίο χειρίζεται την μεταφορά των στοιχείων μεταξύ των κόμβων, μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε την "direct sequence Spread spectrum"<sup>1</sup> είτε την "frequency-hopping spread spectrum"<sup>2</sup> ή την υπέρυθρη 'IR' διαμόρφωσης θέσης "pulse position modulation"

---

<sup>1</sup> Είναι μια μέθοδος σύμφωνα με την οποία για κάθε bit πληροφορίας που αποστέλλεται δημιουργείτε αυτόματα ένα ακριβές αντίγραφο του, ώστε σε περίπτωση απώλειας του να μην

### 1.3.1 Το φυσικό επίπεδο

Το πρότυπο 802.11 ορίζει τρία διαφορετικά φυσικά επίπεδα. Η ύπαρξη περισσότερων από ένα επιλογών για το φυσικό επίπεδο επιτρέπει στους σχεδιαστές συστημάτων να επιλέγουν κάθε φορά την τεχνολογία εκείνη, η οποία ταιριάζει καλύτερα με το κόστος, την απόδοση και το προφίλ των λειτουργιών μιας συγκεκριμένης εφαρμογής.

Ειδικότερα, το πρότυπο προσδιορίζει ένα οπτικό ΦΕ που χρησιμοποιεί υπέρυθρες ακτίνες για τη μετάδοση δεδομένων και δύο ΦΕ ραδιοσυχνότητας (*RF-based*), τα οποία λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων των 2,4 GHz (από 2,4 - 2,4835 GHz) του ISM. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τα επίπεδα που καλύπτονται από το πρότυπο.

<b>802.11 Υπό επίπεδο Προσπέλασης Μέσου (MAC-sublayer)</b>			<b>ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>
<b>ΥΠΕΡΥΘΡΟ ΦΕ</b>	<b>Direct sequence ΦΕ</b>	<b>FH (FREQUENCY HOP) ΦΕ</b>	<b>ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ</b>

**Εικόνα 5:** τα επίπεδα που καλύπτονται από το πρότυπο 802.11. Μπορούμε να διακρίνουμε τις τρεις διαφορετικές τεχνολογίες ΦΕ που υποστηρίζονται από το πρότυπο.

Οι δύο διαφορετικές τεχνολογίες ΦΕ ραδιοσυχνότητας που απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα, ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών διασποράς φάσματος (*spread spectrum techniques*). Αναφορικά μόνο, οι τεχνολογίες διασποράς φάσματος που προσδιορίζει το 802.11 για τα δύο ΦΕ ραδιοσυχνότητας είναι

---

καθυστερήσει η μεταφορά των δεδομένων.. Με τη μέθοδο της ευθείας ακολουθίας αποστέλλεται σε ένα προκαθορισμένο εύρος συχνότητας μια σειρά bit για κάθε bit. Η αναπαράσταση κάθε bit γίνεται σύμφωνα με έναν «κωδικό», ο οποίος καλείται spreading code.

<sup>2</sup> Είναι μια μέθοδος όπου ο πομπός και δέκτης συγχρονίζονται να αλλάξουν κανάλι επικοινωνίας. Με τη μέθοδο αυτή το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων διαχωρίζεται σε κανάλια. Ο πομπός εκπέμπει τα δεδομένα αλλάζοντας κανάλι σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα.

η τεχνική διασποράς φάσματος άμεσης ακολουθίας (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*) και η τεχνική διασποράς φάσματος αναπήδησης συχνότητας (*Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS*) [1]

Τα μέλη της 802.11 ομάδας εργασίας θεώρησαν ότι η επιλογή μεταξύ εφαρμογών του φυσικού επιπέδου (**PHY**) ήταν απαραίτητη προκειμένου οι σχεδιαστές συστημάτων να μπορούν να επιλέξουν εκείνη την τεχνολογία που ταιριάζει με την τιμή, την απόδοση, και το σχεδιάγραμμα διαδικασιών μιας συγκεκριμένης εφαρμογής. Αυτές οι επιλογές είναι ανάλογες με τις γνωστές επιλογές των ενσύρματων δικτύων: 10Base-T, 10Base-2 και 100Base-T στον χώρο του Ethernet. Έτσι στο φυσικό επίπεδο, το πρότυπο 802.11 καθορίζει τρία φυσικά χαρακτηριστικά για τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής: *Diffused Infrared*, *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)* και *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*.

Το **Infrared** (υπέρυθρο) PHY στρώμα προβλέπεται για μετάδοση δεδομένων στα 1 Mbps (στο φάσμα των 850 nanometer) μέχρι και 2 Mbps. Αν και τα προϊόντα φάσματος, *DSSS* και *FHSS* (επίσης γνωστά και ως ραδιοσυχνότητα – Radio Frequency) διαδίδουν τεχνητά τη ζώνη μετάδοσης έτσι ώστε το σήμα να μπορεί να παραληφθεί αναλλοίωτο και να αποκωδικοποιηθεί παρά το θόρυβο μεταξύ των *RF* και *PHY* επιπέδων, εντούτοις, προσεγγίζουν τη στοιχειώδη εργασία με διαφορετικούς τρόπους.

Το μικρό εύρος κάλυψης που έχει το υπέρυθρο ΦΕ το καθιστά κατάλληλο μόνο για εφαρμογές κλειστού χώρου, όπως ένα μικρό γραφείο, ένα δωμάτιο, κλπ. Αντίθετα, οι άλλοι δύο τύποι ΦΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές όπου υπάρχει η ανάγκη κάλυψης μεγάλων περιοχών (ανοικτών ή κλειστών), όπως είναι μια πανεπιστημιούπολη, τα κτίρια μιας επιχείρησης, κλπ.

Τα συστήματα *FHSS* χρησιμοποιούν ουσιαστικά τις συμβατικές, περιορισμένης ζώνης, τεχνικές μετάδοσης δεδομένων αλλά τακτικά αλλάζουν τη συχνότητα στην οποία μεταδίδουν. Τα συστήματα *DSSS* διευρύνουν τεχνητά το εύρος ζώνης που απαιτείται για να διαβιβαστεί ένα σήμα διαμορφώνοντας τα δεδομένα του ρεύματος με έναν spreading κώδικα. Ο δέκτης μπορεί να ανιχνεύσει τα χωρίς λάθη δεδομένα ακόμα κι αν ο θόρυβος εμμένει στις μερίδες της ζώνης μετάδοσης.

Στο 802.11, το *DSSS PHY* επίπεδο καθορίζει τα μέγιστα ποσοστά δεδομένων μεταξύ 1 και 2 Mbps. Το πρώτο χρησιμοποιεί τη διαφορική δυαδική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (*DBPSK*) και το τελευταίο τη διαφορική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης 90 μοιρών (*DQPSK*).

Επίσης το πρότυπο καθορίζει το *FHSS PHY* επίπεδο που λειτουργεί στα 2 Mbps και με επιφύλαξη στα 1 Mbps στα εξαιρετικά θορυβώδη περιβάλλοντα. Τα *DSSS* και

*FHSS* λειτουργούν με ταχύτητες 1 Mbps ή 2 Mbps στο φάσμα των 2.4 GHz έως 2.4835 GHz. Αυτή η ζώνη συχνότητας (2.4GHz 2.4835GHZ) είναι μέρος της ISM ζώνης - μια σφαιρική ζώνη που τίθεται κυρίως για βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική χρήση, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τις ασύρματες συσκευές του τοπικού LAN χωρίς να απαιτούνται άδειες για τους τελικούς χρήστες. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ασύρματες συσκευές για να είναι λειτουργικές πρέπει να προσαρμοστούν στο ίδιο πρότυπο με το *PHY* επίπεδο.

### 1.3.2 Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (*Data Link Layer*):

Στο πρότυπο 802.11 το *Data Link Layer* αποτελείται από δύο υποστρώματα:

- *Logical Link Control (LLC)* και
- *Media Access Control (MAC)*.

Το 802.11 χρησιμοποιεί το ίδιο **LLC** επίπεδο με το πρότυπο 802.2 και 48 bit διευθυνσιοδότηση όπως άλλα 802 LANs, που επιτρέπουν απλό γεφύρωμα μεταξύ ασύρματων και IEEE ενσύρματων δικτύων. Αξίζει να θυμηθούμε ότι το 802.11 **MAC** επίπεδο αναπτύχθηκε για να λειτουργήσει με το πρότυπο Ethernet με σκοπό να εξασφαλίσει ότι οι ασύρματοι και συνδεδεμένοι με καλώδιο κόμβοι στο επιχειρηματικό τοπικό LAN είναι λογικά όμοιοι. Φυσικά το 802.11 **MAC** επίπεδο είναι τελείως διαφορετικό από το ενσύρματο **MAC** Ethernet, αλλά οποιεσδήποτε διαφορές καλύπτονται από ένα AP που συνδέει ένα κανάλι WLAN με το LAN backbone.

Πιο συγκεκριμένα η μορφή πλαισίων που διαθέτει, ενεργοποιεί ένα πλήθος γνωρισμάτων όπως γρήγορη αναγνώριση, διαχείριση των κρυμμένων σταθμών, διαχείριση δύναμης, ασφάλεια δεδομένων. Τα πρότυπα του WLAN χρησιμοποιούν την **Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/ CA)** MAC μέθοδο προσπέλασης στο μέσο, ενώ το πρότυπο Ethernet χρησιμοποιεί ένα **Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection (CSMA/ CD)** μέθοδο προσπέλασης στο μέσο. Το πρωτόκολλο CSMA/CD ρυθμίζει τον τρόπο με τον οποίο οι σταθμοί Ethernet πετυχαίνουν πρόσβαση στο καλώδιο και πώς ανιχνεύουν και χειρίζονται τις συγκρούσεις που εμφανίζονται όταν προσπαθούν δύο ή περισσότερες συσκευές να επικοινωνήσουν ταυτόχρονα. Σε ένα 802.11 **WLAN**, η ανίχνευση σύγκρουσης δεν οφείλεται πιθανώς σε αυτό που είναι γνωστό ως "near/far" πρόβλημα - για να ανιχνεύσει μια σύγκρουση, ένας σταθμός πρέπει να είναι σε θέση να μεταδώσει και να

ακούσει συγχρόνως - αλλά στα ραδιοσυστήματα που η μετάδοση 'πνίγει' τη δυνατότητα του σταθμού "να ακούσει" μια σύγκρουση.

Το CSMA/CA προσπαθεί να αποφευχθούν οι συγκρούσεις με τη χρησιμοποίηση της ρητής αναγνώρισης πακέτων (ACK), που σημαίνει ότι ένα πακέτο ACK στέλνεται από το σταθμό - παραλήπτη για να επιβεβαιώσει ότι το πακέτο δεδομένων έφθασε άθικτο. Το CSMA/CA λειτουργεί ως εξής: ο σταθμός που επιθυμεί να διαβιβάσει ανιχνεύει τον 'αέρα' και εάν καμία δραστηριότητα δεν ανιχνεύεται, ο σταθμός περιμένει μια πρόσθετη τυχαία επιλεγμένη χρονική περίοδο και έπειτα διαβιβάζει, εφόσον το μέσο εξακολουθεί να είναι ελεύθερο. Εάν το πακέτο φτάσει στον προορισμό του άθικτο, ο λαμβάνων σταθμός εκδίδει ένα πλαίσιο ACK το οποίο εφόσον παραληφθεί από τον πομπό επιτυχώς ολοκληρώνετε η διαδικασία. Στην περίπτωση που το πλαίσιο ACK δεν φτάσει στον πομπό με επιτυχία ή το αρχικό πακέτο δεδομένων δεν φτάσει στον δέκτη άθικτο, τότε θεωρείται ότι εμφανίστηκε σύγκρουση και το πακέτο δεδομένων διαβιβάζεται πάλι μετά από κάποιο τυχαίο χρονικό διάστημα αναμονής.

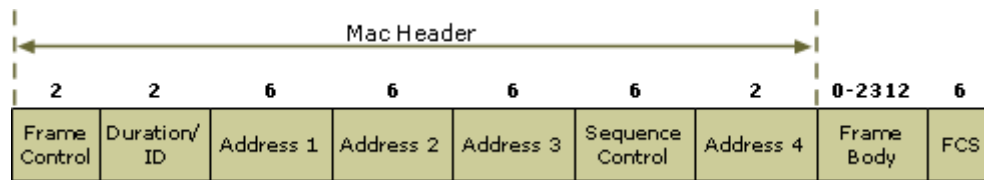
Σε ένα δίκτυο 802.11, το υπό-επίπεδο προσπέλασης μέσου (MAC layer), είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των παρακάτω λειτουργιών:

- Για τον έλεγχο της πρόσβασης των σταθμών στο κοινό μέσο μετάδοσης
- Για τη λειτουργία του κατακερματισμού και της επανασυναρμολόγησης (fragmentation and reassembly)
- Για τη λειτουργία της αναμετάδοσης πακέτου (packet retransmission)
- Για τη λειτουργία της επιβεβαίωσης λήψης (acknowledges).

### **Δομή του πλαισίου 802.11**

Το πλαίσιο ελέγχου του 802.11 του πρωτοκόλλου MAC (για τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο), όπως φαίνεται στην εικόνα.2, αποτελείται από την επικεφαλίδα MAC (ελέγχου μέσων πρόσβασης), το πλαίσιο του κυρίου σώματος(δεδομένα), και μια ακολουθία ελέγχου λαθών στο πλαίσιο (FCS). Οι αριθμοί στην εικόνα 2 αντιπροσωπεύουν τον αριθμό δυαδικών ψηφίων για κάθε πεδίο.



**Εικόνα 6:** 802.11 Σχηματισμός πλαισίου ελέγχου μέσω πρόσβασης.

### 1.3.3 Διευθύνσεις MAC

Αρκετά Σημεία Πρόσβασης παρέχουν την δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τις διευθύνσεις MAC των συσκευών ασύρματης σύνδεσης που μπορούν να συνδεθούν σε αυτά. Πρέπει να τονιστεί ότι σε κάθε συσκευή αντιστοιχεί μια μοναδική διεύθυνση MAC. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να προστεθεί ακόμα ένα επίπεδο ασφάλειας, το οποίο όμως έχει και αυτό τις αδυναμίες του. Είναι σχετικά εύκολο για έναν «εισβολέα» να υποκλέψει, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό τις διευθύνσεις MAC από τα πακέτα που διακινούνται στο δίκτυο, ακόμα και όταν αυτά είναι κρυπτογραφημένα. Το μόνο που χρειάζεται να κάνει για να αποκτήσει πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο είναι να αλλάξει τη διεύθυνση MAC που στέλνει η συσκευή του, με κάποια από αυτές που έχει υποκλέψει.

## 1.4 Δίκτυα ειδικού σκοπού με το 802.11 (Ad hoc networks)

Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να χρειάζεται να υλοποιηθεί ένα ασύρματο δίκτυο που να ακολουθεί το πρότυπο 802.11, αλλά του οποίου η δομή να μην είναι απαραίτητο να είναι κυψελοειδής, ή καλύτερα να μην περιέχει Σημεία Πρόσβασης. Παραδείγματα αυτού του τύπου περιλαμβάνουν την ασύρματη διασύνδεση δύο προσωπικών φορητών notebooks, τη διασύνδεση δύο προσωπικών φορητών υπολογιστών (laptops), κλπ.

Το πρότυπο 802.11, αντιμετωπίζει αυτήν την ανάγκη, προσδιορίζοντας τον Ad-Hoc τρόπο λειτουργίας (*Ad-Hoc mode*). Ένα ασύρματο δίκτυο που βρίσκεται σε *Ad-Hoc* τρόπο λειτουργίας, δεν περιέχει σημεία πρόσβασης και ένα τμήμα των λειτουργιών του εκτελείται από τους ίδιους τους σταθμούς, όπως είναι ο συγχρονισμός,

η εκπομπή πλαισίων - φάρων, κλπ. Επίσης, κάποιες άλλες λειτουργίες δεν υποστηρίζονται, όπως η αναμετάδοση πλαισίων μεταξύ σταθμών του δικτύου που δεν έχουν τη δυνατότητα άμεσης επικοινωνίας, μιας και αυτή η λειτουργία κανονικά εκτελείται από το σημείο πρόσβασης. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι σταθμοί σε ένα ad-hoc δίκτυο θα πρέπει να μπορούν να επικοινωνήσουν με όλους τους υπόλοιπους.

## 1.5 Ασφάλεια 802.11

Το 802.11 πρότυπο παρέχει τις προδιαγραφές γνησιότητας και κρυπτογράφησης.

**Γνησιότητα (Authentication):** Επειδή τα ασύρματα (LANs) έχουν περιορίσει τη φυσική διασφάλιση για να αποτρέψουν την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, το 802.11 καθορίζει τις υπηρεσίες γνησιότητας για να ελέγξουν την πρόσβαση στο WLAN. Ο στόχος της υπηρεσίας γνησιότητας είναι να έχει έλεγχο πρόσβασης ίσο με το συνδεδεμένο με καλώδιο LAN.

Η υπηρεσία γνησιότητας παρέχει έναν μηχανισμό για έναν σταθμό για να αναγνωρίσει ένα άλλο σταθμό. Χωρίς αυτήν την απόδειξη της ταυτότητας, ο σταθμός δεν επιτρέπεται για να χρησιμοποιήσει το WLAN για την παράδοση δεδομένων. Όλοι οι σταθμοί 802.11, εάν είναι μέρος ενός ανεξάρτητου δικτύου BSS ή ESS, πρέπει να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία γνησιότητας πριν από την επικοινωνία με ένα άλλο σταθμό. Το IEEE 802.11 καθορίζει δύο τύπους υπηρεσιών γνησιότητας.

Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει το ανοικτό σύστημα, και τα κοινά κλειδιά τύπων γνησιότητας.

**Το ανοικτό σύστημα γνησιότητας:** Αυτή είναι η εξορισμού γνησιότητα, η οποία είναι μια πολύ απλή διαδικασία. Πρώτα ο σταθμός που θέλει να πιστοποιήσει έναν άλλο σταθμό στέλνει ένα διευθυντικό πλαίσιο γνησιότητας που περιέχει την ταυτότητα του σταθμού αποστολής. Ο λαμβάνων σταθμός στέλνει έπειτα πίσω ένα πλαίσιο που ενημερώνει εάν αναγνωρίζει την ταυτότητα γνησιότητας του σταθμού.

**Κοινό κλειδί γνησιότητας:** Αυτός ο τύπος γνησιότητας υποθέτει ότι κάθε σταθμός έχει λάβει ένα κοινό μυστικό κλειδί μέσω ενός ασφαλούς καναλιού ανεξάρτητου από το δίκτυο 802.11. Οι σταθμοί πιστοποιούν μέσω της κοινής γνώσης του μυστικού κλειδιού. Η χρήση του κοινού κλειδιού γνησιότητας απαιτεί την εφαρμογή της κρυπτογράφησης μέσω της καλωδιωμένης ισοδύναμης ιδιωτικότητας ή της γνησιότητας του αλγορίθμου **WEP** (*Wired Equivalent Privacy*), ο οποίος εκτελείται

σε όλους τους σταθμούς και δεν είναι τίποτε άλλο από μία γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών (*Pseudo Random Number Generator*), η οποία αρχικοποιείται από ένα διαμοιραζόμενο μυστικό κλειδί. Για κάθε πακέτο που μεταδίδεται από ένα σταθμό, η γεννήτρια παράγει μια ψευδοτυχαία ακολουθία bit, της οποίας το μήκος είναι ίσο με το μεγαλύτερο δυνατό μέγεθος πακέτου και η οποία χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση των bits του μηνύματος. Ο δέκτης από την πλευρά του θα πρέπει να γνωρίζει το μυστικό κλειδί αρχικοποίησης, έτσι ώστε για κάθε εισερχόμενο πακέτο να μπορεί να παράγει τη σωστή ψευδοτυχαία ακολουθία για την αποκρυπτογράφηση του.

Περιλαμβάνει μια διαδικασία δυο σταδίων, που αποτελείται από έναν ισχυρισμό ταυτότητας και ένα αίτημα για την γνησιότητα, που ακολουθείται από το αποτέλεσμα γνησιότητας. Το κοινό κλειδί (*shared key*) υποστηρίζει την γνησιότητα ενός σταθμού (STA) είτε ως μέλος εκείνων των σταθμών που ξέρουν ένα κοινό μυστικό κλειδί, είτε ως μέλος των σταθμών που δεν ξέρουν. Το πρότυπο 802.11 πρόσφατα υποθέτει ότι το κοινό κλειδί παραδίδεται στους συμμετέχοντες σταθμούς μέσω ενός ασφαλούς καναλιού που είναι ανεξάρτητο από το IEEE 802.11.

Η ασύρματη ισοδύναμη ιδιωτικότητα (*Wireless Equivalent Privacy*) (**WEP**) είναι η προδιαγραφή κρυπτογράφησης που καθορίζεται από το πρότυπο του IEEE 802.11. Η πρόθεση της ασφάλειας WEP είναι να παρέχει την ίδια ασφάλεια σε ένα ασύρματο δίκτυο που παρέχεται σε ένα καλωδιωμένο δίκτυο. Στα ασύρματα δίκτυα, επειδή τα δεδομένα μεταδίδονται χρησιμοποιώντας μια κεραία, τα σήματα μπορούν να παρεμποδιστούν, και, εάν δεν κρυπτογραφηθούν, να εμφανιστούν από σε εισβολέα στο σύστημα.

Αν και η 802.11 προδιαγραφή παρέχει και την γνησιότητας και την κρυπτογράφηση, δεν καθορίζει ή δεν παρέχει ένα διαχείρισης του κλειδιού WEP του πρωτόκολλο. Αυτό είναι ένας περιορισμός στις υπηρεσίες ασφάλειας του IEEE 802.11, ειδικά σε μια θέση λειτουργίας δικτύου με ασύρματη διασύνδεση με μεγάλο αριθμό σταθμών. Τα πρόχειρα πρότυπα του 802.11 θέτουν τους περιορισμούς ασφάλειας του 802.11.

Μία πολύ σημαντική δυνατότητα του 802.11 είναι το «κλειδί» SSID (*Service Set Identifier*) για την πρόσβαση στο δίκτυο. Όλα τα σημεία πρόσβασης σε ένα ασύρματο δίκτυο έχουν το ίδιο SSID και επιτρέπουν πρόσβαση στο δίκτυο μόνο στους ασύρματους κόμβους που διαθέτουν το ίδιο SSID. Ο μηχανισμός αυτός αν χρησιμοποιηθεί σωστά, παρέχει μία υποτυπώδη ασφάλεια στο δίκτυο, αφού για να συνδεθεί κανείς χρειάζεται να δηλώσει στο λογισμικό της ασύρματης κάρτας του τον κωδικό SSID. Είναι μάλιστα εφικτό ένας υπολογιστής να ρυθμιστεί με διαφορετικά

*SSID* για την πρόσβαση σε διαφορετικά δίκτυα. Η επιλογή του σωστού *SSID* γίνεται αυτόματα ή χειροκίνητα από τον ίδιο το χρήστη. Οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι στα περισσότερα ασύρματα δίκτυα το *SSID* δεν αποτελεί δικλίδα ασφαλείας, άλλα ένα απλό αναγνωριστικό για την είσοδο στο δίκτυο. Εξάλλου, τα σημεία πρόσβασης μπορεί να είναι ρυθμισμένα να εκπέμπουν το *SSID* τους, συνεπώς οποιοσδήποτε πλησιάσει στην εμβέλεια τους θα αποκτήσει πρόσβαση στο δίκτυο.

## 1.6 Τα πλεονεκτήματα των ασύρματων τοπικών δικτύων

Τα πλεονεκτήματα των ασύρματων τοπικών δικτύων μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

**Κινητικότητα.** Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα παρέχουν στους χρήστες, εντός των χώρων κάλυψής τους, τη δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και από οποιοδήποτε μέρος του χώρου εργασίας τους. Αυτή η ευχέρεια στη κίνηση αυξάνει την παραγωγικότητα και τις ευκαιρίες για άμεση εξυπηρέτηση, ιδιότητες που δεν είναι εύκολα πραγματοποιήσιμες στα ενσύρματα δίκτυα.

**Ταχύτητα εγκατάστασης και απλότητα.** Η εγκατάσταση ενός WLAN είναι γρήγορη και εύκολη και εξαλείφει την ανάγκη εγκατάστασης καλωδίων.

**Ευελιξία εγκατάστασης.** Η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει στο δίκτυο να επεκτείνεται εκεί που είναι δύσκολη η εγκατάσταση ενσύρματων υποδομών (π.χ. σε απομονωμένες περιοχές).

**Μειωμένο κόστος συντήρησης.** Ενώ η αρχική επένδυση που απαιτείται για την αγορά εξοπλισμού ενός ασυρμάτου τοπικού δικτύου είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη μίας ενσύρματης σύνδεσης, το συνολικό κόστος λειτουργίας μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο. Τα μακροπρόθεσμα κέρδη είναι μμεγαλύτερα, ειδικά σε δυναμικά περιβάλλοντα, όπου απαιτούνται πολύ συχνές μετακινήσεις και αλλαγές. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα WLANs χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα για να διαβιβάσουν τις πληροφορίες από ένα σημείο σε ένα άλλο, χωρίς απαίτηση για ενσύρματη σύνδεση. Αρχικά, οι πληροφορίες προς μμετάδοση διαμορφώνουν κατάλληλα τη φέρουσα συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων του πομπού, κατόπιν τα κύματα μμεταδίδονται μέσω του αέρα και τέλος, φτάνοντας στο δέκτη, αποδιαμορφώνονται και οι μεταδιδόμενες πληροφορίες ανακτώνται. Υπάρχει δυνατότητα ο πομπός να εκπέμπει ταυτόχρονα, στον ίδιο χώρο, περισσότερες της μίας φέρουσας συχνότητας, οι οποίες δεν παρεμβάλλονται μμεταξύ τους, εφόσον βέβαια

αυτές είναι όλες διαφορετικές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για να ανακτήσει τις πληροφορίες ο δέκτης, συντονίζεται (ή επιλέγει) μμια ραδιοσυχνότητα, απορρίπτοντας έτσι τα ραδιοσήματα στις υπόλοιπες συχνότητες. Σε μια τυπική διάταξη WLAN, μια συσκευή πομπού/δέκτη, αποκαλούμενη σημείο πρόσβασης, είναι συνδεδεμένη στο ενσύρματο δίκτυο σε συγκεκριμένη θέση, χρησιμοποιώντας συνήθως τυπικό καλώδιο Ethernet. Αυτό το σημείο πρόσβασης λαμβάνει, αποθηκεύει, και διαβιβάζει πληροφορίες μεταξύ του WLAN και του ενσύρματου δικτύου, ενώ μπορεί να υποστηρίξει μια μικρή ομάδα χρηστών και να λειτουργήσει εντός μιας ακτίνας από 30 έως μερικές 100άδες μέτρα. Οι τελικοί χρήστες έχουν πρόσβαση στο WLAN μέσω των ειδικών προσαρμογέων ασύρματου τοπικού δικτύου, οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν ως κάρτες στους φορητούς υπολογιστές, κάρτες ISA ή PCI στους υπολογιστές γραφείου, ή ακόμα και να είναι πλήρως ενσωματωμένες συσκευές μμέσα στους φορητούς υπολογιστές. Οι προσαρμογείς WLAN αποτελούν τη διεπαφή μεταξύ του λειτουργικού συστήματος των χρηστών του δικτύου και των ραδιοκυμάτων, μέσω μιας κεραίας. Η φύση της ασύρματης σύνδεσης είναι διαφανής (transparent) στο λειτουργικό σύστημα των τερματικών χρηστών.

**Αξιοπιστία – ανεξαρτησία:** Ένα ασύρματο δίκτυο κατάλληλα διαμορφωμένο μπορεί να έχει μεγάλη αξιοπιστία. Έτσι μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να εργάζεται όταν συμβαίνουν διακοπές ρεύματος και να περιλαμβάνει πολλές εναλλακτικές διαδρομές.

**Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο:** Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα έχουν προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Έτσι, η προσθήκη ασύρματης δικτύωσης σε υπάρχουσες δομές δικτύων μπορεί να γίνει με τον ευκολότερο τρόπο. Πολλές φορές δε, αποτελούν επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου.

## **1.7 Υλοποίηση εκτεταμένου δικτύου με χρήση WLAN**

Η ευκολία με την οποία μπορεί κανείς να στήσει ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο ήταν ένας από τους βασικούς παράγοντες που συνέβαλαν στη ραγδαία εξάπλωση των δικτύων αυτού του είδους. Τα στοιχεία τα οποία χρειάζεται ένα WLAN για να λειτουργήσει, καθώς και για να συνδεθεί στο ευρύτερο δίκτυο, παρατίθενται παρακάτω:

**Προσαρμογείς ασύρματου τοπικού δικτύου:**

Οι προσαρμογείς αυτοί λειτουργούν ως συνδετικά στοιχεία (*interfaces*) μεταξύ του τελικού εξοπλισμού του χρήστη (π.χ. *laptop*) και του σημείου ασύρματης πρόσβασης του δικτύου.

**Σημεία ασύρματης πρόσβασης (Access Points):**

Το σημείο πρόσβασης είναι μια μικρή συσκευή, συνήθως με μια ή δύο κεραίες. Αυτός ο πομποδέκτης συνδέεται με το ενσύρματο τοπικό δίκτυο (ή με την ευρυζωνική σύνδεση) χρησιμοποιώντας κλασικό καλώδιο Ethernet. Μέσω της συσκευής αυτής, επικοινωνεί ο προσαρμογέας του τελικού χρήστη με το υπόλοιπο δίκτυο.



**Γέφυρες:** Οι γέφυρες παρέχουν την από σημείο σε σημείο ασύρματη σύνδεση μεταξύ δύο WLANs, π.χ. μεταξύ δύο διαφορετικών πατωμάτων.

**Κόμβοι Διανομής (Distribution Nodes):** Συγκεντρώνουν και συνδέουν πολλαπλά σημεία ασύρματης πρόσβασης με το ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο κορμού. Πολλές φορές, και για λόγους αξιοπιστίας, χρησιμοποιούνται δυο ανεξάρτητες συνδέσεις για τη σύνδεσή τους.

**Κόμβοι κορμού (Core Nodes):** Διασυνδέουν μεταξύ τους τους κόμβους διανομής. Καλύπτουν πολλούς χρήστες, λόγω του μεγάλου αριθμού των σημείων πρόσβασης που είναι συνδεδεμένα μέσω των κόμβων διανομής με αυτά. Σχεδόν πάντα συνδέονται μεταξύ τους με περισσότερες από μια συνδέσεις, ιδανικά μέσω διαφορετικών δρόμων για να μειωθούν περιπτώσεις μοναδικού στοιχείου δυσλειτουργίας (Single point of failure). Ένα εκτεταμένο δίκτυο υλοποιείται ως εξής με τη χρήση WLANs: Πολυκατευθυντικές κεραίες τοποθετούνται σε σημεία πρόσβασης ή σε κόμβους διανομής/κορμού, ενώ κατευθυντικές στους τελικούς

χρήστες. Οι κεραιές αυτές είναι εξωτερικές και συνήθως βρίσκονται στις κορυφές κτιρίων που διαμένουν οι χρήστες. Αυτή είναι και η λογική που ακολουθείται και για την παροχή υπηρεσιών μέσω WLAN στο κοινό. Ένας απλός χρήστης που θέλει μόνο να συνδεθεί, αλλά να μη διευκολύνει την ευρύτερη δικτύωση, χρειάζεται μία κατευθυντική κεραιά. Με αυτή μπορεί να εξασφαλίσει πρόσβαση από ένα σημείο πρόσβασης, ώστε να έχει σύνδεση στο τοπικό δίκτυο και ενδεχομένως και στο Διαδίκτυο (αν το σημείο πρόσβασης παρέχει τέτοια δυνατότητα).

Εναλλακτικά ένας πιο ενεργός χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί δύο κατευθυντικές κεραιές, ώστε να φροντίζει για την συνέχιση του δικτύου ή και μια πολυκατευθυντική για να λειτουργεί ο ίδιος σαν σημείο πρόσβασης άλλων χρηστών. Αν κάποιος κόμβος έχει πάνω από δύο κατευθυντικές κεραιές μπορεί να διευκολύνει και την πολλαπλή δρομολόγηση. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δημιουργηθεί ένα δίκτυο που να καλύπτει μία πόλη. Τέλος, συνδέοντας ο χρήστης μία δική του γραμμή DSL με το WLAN θα μπορούσε να γίνει «πύλη» για το Διαδίκτυο και να επιτρέπει την πρόσβαση γειτονικών χρηστών σε αυτό. Ο χρήστης σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να διαθέτει και έναν router.

### **1.8 Τα πρότυπα 802.11b, 802.11a, 802.11g:**

Η ασύρματη επικοινωνία διέπεται από τους κανόνες που καθορίζουν τα πρότυπα 802.11b, 802.11a, 802.11g. Η ανάγκη για ασύρματη δικτύωση είχε ως αποτέλεσμα να παρουσιαστούν μέσα σε λίγα χρόνια αρκετά πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας. Πατέρας όλων θεωρείται το 802.11, πάνω στο οποίο βασίστηκαν τα 802.11a και 802.11b. Μεταξύ των δύο τελευταίων εξακολουθεί, ακόμα και σήμερα, να κυριαρχεί το γερασμένο 802.11b, αφού το 802.11a παρά την υψηλή ταχύτητα διαμεταγωγής που υπόσχεται των 54Mbps. Η συμβατικότητα του 802.11a με τον προκάτοχο του 802.11b, καθώς και το γεγονός ότι σε αρκετά κράτη η συχνότητα των 5 GHz δεν είναι διαθέσιμη για την ανάπτυξη σχετικών εφαρμογών, ήταν οι σημαντικότεροι λόγοι που το 802.11a δεν γνώρισε την αναμενόμενη αποδοχή. Βέβαια μολονότι στην χώρα μας δεν εμφανίστηκαν προϊόντα που να υποστηρίζουν το 802.11a, στην Αμερική και σε ορισμένες άλλες χώρες κυκλοφόρησαν από διάφορους κατασκευαστές ασύρματες συσκευές κάθε τύπου (PCMCIA, PCI κτλ). Με το 802.11g

όμως βρίσκεται προς των πυλών, το οποίο προσφέρει την πολυπλοκότητα συμβατικότητα με το 802.11b, ενδεχομένως να αλλάξει ριζικά το σκηνικό στο χώρο.

## 1.9 802.11 Στοιχειώδεις ομάδες εργασίας

Οι στοιχειώδεις ομάδες εργασίας του προτύπου 802.11 είναι:

- 802.11a** - Δημιούργησε ένα πρότυπο για λειτουργία WLAN στη ζώνη 5 GHz, με ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων μέχρι 54 Mbps. Δημοσιεύτηκε το 1999. Τα προϊόντα βασισμένα σε αυτά τα πρότυπα αναμένονται στις αρχές του 2002. Έχει ολοκληρώσει τις εργασίες της.
- 802.11b** - Δημιούργησε ένα πρότυπο (επίσης γνωστό ως WiFi) για λειτουργία WLAN στη ζώνη 2.4 GHz, με ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων μέχρι 11 Mbps. Δημοσιεύτηκε το 1999. Προϊόντα βασισμένα στο 802.11b κυκλοφορούν ευρέως στην αγορά. Έχει ολοκληρώσει τις εργασίες της.
- 802.11c** – Παρέχει τεκμηρίωση για συγκεκριμένες διαδικασίες επιπέδου MAC του 802.11 στο ISO/ IEC (Διεθνής Οργανισμός για την Τυποποίηση / Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή) 10038 πρότυπο (IEEE 802.1D). Η εργασία του ολοκληρώθηκε.
- 802.11d** – Δημοσιεύει ορισμούς και απαιτήσεις για να επιτρέψει στο πρότυπο 802.11 να λειτουργήσει στις χώρες που δεν εξυπηρετούνται αυτήν την περίοδο από το πρότυπο. Σε εξέλιξη.
- 802.11e** - Προσπαθεί να εμπλουτίσει το MAC επίπεδο του 802.11 για να αυξήσει την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας. Η βελτίωση στις ικανότητες και την αποδοτικότητα σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέψουν σε εφαρμογές όπως η φωνή, το βίντεο, ή η μεταφορά ήχου πάνω από 802.11 ασύρματα δίκτυα. Σε εξέλιξη.
- 802.11f** - Αναπτύσσει τις συνιστώμενες πρακτικές για την εφαρμογή ορισμών του 802.11 για τα σημεία πρόσβασης και τα συστήματα διανομής. Ο σκοπός είναι να αυξηθεί η συμβατότητα μεταξύ των συσκευών σημείου πρόσβασης διαφορετικών προμηθευτών. Σε εξέλιξη.
- 802.11g** - Αναπτύσσει μια επέκταση υψηλότερης-ταχύτητας του PHY επιπέδου στο 802.11b πρότυπο, διατηρώντας την προς τα πίσω συμβατότητα με τις υπάρχουσες 802.11b συσκευές. Ο ρυθμός μετάδοσης που έχει ως στόχο το πρόγραμμα είναι τουλάχιστον 20 Mbps. Σε εξέλιξη.



**802.11h** - Ενισχύει τα επίπεδα MAC του 802.11 και PHY του 802.11a για να παρέχει τις επεκτάσεις διαχείρισης και ελέγχου δικτύων, για τη διαχείριση του φάσματος και της ισχύος μετάδοσης στη ζώνη 5 GHz. Αυτό θα επιτρέψει τη ρυθμιστική αποδοχή των προτύπων σε μερικές ευρωπαϊκές χώρες. Σε εξέλιξη.

**802.11i** - Ενισχύει τους μηχανισμούς ασφάλειας και πιστοποίησης ταυτότητας του προτύπου 802.11. Σε εξέλιξη.

Αριθμός προτύπου IEEE	Περιγραφή
802.11	Το αρχικό πρότυπο WLAN. Υποστηρίζει ταχύτητες από 1 έως 2 Mbps.
802.11a	Πρότυπο WLAN υψηλής ταχύτητας για τη ζώνη των 5 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες έως 54 Mbps.
802.11b	Πρότυπο WLAN για τη ζώνη των 2.4 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες έως 11 Mbps.
802.11e	Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών για τα WLAN.
802.11f	Ορισμός επικοινωνίας μεταξύ των σημείων πρόσβασης, προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία πολλών κατανεμημένων WLANs.
802.11g	Καθιέρωση επιπλέον τεχνικής διαμόρφωσης στη ζώνη των 2.4 GHz, με σκοπό την επίτευξη ταχυτήτων έως 54 Mbps.
802.11h	Ορισμός διαχείρισης φάσματος στη ζώνη των 5 GHz για χρήση στην Ευρώπη και την Ασία.
802.11i	Αναφορά στις αδυναμίες ασφάλειας των πρωτοκόλλων πιστοποίησης και κωδικοποίησης. Το πρότυπο αυτό συμπεριλαμβάνει τα πρωτόκολλα 802.1X, TKIP, και AES.

Εικόνα7: Τα πρότυπα IEEE 802.11

### 1.8.1 Το πρότυπο 802.11b

Το 802.11b δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997, λειτουργεί στην συχνότητα των 2,4 GHz και εξασφαλίζει μέγιστη ταχύτητα διαμεταγωγής δεδομένων που φτάνουν στα 11Mbps. Το πρότυπο αυτό είναι γνωστό και ως Wi-Fi και το de facto πρότυπο για τις υπηρεσίες WI-FI λόγω της διαθεσιμότητας και της χαμηλής τιμής του. Ένα μειονέκτημα αυτού του προτύπου πέρα από την χαμηλή του ταχύτητα είναι ότι δεν υποστηρίζει QoS και Πολυμέσα. Επίσης τα προϊόντα του είναι δύσκολα να

εγκατασταθούν και να μεταφερθούν. Χρησιμοποιεί την μέθοδο επικοινωνίας μέσω ραδιοκυμάτων με τη ονομασία *Direct Sequence Spread Spectrum*.<sup>3</sup> Ως αναφορά το θέμα της ασφάλειας, αν στην ασύρματη επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη παρεμβληθεί για οποιοδήποτε λόγο κάποιος μη εξουσιοδοτημένος δέκτης, δεν θα είναι σε θέση να τα αποκωδικοποιήσει, αγνοώντας τα στη συνέχεια.

Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η αναγνώριση ενός «εξουσιοδοτημένου» κόμβου από ένα ασύρματο δίκτυο είναι μέσω της ταυτότητας *Service Set Identifier* (**SSID**). Όλοι οι κόμβοι ενός ασύρματου δικτύου χρησιμοποιούν το ίδιο SSID, το οποίο επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων και ουσιαστικά αποτελεί περισσότερο μια ταυτότητα αναγνώρισης παρά μια παράμετρο ασφάλειας.

Το πρότυπο 802.11b υλοποιεί την ασύρματη επικοινωνία σε δύο επίπεδα, με διαφορά τη χρήση ή μη ενός Σημείου Πρόσβασης (*Access Point*). Στην πρώτη περίπτωση έχουμε ασύρματη επικοινωνίας τύπου υποδομής (*Infrastructure*), ενώ στην δεύτερη η επικοινωνία είναι τύπου *ad-hoc*.

Στην πρώτη περίπτωση όταν η επικοινωνία είναι τύπου *Infrastructure*, τα ασύρματα δίκτυα αυτού του τύπου διαθέτουν τουλάχιστον ένα Σημείο Πρόσβασης το οποίο είναι εγκατεστημένο σε ενσύρματο τοπικό δίκτυο υπολογιστών. Ενώ στα ασύρματα δίκτυα τύπου *ad-hoc* είναι συνήθως μικρότερα, η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων είναι άμεση και για την επίτευξη της χρησιμοποιούνται ασύρματες κάρτες σε μέγεθος, δεν χρησιμοποιούν σημεία πρόσβασης.

Στον τρόπο υποδομής, όλη η κυκλοφορία περνά μέσω ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης (*access point*) το οποίο συνδέει τις ασύρματες συσκευές μεταξύ τους και με το ενσύρματο δίκτυο *Ethernet*. Στον ειδικό τρόπο οι υπολογιστές μιλούν άμεσα ο ένας στον άλλο και δεν χρειάζονται κάποιο σημείο πρόσβασης. Τα σημεία πρόσβασης χωρίζονται σε τρία είδη – γέφυρες (*bridges*), δρομολογητής NAT και δρομολογητής NAT με γέφυρα. Ο τύπος γέφυρας συνδέει ένα ασύρματο δίκτυο με ένα ενσύρματο δίκτυο διαφανώς. Η επικοινωνία είναι δυνατή μεταξύ των δύο δικτύων και προς τις δύο

---

<sup>3</sup> Η DSSS είναι μια τεχνική εξάπλωσης φάσματος (*spread spectrum*). Τούτο σημαίνει ότι το σήμα όταν εκπέμπεται, απλώνεται σε ένα αρκετά μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων, ενώ στη διαδικασία της λήψης του γίνεται το αντίστροφο. Η πολύτιμη ιδιότητα που έχουν παρόμοιες τεχνικές είναι ότι ο θόρυβος και οι τυχόν παρεμβολές απορρίπτονται σε μεγάλο βαθμό. Με τον τρόπο αυτό χρησιμοποιούμε για τη μετάδοση περισσότερο φάσμα συχνοτήτων, από την άλλη κερδίζουμε σε ποιότητα μετάδοσης.

κατευθύνσεις. Ο τύπος δρομολογητή NAT δρομολογεί την κυκλοφορία από το ασύρματο δίκτυο σε ένα ενσύρματο Ethernet δίκτυο, αλλά όχι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτός ο τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοιραστεί μια σύνδεση με το Διαδίκτυο.

Τέλος, υπάρχουν οι υβριδικές συσκευές που είναι ταυτόχρονα δρομολογητές NAT και γέφυρες, οι οποίες γεφυρώνουν τα ενσύρματα με τα ασύρματα δίκτυα, και τα δρομολογούν και τα δύο στο Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μια ενιαία διεύθυνση IP. Αυτό είναι καλό για το μοίρασμα μιας σύνδεσης με το Διαδίκτυο όταν συνυπάρχουν και οι δύο τύποι δικτύων.

Οι προσαρμογείς δικτύου 802.11b βγαίνουν σε δύο σημαντικούς τύπους. Κάρτες PCMCIA για τα laptop και USB για τους υπολογιστές γραφείου. Επιπλέον, υπάρχουν προσαρμογείς PCI που επιτρέπουν τη σύνδεση μιας κάρτας PCMCIA με μια υποδοχή PCI. Οποιοσδήποτε προσαρμογέας δικτύου που θα βρεθεί μέσα στην εμβέλεια ενός άλλου προσαρμογέα δικτύου 802.11b ή ενός σημείου πρόσβασης, μπορεί αμέσως να συνδεθεί με το δίκτυο εκτός αν το ασύρματο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης (WEP – Wireless Encryption Protocol) είναι ενεργοποιημένο. Το WEP είναι αρκετά ασφαλές για τις περισσότερες οικιακές εφαρμογές και επιχειρήσεις αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορεί να παραβιαστεί. Υπάρχουν αρκετά ελαττώματα στο WEP καθιστώντας το ακατάλληλο προς χρήση για υψηλές εφαρμογές ασφάλειας.

Η χρήση WEP επιβραδύνει ένα ασύρματο δίκτυο σε ποσοστό 20-50% της ταχύτητας ανάλογα με το προϊόν. Το ζήτημα ταχύτητας είναι συχνά το αποτέλεσμα ενός σημείου πρόσβασης χωρίς αρκετή δύναμη επεξεργασίας.

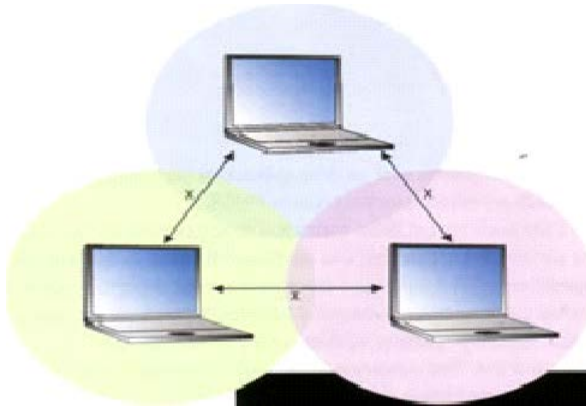
Υπάρχουν δύο τύποι κρυπτογράφησης: 64μπιτες και 128μπιτες. Όλοι οι κόμβοι πρέπει να είναι στο ίδιο επίπεδο κρυπτογράφησης με το ίδιο κλειδί για να λειτουργήσουν. Η 40μπιτη και η 64μπιτη κρυπτογράφηση είναι ταυτόσημες, είναι μόνο θέμα του πώς ο κατασκευαστής αποφάσισε να ονομάσει το προϊόν. Συχνά οι 128μπιτες κάρτες μπορούν να τεθούν σε ρυθμό 40/64 μπιτ.

Ένα σήμα 802.11b πλήρους ισχύος μπορεί να δώσει πραγματικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων 3.5 - 4.5 Mbps χωρίς την ενεργοποίηση του WEP. Με το WEP ενεργοποιημένο ο ρυθμός περιορίζεται στα 2.5 - 3.5 Mbps. Καθώς προστίθενται τοίχοι και απόσταση μεταξύ του ασύρματου προσαρμογέα και του σημείου πρόσβασης, η ταχύτητά μειώνεται παραπάνω.

Το 802.11b είναι ένα πρωτόκολλο Half Duplex - μπορεί να στείλει ή να λάβει δεδομένα, αλλά όχι και οι δύο συγχρόνως. Επιπλέον χρησιμοποιεί την ίδια ζώνη

συχνοτήτων στα 2.4 GHz με πολλά ασύρματα τηλέφωνα έτσι υπάρχουν αρκετές πιθανότητες παρεμβολών όταν τα παραπάνω συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο.

Η ουσιαστική διαφορά των δύο προτύπων 802.11 και 802.11b έγκειται στη μέγιστη ταχύτητα διαμεταγωγής που παρέχουν η οποία διαφοροποιείται λόγω της μεθόδου που χρησιμοποιούν για τη μεταφορά δεδομένων. Εντούτοις και οι δύο μέθοδοι υπάγονται στην τεχνολογία **Spread Spectrum**, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά για στρατιωτική χρήση, όπου απαιτείται ένα αξιόπιστο και ασφαλές σύστημα επικοινωνίας. Πρόκειται για μια τεχνική διαμόρφωσης του σήματος που διαδίδει τα προς εκπομπή δεδομένα σε όλο το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων, σύμφωνα πάντα με ένα προκαθορισμένο πλαίσιο. Με αυτό τον τύπο διαμόρφωσης το σήμα είναι καλύτερα θωρακισμένο από το θόρυβο και τις παρεμβολές και επιτρέπει να μοιράζονται μια συχνότητα λειτουργίας πολλοί χρήστες, με όσο το δυνατόν μικρότερες παρεμβολές από άλλους χρήστες ή συσκευές, όπως οι φούρνοι μικροκυμάτων. Το πρότυπο 802.11 χρησιμοποιεί τη μέθοδο **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), ενώ το 802.11b την **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*). Με τη μέθοδο **FHSS** ο πομπός και ο δέκτης συγχρονίζονται να αλλάζουν κανάλι επικοινωνίας σε μία προκαθορισμένη ψευδο - τυχαία σειρά. Ασφαλώς, η προκαθορισμένη σειρά επιλογής των καναλιών είναι γνωστή μόνο στους κόμβους που «μιλάνε». Στην Αμερική και στην Ευρώπη το 802.11 καθορίζει 79 κανάλια και 78 διαφορετικούς τρόπους εναλλαγής των καναλιών. Εάν το σήμα ληφθεί από κάποιον μη εξουσιοδοτημένο δέκτη, ερμηνεύεται ως μικρής διάρκειας θόρυβος και αγνοείται. Με τη μέθοδο **DSSS** δημιουργείται ένα εφεδρικό bit για κάθε bit που αποστέλλεται, το οποίο καλείται τσιπ ( chip). Ακόμα και αν κατά την αποστολή δεδομένων χαθούν κάποια bit, είναι δυνατόν να ανακτηθούν χωρίς να είναι απαραίτητη η εκ νέου αποστολή τους, κάτι που θα επέφερε καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων και θα επιβάρυνε την κίνηση στο δίκτυο. Αν κάποιος δέκτης λάβει τα σήματα χωρίς να είναι σε θέση να τα αποκωδικοποιήσει, θα τα «ερμηνεύσει» ως θόρυβο και θα τα αγνοήσει. Παρ ' όλο που αμφότερα τα πρότυπα λειτουργούν στην ίδια συχνότητα, θα ισχυριζόταν κανείς ότι τίθεται θέμα ασυμβατότητας εξαιτίας της διαφορετικής μεθόδου που χρησιμοποιούν για την αποστολή των δεδομένων. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Καθώς στο πρότυπο 802.11 προβλέπονται και οι δύο μέθοδοι μεταφοράς - άσχετα από το αν τελικά χρησιμοποιείται η **FHSS**.



**Εικόνα 8:** Σχηματική αναπαράσταση ενός ασύρματου ομότιμου δικτύου. Μόλις ένας υπολογιστής με ασύρματη κάρτα βρεθεί εντός ακτίνας δράσης, αυτόματα αποκτά επικοινωνία peer to peer με τους υπόλοιπους.

**802.11b+:** Σε ορισμένες συσκευασίες μονάδων 802.11b αναφέρεται ότι η ονομαστική ταχύτητα είναι 22 Mbps, ενώ το πρότυπο υποστηρίζει 11Mbps. Αυτό οφείλεται στην εταιρεία Texas Instruments, που ανέπτυξε μια νέα έκδοση του προτύπου 802.11b, την οποία την ονόμασε 802.11b+ και εξασφαλίζει διπλάσια ονομαστική ταχύτητα διαμεταγωγής δεδομένων της τάξης των 22 Mbps (πραγματική ταχύτητα 6 Mbps) και αυξημένη εμβέλεια κατά 20%. Το πρότυπο αυτό είναι συμβατό με το 802.11b. Για να πετύχουμε την ταχύτητα των 22 Mbps, θα πρέπει απαραίτητως να συνδυάσουμε προϊόντα (κάρτες και σημεία Πρόσβασης) που υποστηρίζουν το πρότυπο 802.11b+.

### 1.8.2 Ασφάλεια δικτύων 802.11b:

Όσο οι συσκευές wi-fi εισέβαλλαν σε όλο και περισσότερα δίκτυα, τόσο οι χρήστες τους έβλεπαν πιο σοβαρά το ζήτημα της ασφάλειας των δεδομένων που διακινούσαν μέσω αυτών. Αναρίθμητες μελέτες, τόσο από κοινούς χρήστες, όσο και από την επιστημονική κοινότητα, βοήθησαν στο να ξεσκεπαστούν πολλές θεμελιώδεις ατέλειες στο μοντέλο ασφάλειας του πρωτοκόλλου.

Η επιτροπή IEEE για λόγους ασφάλειας και πιστοποίησης χρηστών, όρισε το WEP(wired equivalent privacy), με σκοπό την ενθυλάκωση των πακέτων των δεδομένων για την επίτευξη ασφάλειας παρόμοιας με ένα ενσύρματο δίκτυο. Η υλοποίηση του wep σε εμπορικές συσκευές άργησε να υποστηριχτεί από όλους τους κατασκευαστές. Μια γρήγορη λύση για την υποκατάσταση του, ήταν η πιστοποίηση χρηστών μέσω λιστών επιτρεπόμενων MAC διευθύνσεων. MAC διευθύνσεις είναι

ένας μοναδικός δεκαεξαδικός αριθμός, που είναι «γραμμένος» στο υλικό κάθε δικτυακής συσκευής. Το σημείο πρόσβασης (*Access Point*) κρατούσε μια λίστα με όλες τις διευθύνσεις MAC που ο διαχειριστής του δικτύου επέτρεπε να συνδεθούν. Αν η MAC μιας client συσκευής δεν ανήκε στην λίστα, αυτή η συσκευή δεν θα μπορούσε να συνδεθεί στο σημείο πρόσβασης (*Access Point*). Αυτή είναι μια πολλή αδύναμη μέθοδος πιστοποίησης στοιχείων των σταθμών πελατών. Κάποιος εκτός λίστας, με αρκετά δικαιώματα σε ένα unix-like λειτουργικό σύστημα, μπορεί με διάφορους τρόπους να αλλάξει την MAC διεύθυνση που παρουσιάζει στο δίκτυο, έτσι ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιήσει μια MAC που να είναι αποδεκτή από το σημείο πρόσβασης (*Access point*). Τέτοιες επιθέσεις ονομάζονται *mac spoofing attacks*. Χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο «ανιχνευτικό» λογισμικό (*network sniffer*), που πολλές φορές είναι δωρεάν, μπορεί με μια απλή WiFi κάρτα και ένα λαπτοπ να φτιάξει μια λίστα με τις mac διευθύνσεις που βλέπει ότι συνδέονται επιτυχώς στο σημείο πρόσβασης (*Access Point*). Έτσι αλλάζοντας την MAC διεύθυνση του σε οποιοδήποτε από αυτές, έχει την δυνατότητα να συνδεθεί επιτυχώς στο δίκτυο, χωρίς κανείς να μπορεί να καταλάβει την διαφορά. Το WEP ήταν η πρώτη σοβαρή προσπάθεια υπέρ της αύξησης της ασύρματης ασφάλειας.

### 1.8.3 Το πρότυπο 802.11a.

Το IEEE 802.11a είναι ένα υψηλής απόδοσης πρότυπο το οποίο χρησιμοποιείται για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας LAN (WLAN). Η προδιαγραφή του 802.11a είναι να λειτουργεί στην χωρίς άδεια περιοχή συχνότητας των 5 GHz, και data transfer rate στα 54Mbps (. Βέβαια η ταχύτητα εξαρτάται από τις εγκαταστάσεις, αλλά στις κανονικές περιπτώσεις λειτουργεί στην συχνότητα των 5-10 GHz. Το 802.11a χρησιμοποιεί ένα σχέδιο διαμόρφωσης που είναι γνωστό ως (*OFMD- Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) έναντι του **FHSS** ή του **DSSS**. Τα προϊόντα του 802.11a δεν είναι συμβατά με τα προϊόντα του 802.11b-802.11g. Η επέκταση αυτή αποσκοπούσε να καλύψει την ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Επιλέχθηκε η λειτουργία σε μια υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων, αφενός για να μπορούν να υποστηριχθούν οι μεγαλύτεροι ρυθμοί, αφετέρου ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή από τις προηγούμενες συσκευές. Οι αντίστοιχες συσκευές είναι ασύμβατες με αυτές που εργάζονται με το 802.11b, αφού ο τρόπος μετάδοσης, αλλά και οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές.

Το πρότυπο αυτό είναι βασισμένο σε μια προηγμένη τεχνολογία που κάνει την καλύτερη *interferente free*. Είναι πιο ασφαλές πρότυπο σε σχέση με το 802.11b. Ένα μειονέκτημα του είναι ότι έχει πιο υψηλό κόστος από το 802.11b. Το 802.11a υποστηρίζει εφαρμογές που περιλαμβάνουν βίντεο, φωνή καθώς και την μεταφορά μεγάλων εικόνων και αρχείων.

#### **1.8.4 Το πρότυπο 802.11g:**

Το πρότυπο 802.11g θα αντικαταστήσει το πρότυπο 802.11b. Το 802.11g είναι το νέο πρότυπο που θεσπίστηκε από το Ινστιτούτο IEEE και βρίσκεται στη φάση του προσχεδίου, ενώ η επίσημη έγκριση του έγινε περίπου το καλοκαίρι του 2003. Η επιτυχία του βασίζεται σε δύο σημαντικά πλεονεκτήματα του, που συνοψίζονται στη μεγαλύτερη ταχύτητα, της τάξης των 54 Mbps, καθώς και στη συμβατότητα με το πρότυπο 802.11b. Εκτιμάται πάντως ότι η ονομαστική ταχύτητα διαμεταγωγής δεδομένων των 54 Mbps σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας θα μειωθεί στα 20 με 30 Mbps, όπως και στην περίπτωση του 802.11b, όπου η ονομαστική ταχύτητα είναι 11 Mbps και η πραγματική περίπου 3 Mbps. Χρησιμοποιεί την πάντα των 2,4 Mbps, ενώ το εύρος του εκπεμπόμενου σήματος είναι της τάξης των 30MHz, περιορίζοντας τα σημεία πρόσβασης σε τρία, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το 802.11b. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει η ίδια δυσκολία στην διαδικασία εκχώρησης καναλιών σε ασύρματα δίκτυα, όπου οι χρήστες είναι πολλοί. Ωστόσο, η λύση του προβλήματος είναι απλή, να μειωθεί η ισχύς του κάθε Σημείου Πρόσβασης ώστε να μπορέσετε μετά σε μικρότερη απόσταση μεταξύ τους.

Η μεγαλύτερη ταχύτητα διαμεταγωγής δεδομένων του 802.11g βασίζεται στην τεχνολογία *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. (Πρόκειται για μια μέθοδο σύμφωνα με την οποία τα bits των δεδομένων κωδικοποιούνται σε μορφή ραδιοκυμάτων κατά τέτοιον τρόπο ώστε να αποστέλλονται από ένα κανάλι με ταχύτητα 54 Mbps). Η συμβατότητα με το παλαιότερο πρότυπο 802.11b εξασφαλίζεται με την υποστήριξη που παρέχει στο *Complementary Code keying*. Εκτιμάται ότι αν έχουμε ένα σημείο πρόσβασης 802.11b τελευταίας γενιάς, θα μπορούμε μέσω της αναβάθμισης του *firmware* να το «συμμορφώσουμε» σύμφωνα με το πρότυπο 802.11g. Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι είναι ευαίσθητο στις παρεμβολές που έχουν την μορφή ραδιοσυχνοτήτων, οι οποίες προέρχονται από άλλες συσκευές, όπως, για παράδειγμα τα κινητά τελευταίας γενιάς. Επίσης το πρότυπο 802.11g διαχειρίζεται

αποτελεσματικότερα την αναπόφευκτη τις περισσότερες φορές-αντανάκλαση του σήματος. Ποιο συγκεκριμένα, τα ραδιοσήματα “αναπηδούν” με διαφορετική ταχύτητα και γωνία, ανάλογα με το είδος της επιφάνειας που παρεμβάλλεται. Ακολούθως ο δέκτης πρέπει να εναρμονίσει και να διευθετήσει όλες τις αντανακλάσεις του ίδιου σήματος που αφορούν σε ένα συγκεκριμένο πακέτο δεδομένων και φτάνουν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Το πρότυπο 802.11g κατατέμνει το εν λόγω φάσμα των συχνοτήτων κατά τέτοιον τρόπο, ώστε οι δέκτες να είναι σε θέση να διαχειρίζονται αποτελεσματικότερα τις αντανακλάσεις ενός σήματος συγκριτικά με το 802.11b.

### **1.8.5 Σύγκριση των 802.11a,802.11b,802.11g**

**802.11b/g – 802.11a:**Οι 802.11b/g έχουν το πλεονέκτημα ότι λειτουργούν στη ζώνη των 2.4GHz, η οποία παγκόσμια, είναι ελεύθερη προς χρήση με ελάχιστους ρυθμιστικούς περιορισμούς που θα δούμε πιο αναλυτικά όταν αναφερθούμε στα κανάλια λειτουργίας. Από την άλλη πλευρά η ζώνη των 5GHz και η 802.11a έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει υλοποίηση με περισσότερους χρήστες, μεγαλύτερη διαπερατότητα, καλύτερη σχεδίαση δικτύου, αλλά υπόκειται σε αρκετές χώρες σε σοβαρούς περιορισμούς ή δεν επιτρέπεται καθόλου η χρήση της. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι στην ίδια ζώνη υπάρχουν στρατιωτικές εφαρμογές, εκπομπές radar και υπάρχει κίνδυνος παρεμβολών σε υψίστης σημασίας συστήματα. Ήδη σε ευρωπαϊκές χώρες όπως η Αγγλία έχει απελευθερωθεί η ζώνη συχνοτήτων των 5GHz, ενώ σε άλλες χώρες όπως και η Ελλάδα αναμένεται να γίνει το ίδιο, χωρίς όμως να είναι σίγουρο. Επίσης λόγω της μεγαλύτερης συχνότητας λειτουργίας στο 802.11a η εμβέλεια, δηλαδή η μέγιστη απόσταση στην οποία είναι εφικτή η ασύρματη επικοινωνία, είναι αρκετά μικρότερη. Τέλος ο εξοπλισμός 802.11a είναι ακριβότερος λόγω της μεγαλύτερης συχνότητας λειτουργίας, αλλά και της μικρότερης διείσδυσης του προτύπου στην αγορά.

**802.11g – 802.11a:** Η 802.11g προσφέρει συμβατότητα προς τα πίσω με την 802.11b και επίσης μπορεί να θεωρηθεί σαν μία λύση κάλυψης, έχοντας μεγαλύτερη εμβέλεια από την 802.11a. Αντίθετα η 802.11a μπορεί να θεωρηθεί μια λύση για πυκνό και με μεγάλες ανάγκες ασύρματο δίκτυο.

**802.11b – 802.11g:**Η 802.11g προσφέρει μια ομαλή μετάβαση προς μεγαλύτερους ρυθμούς, επιτρέποντας μας να συνεχίσουμε τη λειτουργία στην ζώνη



των 2.4GHz. Η συμβατότητα προς τα πίσω με το 802.11b, προστατεύει τις επενδύσεις που έχουν ήδη γίνει, ενώ παράλληλα χρησιμοποιεί μια ανώτερη τεχνική μετάδοσης. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί απαιτεί περισσότερη λαμβανόμενη ισχύ, έχει δηλαδή χειρότερη ευαισθησία. Έτσι η εμβέλεια είναι μικρότερη από αυτή του 802.11b, αφού βέβαια δεν υπάρχει η δυνατότητα να αυξήσουμε την ισχύ εκπομπής των συσκευών μας. Για το λόγο αυτό η χρήση του περιορίζεται για κάλυψη εσωτερικών χώρων, μικρής σχετικά επιφάνειας. Από την άλλη το 802.11g θα επιβαρύνει σημαντικά το ήδη φορτωμένο και κοντά στον κορεσμό φάσμα των 2.4GHz. Επίσης προβλήματα συμβατότητας – διαλειτουργικότητας ανάμεσα σε b-g, g-g συσκευές ενδέχεται να παρουσιαστούν, ενώ η απόδοση ενός ασύρματου δικτύου σε μικτό περιβάλλον με 802.11b και 802.11g συσκευές είναι σημαντικά μειωμένη.

	802.11b	802.11a	802.11g
Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης (Mbps)	11	54	54
Τύπος διαμόρφωσης	CCK	OFDM	CCK & OFDM
Υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης	1, 2, 5.5, 11Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps	OFDM: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps CCK: 1, 2, 5.5, 11Mbps
Συχνότητες	2.4 – 2.497 GHz	5.15-5.35GHz 5.425-5.675GHz 5.725-5.875GHz	2.4 – 2.497 GHz

Εικόνα8: Σύγκριση των 802.11a,802.11b,802.11g



## **2 Το πρότυπο 802.15 της IEEE για τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (WPAN).**

Η ομάδα εργασίας του 802.15 του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) δημιουργήθηκε για την αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με τα δίκτυα προσωπικών περιοχών (*Personal Area Network*=PAN) και τα οποία είναι επίσης γνωστά ως ασύρματα δίκτυα μικρών αποστάσεων. Η ερευνητική ομάδα της IEEE 802.15 δημιουργήθηκε με σκοπό την παροχή προτύπων της οικογένειας IEEE 802.15, τα οποία έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά την χαμηλή πολυπλοκότητα και τη χαμηλή ισχύ σε εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας.

Το πρότυπο IEEE 802.15 είναι ένα πρότυπο το οποίο αναπτύχθηκε από την ερευνητική ομάδα του WPAN (*Wireless Personal Area Network*), ομάδα η οποία δημιουργήθηκε το Μάρτιο του 1998 και μετονομάστηκε τον Μάιο του 1999 σε IEEE 802.15 WPAN. Το χαρακτηριστικό του δικτύου WPAN είναι η *ad hoc* δικτύωση, η οποία απλά σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους σε ένα δίκτυο χωρίς την ύπαρξη συγκεντρωτισμού. Επίσης, η τοπολογία των *ad hoc* δικτύων είναι δυναμική, κάτι το οποίο είναι συνέπεια της ύπαρξης φορητών κόμβων στο δίκτυο. Τα πλεονεκτήματα τέτοιων δικτύων είναι: η εγκατάσταση κατά απαίτηση (*on demand set up*), η ανοχή σφάλματος και η διασύνδεση χωρίς περιορισμούς. Μια συσκευή λειτουργεί ως *master* και μια άλλη ως *slave*, κάτι που σημαίνει επίσης ότι ένα τέτοιο σύστημα υποστηρίζει διάφορους τύπους αρχείων όπως εικόνες, αρχεία ήχου MP3 και αρχεία video.

Περιλαμβάνει την ασύρματη διαδικτύωση φορητών και κινητών υπολογιστικών συσκευών όπως τα PC, τα PDA, τα περιφερειακά, τα κινητά τηλέφωνα, τα pager. Η ομάδα αυτή είναι τμήμα της επιτροπής για την Τυποποίηση Τοπικών και Μητροπολιτικών Δικτύων της IEEE Computer Society. Η ομάδα κάνει σαφή διάκριση ανάμεσα στα τοπικά δίκτυα WAN και στα προσωπικά δίκτυα PAN. Υπάρχει συνεργασία ανάμεσα στη

Bluetooth SIG και στην ομάδα IEEE 802.15. Το 802.15 είναι ο ισχυρότερος ανταγωνιστής του Bluetooth. Αυτή η ασύρματη τεχνολογία λειτουργεί στη ζώνη συχνότητας 2,4 GHz με τεχνική *Time Division Multiple Access* (TDMA). και παρέχει τις μεταδόσεις φωνής σε 64 bit/s και **μετάδοση στοιχείων** \*\*μέχρι 732 kbits/s στις αποστάσεις από 10-100 μέτρα. Το 802.15 θα είναι εντελώς συμβατό με το μεγάλο αδελφό του 802.11, το οποίο σημαίνει ότι μπορεί να 'νικήσει' την Bluetooth στην αγορά των WPAN.

Υπάρχουν διάφορες υποομάδες έργου στην ομάδα IEEE 802.15. Η υποομάδα (TG1) ασχολείται με τις ραδιοεπαφές των 10-66GHz και αναπτύσσει πρότυπα που προέρχονται από το Bluetooth Specification Version 1.1. Η υποομάδα (TG2) ασχολείται με τη συνύπαρξη ευρυζωνικών ασύρματων συστημάτων πρόσβασης για τη συνύπαρξη των 802.11 και 802.15. Η υποομάδα (TG3) εξετάζει τις ραδιοεπαφές για τις αδειοδοτημένες συχνότητες (2-11 GHz). Η υποομάδα 4(TG4) ασχολείται με τις ζώνες εκτός άδειας, ειδικά στα 5-6 GHz. Για παράδειγμα τα μη αδειοδοτημένα ασύρματα μητροπολικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας (*Wireless HUMAN=Wireless High Speed Unlicensed Metropolitan Area Networks*) είναι κομμάτι αυτής της ομάδας.

Εκτός από το πρότυπο IEEE 802.15, υπάρχουν ακόμη τρεις τεχνολογίες οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες διασύνδεσης των συσκευών σε ένα WPAN δίκτυο. Αυτές είναι οι εξής:

- το πρότυπο Bluetooth της *Bluetooth Special Interest Group's (SIG)*,
- το πρότυπο *Serial Infrared (SIR)* της Bluetooth Special Interest Group's (SIG), και
- το πρότυπο *Shared Wireless Access Protocol - Cordless Access (SWAP-CA)* της *Infrared Data Association's (IrDA)*.

Ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο (*PAN=personal area network*) αποτελείται από μια δυναμική ομάδα με λιγότερο από 255 συσκευές. Μια συσκευή επιλέγεται για να αναλάβει το ρόλο του ελεγκτή κατά τη διάρκεια της έναρξης της ασύρματης δικτύωσης (PAN), και αυτή η συσκευή που παίζει τον ρόλο του ελεγκτή, μεσολαβεί για την επικοινωνία μέσα στο Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο (*WPAN-Wireless Personal Network*). Ο ελεγκτής μεταδίδει ραδιοφωνικά ένα αναγνωριστικό σήμα που αφήνει όλες τις συσκευές να συγχρονιστούν η μια με την άλλη και διαθέτει χρονικές αυλακώσεις για τις συσκευές. Κάθε συσκευή προσπαθεί να ενώσει το ασύρματο προσωπικό δίκτυο (WPAN) ζητώντας χρονική αυλάκωση από τον ελεγκτή. Ο ελεγκτής επικυρώνει τις συσκευές και ορίζει τις

χρονικές αυλακώσεις για κάθε συσκευή για να διαβιβάσει τα στοιχεία. Τα στοιχεία μπορούν να σταλούν σε ολόκληρο το ασύρματο PAN χρησιμοποιώντας την ασύρματη PAN διεύθυνση προορισμού, ή μπορούν να κατευθυνθούν σε μια συγκεκριμένη συσκευή.

Το πρότυπο 802.15 καθορίζει τις προδιαγραφές για τον έλεγχο μέσων πρόσβασης (MAC) και τα φυσικά στρώματα (PHY) για τις ασύρματες συσκευές σε ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο PAN (Personal Area Network). Το φυσικό στρώμα πραγματοποιεί μετάδοση σε ένα από τα πολυάριθμα κανάλια στην συχνότητα των 2.4-GHz. Οι προδιαγραφές των μέσων στρωμάτων έλεγχου πρόσβασης (MAC) καθορίζουν το “format” των μηνυμάτων και τη διαδικασία για την ασφαλή καθιέρωση του ασύρματου προσωπικού δικτύου PAN (Personal Area Network).

Το ασύρματο προσωπικό δίκτυο (WPAN) έχει τα έξι χαρακτηριστικά:

- Short range
- Χαμηλή ισχύς
- Χαμηλό κόστος
- Μικρό δίκτυο
- Επικοινωνία των συσκευών μέσα σε *Personal Operating Space (POS)*<sup>4</sup>

## 2.1 IEEE 802.15 WPAN Task Group 1 (TG1)

Η ομάδα εργασίας του 802.15.1 του Ιδρύματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (*Electrical and Electronics Engineers*) έχει παράγει πρότυπα για τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα Περιοχής (WPAN) που είναι βασισμένα στις προδιαγραφές του Bluetooth. Αυτό το πρότυπο προέρχεται από τον πυρήνα του Bluetooth, τα σχεδιαγράμματα, και τις προδιαγραφές δοκιμής (έκδοσης 1.1). Το πρότυπο αυτό δημοσιεύτηκε στις 14 Ιανουαρίου 2002 και εγκρίθηκε ως το νέο πρότυπο από την IEEE

---

<sup>4</sup> POS: είναι το διάστημα για ένα άτομο όπου επεκτείνεται χαρακτηριστικά μέχρι 10 μετρα σε όλες τις κατευθύνσεις και περιβάλλει το άτομο είτε στάσιμο είτε στην κίνηση.

επιτροπή προτύπων στις 15 Απρίλιο 2002. Το νέο πρότυπο της IEEE το 802.15.1 είναι μια πρόσθετη πηγή για αυτούς που εφαρμόζουν τις συσκευές του Bluetooth

Τα χαμηλότερα στρώματα μεταφοράς (L2CAP, LMP, Baseland, και Radio) της ασύρματης τεχνολογίας Bluetooth καθορίζονται. Το Bluetooth είναι μια βιομηχανική προδιαγραφή για περιορισμένου φάσματος συνδετικότητας RF-Base για τις φορητές προσωπικές συσκευές. Η IEEE έχει αναθεωρήσει και έχει παράσχει μια τυποποιημένη προσαρμογή του Bluetooth Specification v1.1 Foundation MAC (L2CAP, LMP, Baseland) και το φυσικό επίπεδο (PHY).

Το πρότυπο 802.15.1 της IEEE είναι πλήρως συμβατό με την προδιαγραφή του Bluetooth v1.1. Η τεχνολογία Bluetooth καθορίζει τις προδιαγραφές, για ασύρματες ραδιοεπικοινωνίες με παράγοντα μικρού σχηματισμού και χαμηλό κόστος ανάμεσα σε notebook computers, προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς, κυβελοειδή τηλέφωνα και άλλες φορητές συσκευές και συνδετικότητα στο διαδίκτυο.

Το πρότυπο του Ιδρύματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) επίσης πρόσθεσε μια σπουδαία πρόταση στα Service Access Points, τα οποία περιλαμβάνουν μια διεπαφή LLC/MAC για το ISO/IEC 8802-2 LLC, μια φυσιολογική προέκταση που παρέχει ένα πρωτόκολλο δήλωσης συμβατότητας της εφαρμογής (PICS) pro forma, και μια ενημερωτική υψηλού επιπέδου συμπεριφοράς προδιαγραφή ITU-T Z.100 και περιγραφή του γλωσσικού μοντέλο (SDL) πρότυπο για ενσωματωμένο υπόστρωμα Bluetooth MAC (Medium Access Control)

### **2.1.1 Το πρόβλημα της παρέμβασης:**

Πολλά ασύρματα τοπικά δίκτυα και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνότητας χωρίς άδεια. Παραδείγματος χάριν, και το IEEE 802.11b και το IEEE 802.15.1 λειτουργούν στην ίδια βιομηχανική επιστημονική και ιατρική (*Industrial Scientific and Medical -ISM*) ζώνη στα 2,4 GHz. Σαν αποτέλεσμα της λειτουργίας στην ίδια ζώνη συχνότητας, υπάρχει αμοιβαία παρέμβαση μεταξύ των δύο ασύρματων συστημάτων. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν το επίπεδο παρέμβασης μεταξύ των δύο ασύρματων συστημάτων. Αρκετοί από τους παράγοντες που

επιηρεάζουν το επίπεδο παρέμβασης είναι ζητήματα όπως ο διαχωρισμός μεταξύ των WLAN και WPAN συσκευών, η ποσότητα της κίνησης δεδομένων που ρέουν σε κάθε ένα από τα δύο ασύρματα δίκτυα, τα επίπεδα ισχύος των διάφορων συσκευών, και το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων WLAN. Επίσης, οι διαφορετικοί τύποι πληροφοριών που στέλνονται με τα ασύρματα δίκτυα έχουν διαφορετικά επίπεδα ευαισθησίας στην παρέμβαση. Παραδείγματος χάριν, μια σύνδεση φωνής μπορεί να είναι πιο ευαίσθητη στην παρέμβαση από μια σύνδεση δεδομένων που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ένα αρχείο δεδομένων. Αυτό το τμήμα δίνει μια επισκόπηση του αμοιβαίου προβλήματος παρέμβασης. Ακόλουθα τμήματα περιγράφουν τη διαμόρφωση αμοιβαίας παρέμβασης και απεικονίζουν τον αντίκτυπο αυτής της αμοιβαίας παρέμβασης και στο δίκτυο WLAN και στο δίκτυο WPAN.

### **2.1.2 IEEE 802.11~802.15.1 Αναπήδηση συχνότητας και παρέμβαση .**

Το IEEE 802.11 hopping συχνότητας WLAN έχει τα ίδια hopping κανάλια με το 802.15.1 WLAN. Εντούτοις, τα δύο συστήματα λειτουργούν σε πολύ διαφορετικά hopping ποσοστά. Το IEEE 802.11 ορίζει ένα hopping ποσοστό μεγαλύτερο από 2,5 hops/second, με τα χαρακτηριστικά συστήματα που λειτουργούν σε 10 hops/second. Το IEEE 802.15.1 διευκρινίζει ένα hopping ποσοστό 1600 hops/second. Έτσι ενώ το 802.11 δίνει μια συχνότητα για πέστε την 100ms, το 802.15.1 θα έχει 160 φορές.

Έτσι η πιθανότητα είναι ότι το 802.15.1 θα παρέμβει αρκετές φορές στη συχνότητα που χρησιμοποιεί το 802.11. Τα πακέτα του IEEE 802.11 FH θα αλλοιωθούν από την παρέμβαση του 802.15.1 κάθε φορά που 802.15.1 παρεμβαίνει στο κανάλι που χρησιμοποιείται από το 802.11 FH, με την προϋπόθεση ότι το επίπεδο ισχύος του 802.15.1 είναι αρκετά υψηλό για να αλλοιώσει το πακέτο 802.11. Είναι επίσης πιθανό να αλλοιωθεί το 802.11 πακέτο WLAN από την παρέμβαση του 802.15.1 εάν το πακέτο του 802.15.1 σταλθεί σε ένα παρακείμενο κανάλι των δεδομένων του 802.11FH. Παραδείγματος χάριν, εάν αυτήν την περίοδο 802.11 FH χρησιμοποιεί το κανάλι 2440 MHz έπειτα τα δύο

παρακείμενα κανάλια είναι στη συχνότητα 2439 και 2442 MHz. Συνήθως, υπάρχει μόνο περιορισμένη επιτήρηση στα παρακείμενα κανάλια. Είναι πιθανό, ότι θα υπάρξει περιορισμένη παρέμβαση εάν το 802.15.1 WLAN είναι περισσότερα από ένα κανάλια μακριά από το τρέχον 802.11 κανάλι FH. Φυσικά εάν ένα 802.11 πακέτο αλλοιώνεται ή όχι εξαρτάται από το πόσο κοντά η μονάδα του 802.15.1 είναι στη 802.11 μονάδα καθώς αυτό επηρεάζει το επίπεδο παρέμβασης ισχύος.

Η IEEE 802.11 MAC ενσωματώνει το αυτόματο αίτημα επανάληψης (ARQ) για να διασφαλιστεί η αξιόπιστη παράδοση των στοιχείων κατά μήκος της ασύρματης σύνδεσης. Έτσι υπάρχει μικρή πιθανότητα να χαθούν τα δεδομένα. Η επιρροή που αυτό έχει στο WLAN είναι ο ρυθμός απόδοσης των δεδομένων να μειώνεται και η λανθάνουσα κατάσταση του δικτύου να αυξάνεται. Ανάλογα με την εφαρμογή αυτό μπορεί να είναι ανεκτό ή μη.

Το IEEE 802.11b πρότυπο υψηλής μετάδοσης καθορίζει μια συχνότητα στατική για το ασύρματο τοπικό δίκτυο που υποστηρίζει τέσσερα *data rates*: 1, 2, 5.5 και 11 Mb/s. Το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογή επιτρέπει είτε τη χειρωνακτική είτε αυτόματη τροποποίηση της κλίμακας δεδομένων. Τα υψηλότερα ποσοστά είναι επιθυμητά για πολλές εφαρμογές αλλά η απόσταση της μετάδοσης που χρησιμοποιεί υψηλότερα ποσοστά είναι μικρότερη από εκείνη των χαμηλότερων ποσοστών. Πολλές εφαρμογές αυτόματα αυξάνουν την ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στον υψηλότερο ρυθμό δεδομένων που μπορεί να είναι βιώσιμη για κάθε κινητή μονάδα WLAN

Το εύρος ζώνης του 802.11b είναι περίπου 22 MHz. Υπάρχει μια πιθανή σύγκρουση πακέτων μεταξύ ενός πακέτου WLAN και ενός παρεμβαίνοντας πακέτου του 802.15.1 κάθε φορά που το ασύρματο προσωπικό δίκτυο WPAN παρεμβαίνει στη ζώνη εισόδου WLAN. Επειδή το εύρος ζώνης 802.11 είναι 22 MHz καθώς WPAN παρεμβαίνει στην συχνότητα ISM 22 MHz των 79 καναλιών του WPAN πέφτει μέσα στην ζώνη εισόδου του ασύρματου τοπικού δικτύου

Δεδομένου ότι υπάρχουν τέσσερα ποσοστά στοιχείων που καθορίζονται μέσα από το 802.11b, η χρονική διάρκεια των πακέτων WLAN μπορεί να ποικίλει σημαντικά, για τα πακέτα που μεταφέρουν ακριβώς τα ίδια στοιχεία. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του πακέτου WLAN τόσο πιο πιθανό είναι να συγκρουστεί με ένα παρεμβαίνοντας πακέτο

WPAN. Η λεπτομερής διαμόρφωση παρέμβασης παρουσιάζει τα αποτελέσματα της χρήσης των διάφορων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων.

Ένα από τα σημαντικά ζητήματα που επηρεάζει το επίπεδο παρέμβασης είναι η αυτόματη κλιμάκωση των data rate του WLAN. Αν εφαρμοστεί και ενεργοποιηθεί είναι πιθανό η παρέμβαση του WPAN να κάνει το WLAN να φτάσει σε ένα χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης στοιχείων. Σε ένα χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων η χρονική διάρκεια των πακέτων WLAN αυξάνεται. Αυτή η αύξηση στη διάρκεια πακέτων μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση των συγκρούσεων των πακέτων με τα παρεμβαίνοντα πακέτα WPAN. Σε μερικές εφαρμογές, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη περαιτέρω μείωση του ποσοστού του στοιχείου WLAN. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη μείωση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων του WLAN. σε 1 Mb/s.

## **2.2 IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 2 (TG2).**

Η ομάδα TG2 του προτύπου 802.15 δημιουργήθηκε για να αντιμετωπίσει το ζήτημα της συνύπαρξης της ασύρματης προσωπικής περιοχής (WPAN-802.15) και των ασύρματων δικτύων τοπικής περιοχής (WLAN-802.11). Το 802.15.2 είναι ένα σύνολο αλλαγών του Bluetooth και του 802.15, με σκοπό να μετριάσει την παρέμβαση με τα δίκτυα 802.11b και 802.11g. Όλα χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνότητας στα 2.4 GHz, έτσι οι συσκευές χρειάζονται το 802.15.2 ή ένα ιδιόκτητο σχέδιο εάν θέλουν χρησιμοποιήσουν και το Bluetooth και το WI-\*FI ταυτόχρονα.. Έχει ως στόχο να αναπτύξει ένα πρότυπο συνύπαρξης για να ποσολογήσει την αμοιβαία παρέμβαση ενός WLAN και WPAN .Να καθιερώσει επίσης τους μηχανισμούς για τη συνύπαρξη WPAN και WLAN (π.χ. ieee 802.15.1 και ieee 802.11b) και στο στρώμα MAC και PHY. Αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως ως συνεργάσιμους ή μη-συνεργάσιμους. Μερικές από τις μετρικές για την αξιολόγηση της απόδοσης μιας μεθόδου συνύπαρξης περιλαμβάνουν την υποβάθμιση ευαισθησίας δεκτών (στο DB) και τη μείωση της ρυθμοαπόδοσης παρουσία ενός interferer. Ένας συνεργάσιμος μηχανισμός που διευκολύνει τη συνύπαρξη πρέπει να έχει συντονίσει το σχεδιασμό των προσπαθειών, όπως TDMA ή CSMA. Προσαρμοστικό hopping συχνότητας, MAC που σχεδιάζει, και



διαβιβάζει τα σχέδια ελέγχου ισχύος είναι μη-συνεργάσιμοι μηχανισμοί για τη συνύπαρξη. Η ομάδα στόχου καθιερώνει τις συνιστώμενες πρακτικές για τη συνύπαρξη μεταξύ WLAN και WPAN.

### **2.3 IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 3 (TG3) ( High-Rate Wireless Personal Area Networks).**

Η ομάδα TG3 του προτύπου 802.15.3 υψηλής μετάδοσης (HR) αναπτύσσει WPAN μέχρι 55Mbps. Το πρότυπο σχεδίου λειτουργεί σε πέντε 15MHz κανάλια στη συχνότητα 2,4 GHz, δύο από τα οποία παρεμποδίζουν την κυκλοφορία του IEEE802.11b. Εκτός από υψηλό data rate, το νέο πρότυπο θα παρέχει χαμηλή ισχύς, λύσεις χαμηλότερου κόστους που θα καλύπτουν τις ανάγκες φορητών συσκευών ψηφιακής απεικόνισης και εφαρμογών πολυμέσων. Η διαμόρφωση (*QPSK, DQPSK, 16/32/64QAM*) και η κωδικοποίηση (η διαμόρφωση) είναι ποικίλες για να παρέχουν πέντε ποσοστά στοιχείων (*11 Mbps, 22 Mbps, 33 Mbps, 44 Mbps, και 55 Mbps*).

Το στρώμα της **MAC** που περιγράφεται από αυτό το πρότυπο επιτρέπει το συντονισμό των συσκευών WPAN για να σχηματίσει *piconets*. Το στρώμα της MAC επιτρέπει την υπηρεσία (**QoS**) ποιότητας πολυμέσων, τη διαχείριση ισχύος, και την υποστήριξη *ad-hoc* δικτύων. Ieee της 802.15.3 κέρδισε την έγκριση ψήφου χορηγών τον Μάιο του 2003. Η ομάδα του 802.15.3 επιφορτίστηκε με την ανάπτυξη ενός ειδικού στρώματος *ad-hoc* MAC (έλεγχος μέσω πρόσβασης) κατάλληλο για τις εφαρμογές πολυμέσων **WPAN** και ενός **PHY** (φυσικό στρώμα) ικανό για την μετάδοση δεδομένων παραπάνω από 20 Mbps. Το τρέχον σχέδιο του 802.15.3 διευκρινίζει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι 55 Mbps στη χωρίς άδεια ζώνη των 2,4 GHz. Η τεχνολογία υιοθετεί μια *ad-hoc* PAN τοπολογία όχι εξ ολοκλήρου ανόμοια με του Bluetooth, με τους ρόλους "master" και "slave" για τις συσκευές.

Το 802.15.3 θα μπορούσε να θεωρηθεί ανταγωνιστής του *Bluetooth*, δεδομένου ότι είναι επίσης μια τεχνολογία ασύρματου προσωπικού δικτύου (WPAN) το οποίο χρησιμοποιεί *ad-hoc* αρχιτεκτονική. Κατά γενική ομολογία η έννοια του 802.15.3 είναι να

επιτρέψει μιας λύση chipset που θα ήταν περίπου 50% ακριβότερη από το Bluetooth. Επιπλέον, η κατανάλωση ισχύος και το μέγεθος θα ήταν περίπου 50% μεγαλύτερες από μια λύση Bluetooth. Στην πραγματικότητα το 802.15.3 δημιουργήθηκε ως συμπληρωματική λύση WPAN αντί του Bluetooth.

Το 802.15.3 στηρίζεται στο πρότυπο 802.15 προσθέτοντας *QoS* για να επιτρέψει συγκεκριμένα στο PAN δίκτυο να μεταφέρει ψηφιακές απεικονίσεις και δεδομένα πολυμέσων. Επίσης παρέχει ασφάλεια στα δεδομένα εφαρμόζοντας τις υπηρεσίες μυστικότητας και επικύρωσης. Το 802.15.3 λειτουργεί στην ζώνη των 2.4GHz σε 11, 22, 33, 44, και 55Mbps.

Το 802.15.3 είναι σχεδιασμένο για peer-to-peer λειτουργία παρά για δρομολόγηση δεδομένων μέσω ενός σημείου πρόσβασης, είτε αυτό είναι ένας σταθμός βάσης είτε μια client machine που διαμορφώνεται. Τα σημεία πρόσβασης μπορούν να γίνουν bottlenecks Δικτύων.

### **2.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά του 802.15.3.**

- Είναι ένα πρότυπο ασύρματου προσωπικού δικτύου υψηλών ταχυτήτων (**WPAN**).
- Πρότυπο Ad hoc δικτύου παρόμοιο με το Bluetooth.
- Διευκρινίζει μόνο το επίπεδο προσπέλασης μέσου στρώματος (**MAC**) και φυσικού στρώματος (**PHY**).
- Εστιάζεται στην διαχείριση ενέργειας, στην ποιότητα των υπηρεσιών και στην ασφάλεια
- Εστιάζεται στην ισχύ του χειρισμού της ποιότητας των υπηρεσιών και της ασφάλειας.
- Short range (~10m)
- υψηλός εύρος ζώνης (~55 Mbps)

### 2.3.2 Τα συστατικά μέρη του προτύπου 802.15.3.

Το 802.15.3 αποτελείται από διάφορα συστατικά. Το βασικό συστατικό είναι ένας ασύρματος σταθμός (STA). Δύο ή περισσότεροι σταθμοί μέσα σε (*personal operating space*) (POS) που επικοινωνούν στο ίδιο φυσικό κανάλι περιλαμβάνουν ένα προσωπικό σύνολο υπηρεσιών (PSS). Ένας σταθμός απαιτείται για να έχει το ρόλο του συντονιστή του (PAN). Ο συντονιστής παρέχει πάντα το βασικό συγχρονισμό για το προσωπικό δίκτυο (PAN). Επιπλέον ο συντονιστής διαχειρίζεται την ποιότητα των απαιτήσεων υπηρεσιών του (PAN) δικτύου.

#### *Personal Operating Space (POS):*

Για το ασύρματο φυσικό επίπεδο (PHY), οι καθορισμένες με σαφήνεια περιοχές κάλυψης δεν υπάρχουν. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης είναι δυναμικά και απρόβλεπτα. Οι μικρές αλλαγές στη θέση ή την κατεύθυνση μπορούν να οδηγήσουν στις δραματικές διαφορές στη δύναμη ή την ποιότητα σημάτων. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται εάν ο σταθμός (STA) είναι στάσιμος ή κινητός.

### 2.3.4 Οι υπηρεσίες του 802.15.3

Η ομάδα IEEE του 802.15.3 παρέχει υπηρεσίες για να επιτρέψει στους σταθμούς να διαμορφώσουν και να ολοκληρώσουν το PAN δίκτυο και να μεταδώσουν τα δεδομένα μεταξύ των σταθμών. Η μεταφορά στοιχείων υποστηρίζει την πολλαπλάσια ποιότητα των επιπέδων υπηρεσιών (QoS) με τη διαθέσιμη μυστικότητα. Το 803.15.3 παρέχει υπηρεσίες για να επικυρώσει τους σταθμούς τον ένα με τον άλλο. Το 803.15.3 επίσης παρέχει τους μηχανισμούς για να επιτρέψει στους σταθμούς (συμπεριλαμβανομένου του συντονιστή) να ελαχιστοποιήσουν τις απαιτήσεις ισχύος και να διατηρήσουν ακόμα το δίκτυο. Επίσης επιτρέπει στον συντονιστή να περάσει το συντονισμό σε έναν άλλο σταθμό στο PSS.

**Authentication:** Οι σταθμοί που επιθυμούν να ενωθούν σε ένα προσωπικό δίκτυο (PAN) πρέπει να επικυρωθούν με το συντονιστή και έπειτα με οποιοδήποτε άλλο σταθμό

με τον οποίο η επικοινωνία απαιτείται. Αυτό ολοκληρώνεται με τη χρησιμοποίηση μιας δημόσιας βασικής ανταλλαγής. Αυτή η επικύρωση μπορεί να είναι "ανοικτή", η οποία είναι μόνο οι δημόσιες βασικές πληροφορίες του σταθμού στον οποίο η επικύρωση προσπαθεί να χρησιμοποιηθεί. Μπορεί επίσης να απαιτήσει ένα μυστικό κωδικό (PIN)<sup>5</sup> για να είναι 'ξέρει' και μεταφέρει κατά τη διάρκεια της ανταλλαγής, επιτρέποντας κατά συνέπεια την ελεγχόμενη επικύρωση. Ένα μυστικό κλειδί παράγεται για να επιτρέψει τη μυστικότητα για οποιαδήποτε επόμενη ανταλλαγή στοιχείων.

**Data Transport:** Οι σταθμοί μπορούν να ανταλλάξουν τα στοιχεία (που χρησιμοποιούν τη μυστικότητα εάν επιδιώκεται) χρησιμοποιώντας τρεις υπηρεσίες μεταφορών στοιχείων (QoS). Τα στοιχεία μπορούν να σταλούν χρησιμοποιώντας μια *streamless* ασύγχρονη ανταλλαγή, με την εγκατάσταση μιας ασύγχρονης σύνδεσης, ή με τη χρησιμοποίηση μιας σύγχρονης σύνδεσης. Η *streamless* ασύγχρονη ανταλλαγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα μικρά ποσά στοιχείων.

## **2.4 Διαφορές ασύρματου προσωπικού δικτύου (WPAN) και τοπικού δικτύου (LAN).**

Τα ασύρματα PAN δίκτυα έχουν θεμελιώδη χαρακτηριστικά που τα καθιστούν σημαντικά διαφορετικά από τα παραδοσιακά συνδεδεμένα με καλώδιο LAN και ασύρματα LAN. Αποτελούνται από μικρό αριθμό σταθμών και σκόπιμα περιορίζουν τον τομέα κάλυψης του προσωπικού χώρου λειτουργίας (**POS**) (*personal operating space*). Περαιτέρω αυτοί οι σταθμοί τυπικά έχουν σημαντικά όρια στην διαθέσιμη ισχύ. Μερικές χώρες επιβάλλουν τις συγκεκριμένες απαιτήσεις για το ράδιο εξοπλισμό, επιπλέον σε εκείνες που ορίζονται σε αυτό το πρότυπο

Στο ασύρματο LAN, η διεύθυνση είναι ισοδύναμη με μια φυσική θέση. Αυτό εξυπακούεται ότι υποτίθεται στο σχεδιασμό καλωδιωμένων LAN. Στο 802.15.3 πρότυπο,

---

<sup>5</sup> Personal Identification Number. Χρησιμοποιείται για να περιορίσει την πρόσβαση στις προσωπικές υπηρεσίες ή τις ικανότητες.

η προσπελάσιμη μονάδα είναι ένας ασύρματος σταθμός (STA). Ο ασύρματος σταθμός (STA) είναι ένας προορισμός μηνύματος, αλλά όχι μια σταθερή θέση.

Το φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιείται από την IEEE στο 802.15.3 είναι θεμελιωδώς διαφορετικό από τα καλωδιωμένα μέσα. Κατά συνέπεια και το φυσικό επίπεδο (PHY) της *IEEE 802.15.3* διαφέρει στα εξής σημεία:

- Χρησιμοποιεί ένα μέσο όπου δεν έχει ούτε απόλυτα ούτε άμεσα εμφανή όρια έξω από τα οποία οι σταθμοί με συμβατικούς δέκτες φυσικού στρώματος είναι γνωστό ότι δεν μπορούν να λάβουν πλαίσια δικτύου
- Είναι απροστάτευτο από εξωτερικά σήματα
- Επικοινωνεί με ένα μέσο σημαντικά λιγότερο αξιόπιστο από ένα συνδεδεμένο με καλώδιο φυσικό στρώμα (PHY).
- Έχει δυναμική τοπολογία
- Έλλειψη πλήρους συνδετικότητας και γι αυτό το λόγο η υπόθεση που φυσιολογικά προκύπτει ότι κάθε ασύρματος σταθμός (STA) μπορεί να επικοινωνήσει με κάθε άλλο σταθμό είναι άτοπη
- Έχει περιορισμούς στις ασύρματες σειρές στο φυσικό στρώμα (PHY). Το προσωπικό δίκτυο (PAN) είναι στην πραγματικότητα σκοπίμως μικρού εύρους
- Έχει ιδιότητες που ποικίλουν χρονικά και ασύμμετρη διάδοση

## **2.5 IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4)(*Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPAN)*).**

Η υποομάδα TG4 του πρωτοκόλλου *IEEE 802.15.4* ναυλώνεται για να ερευνήσει λύση για χαμηλό ρυθμό απόδοσης, με πολυετή ζωή μπαταριών και πολύ χαμηλή πολυπλοκότητα. Προορίζεται να λειτουργήσει σε μια χωρίς άδεια, διεθνή ζώνη συχνότητας. Οι πιθανές εφαρμογές είναι αισθητήρες, διαλογικά παιχνίδια, smart badges, τηλεχειρισμοί, και home automation.

Το IEEE 802.15.4 πρότυπο επικυρώθηκε τον Μάιο του 2003 και διευκρινίζει τα φυσικά ( **PHY**) και το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) για πολλαπλάσιες ζώνες RF, συμπεριλαμβανομένων 868 MHz, 915MHz, 2.4GHz. Το πρότυπο αυτό έχει ως

σκοπό να παρέχει την αξιόπιστη μεταφορά στοιχείων με χαμηλό ποσοστό δεδομένων μέχρι 100 μέτρα ή περισσότερο καταναλώνοντας πολύ λίγη ενέργεια. Το 802.15.4 είναι ένα απλό πρωτόκολλο, χαρακτηριστικά λιγότερο από 32 KB στο μέγεθος, που χαρακτηρίζει ένα 64-bit διάστημα διευθύνσεων, μια πηγή και μια διεύθυνση προορισμού, μια ανίχνευση λάθους, και μια προηγμένη διαχείριση ισχύος.

Οι τρεις με άδεια ελεύθερες συχνότητες του 802.15.4 προτύπου περιλαμβάνουν 16 κανάλια στα 2.4GHz, 10 κανάλια στα 915 MHz, και ένα κανάλι στα 868 MHz για να υποστηρίξει τη παγκόσμια ή τοπική επέκταση. Τα μέγιστα data rate για κάθε ζώνη είναι 250 Kbps, 40 Kbps και 20 Kbps, αντίστοιχα. Η air interface είναι τεχνική διασποράς φάσματος άμεσης ακολουθίας (**DSSS**- *direct sequence spread spectrum*) που χρησιμοποιεί τη δυαδική διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (**BPSK**) για 868 MHz και 915 MHz και τη διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (*offset-quadrature phase shift keying*) (**O-QPSK**) για 2,4 GHz. Άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα 802.15.4 για το φυσικό στρώμα (PHY) περιλαμβάνει την ενεργειακή ανίχνευση δεκτών, την ποιοτική ένδειξη συνδέσεων και τη σαφή αξιολόγηση των καναλιών. Το μέγιστο μέγεθος πακέτων είναι 128 byte, συμπεριλαμβανομένου ενός μεταβλητού ωφέλιμου φορτίου μέχρι 104 byte. Το IEEE 802.15.4 χρησιμοποιεί 64-bit IEEE και 16-bit σύντομες διευθύνσεις, το οποίο υποστηρίζουν πάνω από 65.000 κόμβους ανά δίκτυο. Το IEEE 802.15.4 επίπεδο πρόσβασης μέσου (MAC) επιτρέπει επίσης την ένωση δικτύων και την αποσύνδεση, έχει μια προαιρετική superframe δομή με τα αναγνωριστικά σήματα για το χρονικό συγχρονισμό, και έναν εγγυημένο μηχανισμό χρονικών αυλακώσεων (GTS) για τις επικοινωνίες υψηλής προτεραιότητας.

### **2.5.1 Χαρακτηρίστηκα του προτύπου 802.15.4.**

- Ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από 250 kbps, 40 kbps, και 20 kbps.
- Δύο τύποι διευθυνσιοδότησης: 16-bit short και 64-bit IEEE.
- Υποστήριξη critical latency συσκευών devices, όπως joysticks.
- Υποστήριξη για τις κρίσιμες συσκευές λανθάνουσας κατάστασης όπως τα joysticks

- Πρόσβαση σε κανάλια CSMA-CA
- Αυτόματη καθιέρωση δικτύων από το συντονιστή .
- Αξιοπιστία μεταφοράς των δεδομένων
- Διαχείριση ενέργειας για να εξασφαλίσει μικρή κατανάλωση ισχύος
- 16 κανάλια στην συχνότητα των 2.4GHz ISM band, 10 κανάλια στα 915 MHz και ένα κανάλι στην 868 MHz

Property	Range
Raw data rate	868 MHz: 20 kb/s; 915 MHz; 40 kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s
Range	10 - 20 meters
Latency	Down to 15 ms
Channels	868MHz: 1 channel; 915 MHz: 10 channels; 2.4 Ghz: 16 channels
Frequency band	Two PHYs: 868 MHz/915 MHz and 2.4 GHz
Addressing	Short 8-bit or 64-bit IEEE
Channel access	CSMA-CA and slotted CSMA-CA
Temperature	Industrial temperature range -40 to +85 C

Εικόνα 9: Χαρακτηριστικά του 802.15

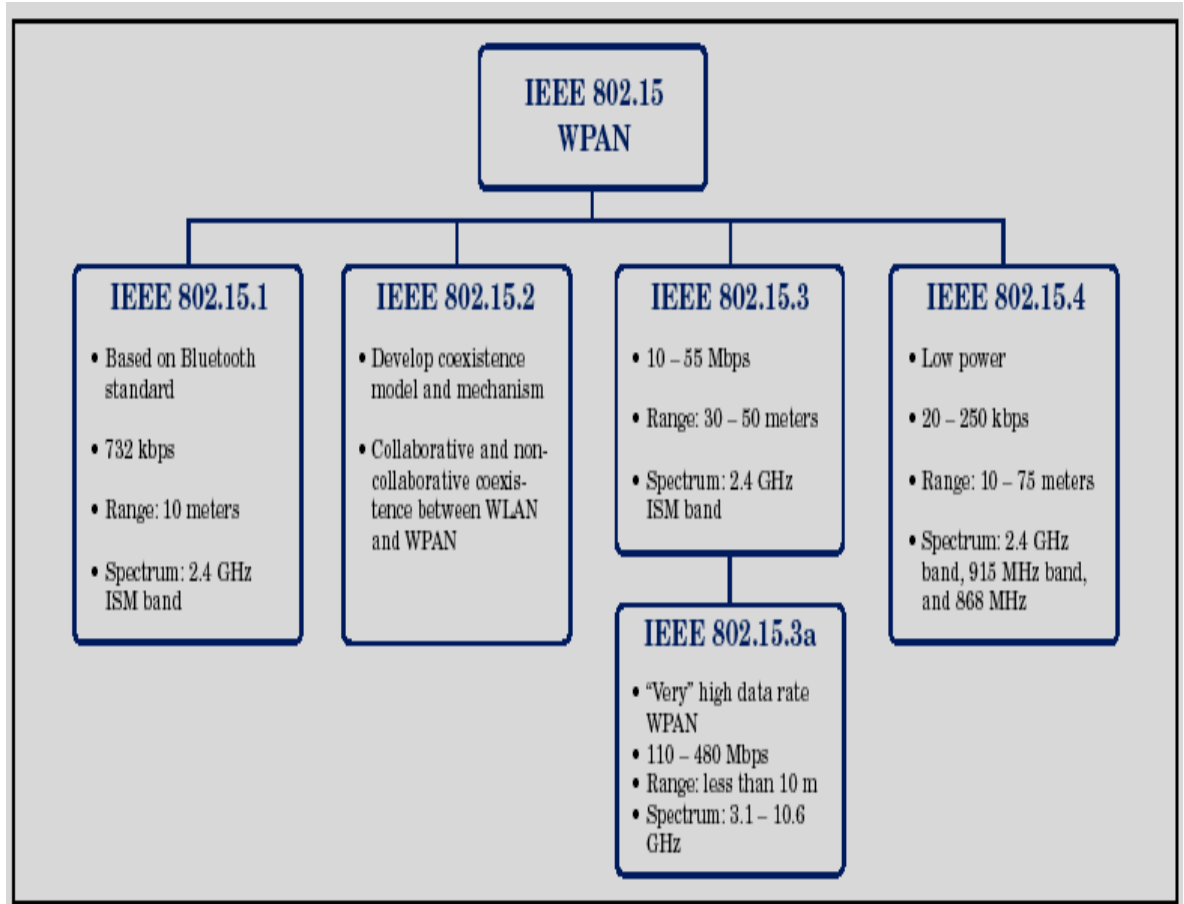
### 2.5.2 Στόχος του 802.15.4.

Ο παραπάνω πίνακα δείχνει ότι οι διευθύνσεις του IEEE 802.15.4 χαρακτηρίζονται από χαμηλή κατανάλωση ισχύος και χαμηλό κόστος

**Πολύ χαμηλή κατανάλωση:** Σε οποιοδήποτε ασύρματο ενσωματωμένο σύστημα, το radio είναι συχνά ένας από τους μεγαλύτερους καταναλωτές ενέργειας ακόμη περισσότερο και από την CPU. Τα ενσωματωμένα συστήματα που αναμένονται να χρησιμοποιήσουν το 802.15.4 για την επικοινωνία έχουν την εξαιρετικά σφιχτή ενέργεια constraints, ίσως λειτουργήσουν με μια μικρή μπαταρίας για μια περίοδο μηνών ή ετών.

**Πολύ χαμηλότερο κόστος:** Το τελικό κόστος του συστατικού για την εφαρμογή του 802.15.4 προτύπου πρέπει να είναι μικρό έναντι του κόστους του υπολοίπου του συστατικού. Ο λόγος για αυτό είναι ότι οι επεκταμένες εφαρμογές προβλέπονται για να αποτελούνται από τις ενδεχομένως πολυάριθμες, ανέξοδες, και disposable συσκευές.





**Εικόνα 10: Τα πρότυπα του 802.15**



### 3.1 IEEE 802.16 & WMAN - Wireless Metropolitan Area Network`

Το 2001, ο οργανισμός προτύπων *Electrical and Electronic Engineers Standards Association* (IEEE-SA) αποδέχτηκε επίσημα το πρότυπο IEEE 802.16. Αυτή η αποδοχή έθεσε τα θεμέλια για την ανάπτυξη των **WMANs** (*Wireless Metropolitan Area Networks*), ως μια οικονομική και υψηλής ταχύτητας μέθοδο σύνδεσης σε δημόσια δίκτυα. Το 802.16 είναι γνωστό και ως IEEE Wireless MAN, καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η ασύρματη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των σταθμών MAN, με ταχύτητα μέχρι και 120 Mbps, χρησιμοποιώντας συχνότητες που βρίσκονται στην περιοχή των 10-66GHz. Το πρότυπο 802.16 δημιουργεί μια πλατφόρμα πάνω στην οποία είναι δυνατόν να χτιστεί μια βιομηχανία που θα εγκαταστήσει ταχύτατα ασύρματες υποδομές μητροπολιτικών δικτύων. Επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών. Περιλαμβάνει ένα επίπεδο ελέγχου μεσαίας πρόσβασης (**Medium Access Control Layer -MAC**) το οποίο περιλαμβάνει πολλαπλές ρυθμίσεις για το φυσικό επίπεδο. Το φυσικό επίπεδο είναι σχεδιασμένο για εύρος από 10 έως 66 GHz.

Το πρότυπο IEEE 802.16 κάνει υψηλά αποδοτική τη χρήση του εύρους ζώνης και υποστηρίζει εφαρμογές φωνής, video και δεδομένων με την υψηλή ποιότητα που επιθυμούν οι χρήστες.

Το πρότυπο IEEE 802.16 συνδέει τα σημεία ασύρματης πρόσβασης, που προσφέρουν στους χρήστες ασύρματη πρόσβαση στο Internet, μέσω του προτύπου IEEE 802.11 (Wi-Fi), με άλλες τοποθεσίες όπως επιχειρήσεις και σπίτια στον κορμό (backbone) του ασύρματου Internet. Η ομάδα 1 στοιχειώδους εργασίας του IEEE802.16 ξεκίνησε περίπου 2.5 χρόνια πριν με την εκμίσθωση να αναπτύξει ασύρματο πρότυπο πρόσβασης

*point-to-multipoint* ζώνης μεγάλου εύρους για συστήματα με εύρος συχνότητας 11-66GHz. Το πρότυπο επρόκειτο να καλύψει και τον έλεγχο πρόσβασης στο μέσο (MAC) και τα επίπεδα φυσικής σύνδεσης (PHY). Η διαδικασία IEEE 802 ευνοεί την υποβολή προτάσεων ολοκληρωμένων συστημάτων σαν σημείο εκκίνησης για τη δημιουργία του προτύπου. Αρχικά υπήρξαν πολυάριθμες προτάσεις αλλά τελικά περιορίστηκαν σε δύο: μια πρόταση βασισμένη στη **DOCSIS**(επίσης γνωστή σαν DOCSIS+) και μια πρόταση βασισμένη στην τεχνολογία αποκλειστικής εκμετάλλευσης των E-UTRA επικοινωνιών γνωστό και σαν Adaptix (με εμφανή τροφοδοσία από τη Nokia και άλλες εταιρείες). Έγινε εμφανές ότι ούτε η πρόταση της DOCSIS βασισμένες στην καλωδιακή τεχνολογία ούτε η πρόταση της Ensemble βασισμένη σε επόμενη γενιά ότι πιο σύγχρονες τεχνολογίες θα πετύχαινε το απαραίτητο 75% ψήφο για να γίνει η αποκλειστική βάση για το πρότυπο.

Οι προτάσεις ήταν ήδη συμβατές σε πολλές βασικές απόψεις και το Μάη του 2000 η διεργασία συγχώνευσης των δύο ανταγωνιστικών προτάσεων ξεκίνησε. Τα βασικά επίπεδα, το σχέδιο ζήτησης εύρους ζώνης (BW), η ικανότητα να μεταφέρεται οποιοδήποτε επίπεδο εφαρμογής και η υποστήριξη των προηγούμενων επιπέδων φυσικής σύνδεσης, πάρθηκαν από την πρόταση της Ensemble. Η ευέλικτη δομή μηνυμάτων, η πιστοποίηση και η ασφάλεια πάρθηκαν από την πρόταση της DOCSIS. Με το πέρασμα της επόμενης χρονιάς το συνδυασμένο σύστημα προδιαγραφών βελτιώθηκε βασισμένο σε σχόλια από ένα μεγάλο αριθμό πηγών.

### **3.2 Η πρόοδος του προτύπου 802.16.**

- Εργασία του προτύπου 802.16 άρχισε τον Ιουλίου 1999. Τέσσερα έτη αργότερα, η IEEE 802.16 ομάδα εργασίας σχετικά με την ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση έχει παραδώσει τρία πρότυπα συνέχισης. Τα πρότυπα αυτά είναι τα εξής:
- IEEE802.16 (“Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”) εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2001. Αυτά τα πρότυπα είναι για ασύρματο MANs λειτουργώντας στις συχνότητες μεταξύ 10 και 66 GHz.
- IEEE 802.16.2, που δημοσιεύεται το 2001, διευκρινίζει μια "συνιστώμενη πρακτική" να εξετάσει τη λειτουργία των πολλαπλάσιων, διαφορετικών ευρυζωνικών συστημάτων στο φάσμα συχνότητας 10-66 GHz.

- Τον Ιανουάριο του 2003 η IEEE ενέκρινε μια τροποποίηση 802.16, αποκαλούμενος 802.16g, το οποίο προσθέτει στην αρχική τυποποιημένη λειτουργία στις εξουσιοδοτημένες και χωρίς άδεια ζώνες συχνότητας από 2-11 GHz.
- 802.16c, που εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2002, στοχεύει στη βελτίωση της διαλειτουργικότητας με τη διευκρίνιση των σχεδιαγραμμάτων συστημάτων στη μπάντα συχνοτήτων των 10-66 GHz.
- Το IEEE συνέχισε την εργασία του με την έγκριση για την ανάπτυξη μιας νέας τροποποίησης γνωστής ως 802.16e, που θα επέκτεινε τα πρότυπα για να καλύψει τη "συνδυασμένη σταθερή και κινητή λειτουργία στις εξουσιοδοτημένες ζώνες" (2-6 GHz), όπου εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2002.

### **3.3 Το επίπεδο φυσικής σύνδεσης 802.16 (PHY).**

Ένας αριθμός μελετών για το PHY λήφθηκαν υπόψη για το καταληκτικό περιβάλλον. Στη σχετικές συχνότητες μια γραμμή σκοπεύσεως είναι απαραίτητη. Αυτή η αίτηση διευκολύνει το αποτέλεσμα των πολλαπλών διαδρομών επιτρέποντας ευρή κανάλια τυπικά μεγαλύτερα από 10 MHz στο εύρος ζώνης. Αυτό δίνει στο IEEE 802.16 την ικανότητα να παρέχει πολύ υψηλής ικανότητας συνδέσμους και στον άνω σύνδεσμο και στον κάτω σύνδεσμο. Διατομές προσαρμόσιμου καταγισμού (διαμόρφωση και αποστολή διόρθωσης λάθους (FEC)) χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν περαιτέρω την τυπική ικανότητα των συστημάτων 802.16 αναφορικά με την παλαιότερη τεχνολογία. Το φυσικό στρώμα (PHY) επίσης είναι σχεδιασμένο να περιλάβει την ανάπτυξη είτε της αμφίδρομης διαίρεσης χρόνου (TDD<sup>6</sup>=Time Division Duplexing) ή της αμφίδρομης διαίρεσης συχνότητας (FDD)<sup>7</sup>, επιτρέποντας και πλήρως αμφίδρομα και ημιαμφίδρομα τερματικά στην περίπτωση της FDD.

---

<sup>6</sup> Στην TDD τα δεδομένα από και προς το σταθμό βάσης μεταδίδονται στην ίδια συχνότητα, αλλά σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

<sup>7</sup> Στην FDD τα δεδομένα που στέλνονται από το σταθμό βάσης (downlink) μεταδίδονται σε διαφορετική συχνότητα από ότι τα δεδομένα που στέλνονται από το χρήστη (uplink). Τα δύο κανάλια έχουν μεταξύ τους μια ζώνη συχνοτήτων διαχωρισμού για την αποφυγή παρεμβολών.

### 3.4 Το επίπεδο πρόσβασης στο μέσο (MAC) του 802.16.

Παρομοίως το μέσο πρόσβαση στρώμα (MAC) σχεδιάστηκε ειδικά για το ασύρματο περιβάλλον πρόσβασης **PMP**. Είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει χωρίς συρραφές οποιοδήποτε υψηλότερο στρώμα ή πρωτόκολλο μεταφοράς όπως τα πρωτόκολλα *ATM*, *Ethernet* ή του *Internet* και είναι σχεδιασμένο να περιλάβει εύκολα μελλοντικά πρωτόκολλα που δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί. Το επίπεδο πρόσβασης μέσου (MAC) είναι σχεδιασμένο για τους πολύ υψηλούς ρυθμούς δυαδικών ψηφίων (μέχρι 268mbps) προς κάθε πλευρά της ευρεία ζώνης φυσικού στρώματος ενώ ταυτόχρονα παραδίδει Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) συμβατή με ATM και μη ATM (MPLS, VoIP κλπ) υπηρεσίες.

Η βασική δομή πλαισίου επιτρέπει στα τερματικά να αναθέτονται δυναμικά προφίλ καταγωγισμού άνω συνδέσμου και κάτω συνδέσμου σύμφωνα με τις συνθήκες των συνδέσμων τους. Αυτό επιτρέπει την εναλλαγή ανάμεσα στην χωρητικότητα και την αυθεντικότητα σε πραγματικό χρόνο και παρέχει περίπου διπλάσια αύξηση στην χωρητικότητα, όταν συγκρίνεται με μη προσαρμοσμένα συστήματα ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τη κατάλληλη διαθεσιμότητα συνδέσμου.

Το 802.16 MAC χρησιμοποιεί ποικίλους μήκους πρωτόκολλο Μονάδας δεδομένου (**PDU=Protocol Data Unit**) μαζί με έναν αριθμό από άλλες ιδέες που αυξάνουν κατά πολύ την αποδοτικότητα του προτύπου. Τα πολλαπλά MAC PDU μπορούν να συνδεθούν σε ένα και μόνο καταγωγισμό για να εξοικονομήσουν την επιβάρυνση του φυσικού στρώματος PHY. Επιπλέον, πολλαπλές μονάδες δεδομένων (**Service Data Units=SDU**) για την ίδια υπηρεσία μπορούν να συνδεθούν ένα μόνο MAC PDU εξοικονομώντας επιβάρυνση στην MAC επικεφαλίδα. Ο κατακερματισμός μνήμης επιτρέπει σε πολύ μεγάλες SDU να στέλνονται με τμηματική τροφοδοσία για να εγγυηθούν την QoS των ανταγωνιστικών υπηρεσιών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί απαλοιφή επικεφαλίδας μισθωμένης φόρτισης για να μειώσει την επιβάρυνση που προκαλείται από τα πλεονάζων τμήματα των επικεφαλίδων SDU.

Το MAC χρησιμοποιεί ένα σχεδιάγραμμα αυτοδιόρθωσης αίτησης και παραχώρησης εύρους ζώνης που εξαλείφει την επιβάρυνση και την καθυστέρηση των αναγνωρίσεων ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει καλύτερο χειρισμό QoS από τα παραδοσιακά

αναγνωρισμένα σχεδιαγράμματα. Τα τερματικά έχουν μια ποικιλία από επιλογές διαθέσιμες σε αυτά για την αίτηση εύρους Ζώνης που εξαρτώνται από την ποιότητα υπηρεσίας και τις παραμέτρους κυκλοφορίας των υπηρεσιών τους. Μπορούν να υποστούν διαδοχική σταθμοσκόπηση ατομικά ή ανά ομάδες. Μπορούν να υποκλέψουν το εύρος ζώνης που ήδη έχει κατανεμηθεί για να ζητήσουν περισσότερο. Μπορούν να σηματοδοτήσουν την ανάγκη να σταθμοσκοπήσουν διαδοχικά και μπορούν να κάνουν να κάνουν εμβόλιμες αιτήσεις για εύρος ζωής.

Όπως είναι εμφανές μέχρι να προστεθούν η ασφάλεια γνησιότητας, η διαπραγμάτευση ικανότητας και η ξενία των άλλων χαρακτηριστικών το πρότυπο IEEE 802.16 γίνεται σχεδόν συνταρακτικό.

### **3.4.1 Επιλογές πρόσβασης στο ασύρματο κανάλι.**

Καθώς ένας σταθμός βάσης πρέπει να επικοινωνεί με πολλούς συνδρομητές απαιτεί έναν τρόπο καταμερισμού του διαθέσιμου φάσματος μεταξύ των συνδρομητών (όταν επιλέγεται η τεχνική **FDD**) ή της διάρκειας μετάδοσης (όταν επιλέγεται η τεχνική **TDD**) τόσο για την άνω και όσο και για την κάτω κατεύθυνση.

Στην προς τα κάτω κατεύθυνση επικοινωνίας οι περισσότερες εταιρίες εφαρμόζουν την τεχνική **TDM** (*Time Division Multiplexing*) σε περιπτώσεις **PTP** και **PMP**, αντί της εναλλακτικής της **FMD** (*Frequency Division Multiplexing*). Όπως είναι φανερό και από τα ονόματα τους, στην πρώτη και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική ο σταθμός βάσης επικοινωνεί με κάθε χρήστη σε διαφορετικές χρονικές σχισμές. Αντίθετα στη δεύτερη ο σταθμός βάσης επικοινωνεί με ένα μόνο χρήστη.

Εναλλακτικά χρησιμοποιώντας την τεχνική **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*) σε κάθε συνδρομητή αφιερώνεται ένα κομμάτι του διαθέσιμου φάσματος, οπότε καθίσταται δυνατή η ταυτόχρονη μετάδοση των συνδρομητών.

Μια άλλη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, με δυνατότητα υποστήριξης λιγότερων χρηστών από την **TDMA**, είναι η **CDMA** (*Code Division Multiple Access*).

### **3.5 Η πρόκληση της ενδολειτουργικότητας.**

Έχουμε πληθώρα επιλογών:

Από την παραπάνω γενική θεώρηση είναι ξεκάθαρο ότι οι προδιαγραφές εναέριας προσαρμοστικότητας (Air Interface Specification) του IEEE 802.16 είναι μια μεγάλη προδιαγραφή. Σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες ασύρματης πρόσβασης ορισμένης ζώνης μεγάλου εύρους για ποικίλες διαφορετικές περιστάσεις. Έχουν ληφθεί υπόψη τα διαφορετικά φυσικά στρώματα για διαφορετικές ζώνες συχνότητας και οι περιορισμοί χρήσης συχνότητας από χώρα σε χώρα. Υπάρχουν χαρακτηριστικά που επιτρέπουν σε κάποιον να φτιάξει ένα κεντρικό σύστημα IP ή ένα κεντρικό σύστημα ATM ανάλογα με τις ανάγκες των πελατών. Η προδιαγραφή είναι σχεδιασμένη να καλύψει την εφαρμογή σε διαφορετικές αγορές από επιχειρήσεις πολύ μεγάλου εύρους ζώνης έως SOHO και τοπικούς χρήστες.

Εξαιτίας του πλούτου των διαθέσιμων επιλογών ένας εφαρμοστής στην παρούσα κατάσταση αντιμετωπίζει μια δύσκολη απόφαση. Φτιάχνεις ένα συνδεδετικό σύστημα IEEE 802.16 εφαρμόζοντας κάθε πιθανό χαρακτηριστικό, ακόμη και αυτά τα χαρακτηριστικά που ξέρεις ότι δε θα χρησιμοποιηθούν σε συστήματα για τους πελάτες που απευθύνεσαι; Φτιάχνεις ένα σύστημα με μόνο τα υποσύνολα των χαρακτηριστικών που χρειάζεσαι για τη αγορά σου ρισκάροντας να κατηγορηθεί για μη συμμόρφωση και έλλειψη ενδολειτουργικότητας;

### **3.6 Ρυθμό απόδοση, εξελησιμότητα και ασφάλεια του 802.16.**

- **Ρυθμό απόδοση:** Με τη χρησιμοποίηση ενός σχεδίου διαμόρφωσης, το 802.16 παρέχει την υψηλή ρυθμοαπόδοση στις μακροχρόνιες σειρές με έναν υψηλό επίπεδο φασματικής αποδοτικότητας που είναι επίσης ανεκτικό στις αντανάκλασεις σημάτων. Η δυναμική προσαρμοστική διαμόρφωση επιτρέπει τη βάση σταθμός στη ρυθμοαπόδοση ανταλλαγής για τη σειρά. Παραδείγματος χάριν, εάν ο σταθμός βάσεων δεν μπορεί να εγκαταστήσει μια γερή σύνδεση με έναν απόμακρο συνδρομητή που χρησιμοποιεί το υψηλότερο σχέδιο διαμόρφωσης διαταγής, 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*),

η διαμόρφωση η διαταγή μειώνεται σε 16 QAM ή QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), η οποία μειώνει τη ρυθμοαπόδοση και αυξάνεται αποτελεσματική σειρά.

- **Εξελιξιμότητα:** Για να προσαρμόσει τον εύκολο προγραμματισμό κυττάρων και στα δύο εξουσιοδοτημένα και άδεια-απαλλάξιμο φάσμα παγκοσμίως, Το 802.16 υποστηρίζει εύκαμπτα ευρείας ζώνης καναλιών. Παραδείγματος χάριν, εάν ο χειριστής ορίζει 20 MHz του φάσματος, τα οποία ο χειριστής θα μπορούσε να διαιρέσει σε δύο τομείς των 10 MHz ο κάθε ένας, ή 4 τομείς από 5 MHz το κάθε ένα. Με τη συγκέντρωση της δύναμης όλο και περισσότερο σε στενούς τομείς, ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών διατηρώντας good range και τη ρυθμοαπόδοση. Στην κλίμακα κάλυψη ακόμα περαιτέρω, ο χειριστής μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει το ίδιο φάσμα σε δύο ή περισσότερους τομείς με τη δημιουργία κατάλληλης απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσεων.
- **Κάλυψη:** Εκτός από την υποστήριξη γερού και δυναμικού σχεδίου διαμόρφωσης, το πρότυπο *IEEE802.16* επίσης υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την κάλυψη, συμπεριλαμβανομένου του πλέγματος τεχνικές τοπολογίας και "έξυπνων κεραιών". Σαν ράδιο τεχνολογία βελτιώνει και κοστίζει την πτώση, η δυνατότητα να αυξηθεί η κάλυψη και η ρυθμοαπόδοση με τη χρησιμοποίηση των πολλαπλάσιων κεραιών δημιουργήστε "τη μετάδοση" ή/και "λάβετε την ποικιλομορφία" θα βελτιώσει πολύ την κάλυψη στα ακραία περιβάλλοντα.
- **Ποιότητα της υπηρεσίας.** Η ικανότητα φωνής είναι εξαιρετικά σημαντική, ειδικά στις διεθνείς αγορές. Το 802.16 υποστηρίζει τη δυνατότητα μετάδοσης φωνής χρησιμοποιώντας την καθιερωμένη τεχνική "*Time Division Multiplexing*" ή τη συγκρητικά νεότερη *Voice over IP* (VoIP). Για αυτό το λόγος το 802.16 περιλαμβάνει την ποιότητα Χαρακτηριστικά γνωρίσματα υπηρεσιών που επιτρέπουν στις υπηρεσίες συμπεριλαμβανομένης της φωνής και βίντεο που απαιτεί ένα δίκτυο χαμηλός-λανθάνουσας κατάστασης.
- **Ασφάλεια.** Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μυστικότητας και κρυπτογράφησης συμπεριλαμβάνονται στο πρότυπο 802.16 για να υποστηρίξει τις ασφαλείς μεταδόσεις και παρέχει την επικύρωση και την κρυπτογράφηση στοιχείων.



### **3.7 Ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (Broadband Wireless Access).**

Η ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (BWA) είναι μια τεχνολογία που βρίσκεται πίσω από το πρότυπο 802.16 WirelessMAN, έχει γίνει ο καλύτερος τρόπος να ικανοποιηθεί η κλιμακώνοντας επιχειρησιακή απαίτηση για τη σύντομη σύνδεση με το Διαδίκτυο και τα ολοκληρωμένα δεδομένα, τη φωνή και τις τηλεοπτικές υπηρεσίες. Η BWA μπορεί να επεκτείνει τα οπτικά δίκτυα ινών και να παρέχει περισσότερη ικανότητα από τα καλωδιακά δίκτυα ή τις ψηφιακές γραμμές συνδρομητών (DSL). Μια από τις αναγκάζοντας πτυχές της τεχνολογίας BWA είναι ότι τα δίκτυα μπορούν να δημιουργηθούν ακριβώς στις εβδομάδες με την ανάπτυξη ενός μικρού αριθμού σταθμών βάσεων στα κτήρια ή τους πόλους για να δημιουργήσουν τα μεγάλης χωρητικότητας ασύρματα συστήματα πρόσβασης. Η Ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (BWA) είχε την περιορισμένη προσιτότητα μέχρι τώρα, εν μέρει λόγω της μη ικανοποιηθείσας ανάγκης για καθολικά πρότυπα. Παρέχοντας ένα τέτοια πρότυπο είναι σημαντικό για τις αναπτυγμένες χώρες, είναι ακόμα σημαντικότερο για τον αναπτυσσόμενο κόσμο όπου οι συνδεδεμένες με καλώδιο υποδομές είναι περιορισμένες.

### **3.8 802.16a**

Τον Ιανουάριο του 2003, η ομάδα IEEE ενέκρινε το πρότυπο 802.16a το οποίο καλύπτει τις ζώνες συχνότητας μεταξύ 2 GHz και 11 GHz. Αυτό το πρότυπο είναι μια επέκταση του 802.16 προτύπου για συχνότητα από 10 - 66 GHz, που δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο του 2002. Το 802.16a σε σχέση με το πρότυπο 802.16 είναι ότι οι συσκευές του 802.16a εκπέμπουν στην μπάντα συχνοτήτων 2-11GHz χρησιμοποιώντας την τεχνική “Orthogonal Frequency Division Multiplexing” ή “OFMD”<sup>8</sup>. Επίσης έχει εμβέλεια 30 μίλια ενώ μέγιστη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων που φτάνει τα 75Mbps επιτυγχάνεται

---

<sup>8</sup> Η OFMD είναι μια τεχνική πολυπλεξίας πολλαπλών φορέων (multicarrier). Η τεχνική αυτή έχει προταθεί για να υποστηρίξει μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες, από ασύρματα μέσα μετάδοσης τα οποία χρίζεται να δουλεύουν σε περιβάλλοντα όπου τα φαινόμενα

σε μια περιοχή με ακτίνα 4-6 μίλια. Η συχνότητα των 11 GHz δεν επιτρέπει την απόδοση μη οπτικής επαφής, κάνοντας το πρότυπο 802.16a με την κατάλληλη τεχνολογία για τις εφαρμογές τελευταίος-μιλίου όπου εμπόδια όπως τα δέντρα και τα κτήρια είναι συχνά παρόντα και όπου οι σταθμοί βάσεων μπορούν ανάγκη να τοποθετηθεί unobtrusively στις στέγες των σπιτιών ή κτήρια παρά τους πύργους στα βουνά. Η πιο κοινή διαμόρφωση 802.16a αποτελείται από ένα σταθμό που τοποθετείται σε ένα κτήριο ή έναν πύργο που επικοινωνούν σε ένα σημείο στην πολυσημιακή βάση με το συνδρομητή σταθμοί που βρίσκονται στις επιχειρήσεις και τα σπίτια.. Μέσα στη χαρακτηριστική ακτίνα κυττάρων, non-line-of-sight απόδοση και οι ρυθμοαποδόσεις είναι βέλτιστες. Επιπλέον, 802.16a παρέχει μια ιδανική ασύρματη backhaul τεχνολογία για να συνδέσει το 802.11 ασύρματο LANs και εμπορικές δυναμικές ζώνες με το Διαδίκτυο. Τα προϊόντα που βασίζονται στο 802.16a μπορούν να παρέχουν ασύρματη ευρυζωνική συνδεσιμότητα στις επιχειρήσεις με εγγυημένα επίπεδα υπηρεσιών τα οποία απαιτούνται για τις επιχειρηματικές εφαρμογές, αλλά και στα σπίτια για οικιακές ευρυζωνικές εφαρμογές. Αυτά τα προϊόντα θα δώσουν τη δυνατότητα στους προμηθευτές υπηρεσιών να παρέχουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Τα δίκτυα που βασίζονται στο πρότυπο 802.16a και έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων, φωνής και video σε ταχύτητες μέχρι και 70 Megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbps). Το πρότυπο IEEE 802.16a εγκρίθηκε τον Ιανουάριο. Από τότε, είκοσι πέντε κορυφαίες εταιρίες εξοπλισμού επικοινωνιών συμμετέχουν στο μη κερδοσκοπικό forum για το WiMAX για να βοηθήσουν, να προάγουν και να πιστοποιήσουν τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού 802.16a.

### 3.9 WiMAX

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των ασύρματων τεχνολογιών WiMAX.

<b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΤΥΠΟ ΧΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ</b>					
<b>WiMAX</b>	<b>IEEE 802.16d</b>	<b>WMAN</b>	<b>Έως 75Mbps (20MHzBW)</b>	<b>Τυπικά 6-9km</b>	<b>Sub 11GHz</b>
<b>WiMAX</b>	<b>IEEE 802.16e</b>	<b>Mobile WMAN</b>	<b>Έως 30Mbps</b>	<b>Τυπικά 1.5-5km</b>	<b>2-6GHz</b>

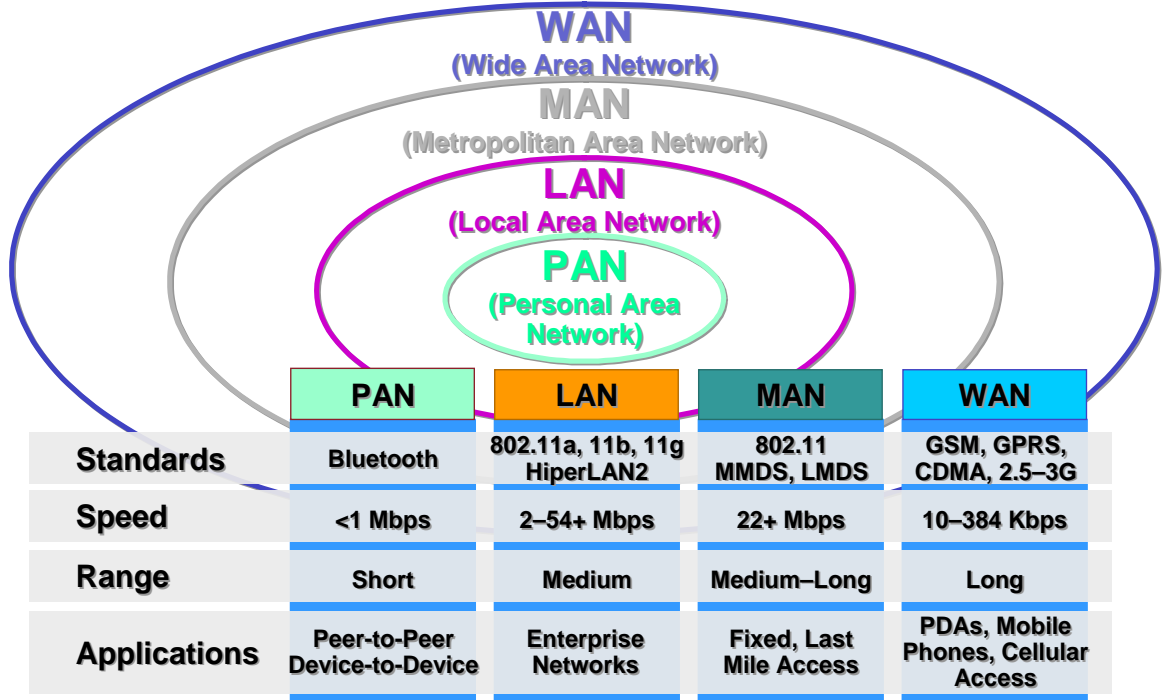
---

Το WiMAX είναι μια νέα τεχνολογία που θα πραγματοποιήσει την ευρυζωνική πρόσβαση του τελευταίου μιλίου σε μια μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή από ότι το WLAN, παρέχοντας στους επιχειρησιακούς πελάτες ευρυζωνικές υπηρεσίες τύπου T1 (1.544 Mbps), ενώ στους απλούς χρήστες πρόσβαση ανάλογη του DSL. Με ακτίνα κάλυψης από 1.5 έως 9 km (ανάλογα με τις τιμές διαφόρων παραμέτρων), το WiMAX θα επιτρέψει μεγαλύτερη κινητικότητα στις εφαρμογές δεδομένων υψηλών ταχυτήτων. Με τέτοια χαρακτηριστικά, το WiMAX είναι σε θέση να προσφέρει backhaul για την υποδομή παρόχων, τις μεγάλες επιχειρήσεις και τα WLAN hotspots. Τα δίκτυα WiMAX προβλέπεται να αναπτυχθούν σε τρεις φάσεις. Σε πρώτη φάση, η τεχνολογία WiMAX, χρησιμοποιώντας το πρότυπο IEEE 802.16d, θα επεκταθεί μέσω υπαίθριων κεραιών που στοχεύουν γνωστούς συνδρομητές σε μια σταθερή θέση. Σε δεύτερη φάση, θα χρησιμοποιήσει εσωτερικές κεραιές, οι οποίες θα δίνουν στους παρόχους τη δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης στους χώρους των χρηστών. Σε τρίτη φάση, θα προωθήσει την IEEE 802.16e προδιαγραφή, στην οποία το WiMAX επικυρωμένο υλικό (WiMAX certified) θα είναι διαθέσιμο στις φορητές λύσεις για τους χρήστες, οι οποίοι θέλουν να κινούνται μέσα σε περιοχές υπηρεσιών, δυνατότητα που παρέχει το WLAN σήμερα.

# Wireless Technologies

CA Training

Cisco.com





## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην εργασία αυτή σκιαγραφήθηκε η τρέχουσα γνώση για τα ασύρματα πρότυπα της ΙΕΕΕ: το 802.11, 802.15, 802.16. Επίσης έγινε περιγραφή γενικά για τα ασύρματα δίκτυα και τα πλεονεκτήματά τους. Τονίστηκε ιδιαίτερα η αρχιτεκτονική, η ασφάλεια και τα επίπεδα των προτύπων καθώς και διαφορές ανάμεσα τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι μέσα στα τελευταία χρόνια αναμένεται ευρεία ανάπτυξη των προτύπων.

Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Μαργαρίτη Σπυριδούλα για την καθοδήγηση της και τις εύστοχες και πολύτιμες συμβουλές της που βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.



- 1) <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>
- 2) [personal wireless communication with dect and pwt/John A. Phillips](#)
- 3) <http://www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp>
- 4) [http://www.intelligraphics.com/articles/802.11\\_article.html](http://www.intelligraphics.com/articles/802.11_article.html)
- 5) <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/2236611>
- 6) <http://www.ieee802.org/16/pub/backgrounder.html>
- 7) <http://www.eetimes.com/story/OEG20030130S0055>
- 8) <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1009431>
- 9) <http://standards.ieee.org/>
- 10) <http://www.nwfusion.com/>
- 11) <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/2236611>
- 12) <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/pub/backgrounder.html>
- 13) [http://wirelessman.org/docs/02/C80216-02\\_05.pdf](http://wirelessman.org/docs/02/C80216-02_05.pdf)
- 14) <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4.html>
- 15) <http://www.tmcnet.com/usubmit/2003/Nov/1021365.htm>
- 16) <http://www.helicomm.com/resources.htm>
- 17) <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- 18) <http://standards.ieee.org/announcements/802151app.html>
- 19) : <http://ieee802.org/15/>
- 20) <http://www.standards.ieee.org/>
- 21) [http://www.bridgeport.edu/sed/projects/cs597/Spring\\_2004/smahmood/](http://www.bridgeport.edu/sed/projects/cs597/Spring_2004/smahmood/)
- 22) [http://standardsasia.net/portal/cms\\_docs/geoport/newsletters/StdAsia\\_Newsletter/StandardsAsia\\_September.html](http://standardsasia.net/portal/cms_docs/geoport/newsletters/StdAsia_Newsletter/StandardsAsia_September.html)
- 23) <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG2.html>
- 24) <http://standards.ieee.org/cgi-bin/status>
- 25) <http://www.infohq.com/Computer/computer-news-mar02-15-22.htm>
- 26) [http://www.standardsasia.net/portal/index.jsp?  
<http://standards.ieee.org/announcements/coexistence.html>](http://www.standardsasia.net/portal/index.jsp?http://standards.ieee.org/announcements/coexistence.html)



- 
- 27) <http://www.elecdesign.com/Articles/Index.cfm?ArticleID=7186Wireless> Control  
That Simply Works
- 28) [www.ieee802.org/15/pub/TG4.html](http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html)
- 29) <http://www.theregister.co.uk/content/69/30614.html>
- 30) <http://www.hometoys.com/htinews/feb02/articles/navin/navin.htm>
- 31) [http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG3\\_old.html](http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG3_old.html)
- 32) <http://standards.ieee.org/announcements/802151app.html>
- 33) [http://rfdesign.com/ar/radio\\_ieee\\_approves\\_standard/index.htm](http://rfdesign.com/ar/radio_ieee_approves_standard/index.htm)
- 34) <http://aetos.it.teithe.gr/~dranidis/ISErgasies2003/Rallios%20Swthrhs/Wireless.doc>
- 35) <http://www.in.gr/computer/technews/article.asp?arcode=775>
- 36) <http://wireless.kom.gr/wirelesstech3.html>
- 37) <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- 38) [http://www.actiontec.com/company\\_info/release121101.html](http://www.actiontec.com/company_info/release121101.html)
- 39) PC MAGAZINE 02/2002
- 40) <http://www.multicap.be/uk/newsletter802.html>
- 41) <http://www.flexi.se/eng80211a.html>
- 42) [http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj\\_5-1/ipj\\_5-1\\_ieee\\_80211.html](http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj_5-1/ipj_5-1_ieee_80211.html)
- by Edgar Danielyan*
- 43) <http://www.wi-fiplanet.com/columns/article.php/961181>
- 44) [http://www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp?url=/technet/prodtechnol/winxppro/reskit/prdc\\_mcc\\_ardu.asp](http://www.microsoft.com/technet/treeview/default.asp?url=/technet/prodtechnol/winxppro/reskit/prdc_mcc_ardu.asp)
- 45) [http://www.intelligraphics.com/articles/80211\\_article.html](http://www.intelligraphics.com/articles/80211_article.html)
- 46) PCMAGAZINE 02/2002.
- 47) [http://w3.antd.nist.gov/antd\\_wpan\\_standard\\_news.shtml](http://w3.antd.nist.gov/antd_wpan_standard_news.shtml)
- 48) <http://standards.ieee.org/>
- 49) <http://www.nwfusion.com/news/tech/2002/0311tech.html>
- 50) <http://www-106.ibm.com/developerworks/wireless/library/wi-checking/>
- 51) <http://wireless.kom.gr/wirelesstech3.html>
- 52) <http://www.ieee802.org/16/pub/backgrounder.html>

- 
- 53) <http://www.eetimes.com/story/OEG20030130S0055>
  - 54) <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/1009431>
  - 55) <http://standards.ieee.org/>
  - 56) <http://www.nwfusion.com/>
  - 57) <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/2236611>
  - 58) <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/pub/background.html>
  - 59) [http://wirelessman.org/docs/02/C80216-02\\_05.pdf](http://wirelessman.org/docs/02/C80216-02_05.pdf)
  - 60) [http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/10724\\_3068551\\_1](http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/article.php/10724_3068551_1)
  - 61) <http://nislabs.bu.edu/nislabs/education/sc441/four/description.htm>
  - 62) <http://www.edtn.com/story/OEG20010821S0095>
  - 63) Σκουλάτος Βασίλης, <<Ασύρματες Επικοινωνίες>>
  - 64) RAM MAGAZINE <<Τεύχος 158, Μάιος 2002
  - 65) Implementing 802.11, 802.16, and 802.20 Wireless Networks : Planning, Troubleshooting, and Operations (Communications Engineering) by Ron Olexa
  - 66) 3G Wireless with 802.16 and 802.11 (McGraw-Hill Professional Engineering) by Clint Smith