ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΝΟΜΑ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

(ΑΜ : 494)

ΤΙΤΛΟΣ

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ (MESH NETWORKS)»

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΞΥΛΟΥΡΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2010 – ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Αφιερωμένη
με ιδιαίτερη αγάπη

στους γονείς μου

Κώστα και Βασιλική

για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή τους
καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου

Ευχαριστίες

Εκφράζω την ιδιαίτερη εκτίμησή μου και τις θερμές ευχαριστίες μου
στο πρόσωπο του καθηγητή μου **κ. Γεώργιο Ξυλούρη**
για την ευκαιρία που μου έδωσε για την εκπόνηση αυτής της εργασίας
και την αμέριστη στήριξη και βοήθεια του.
Οι γνώσεις που αποκόμισα από την συνεργασία μας
θα είναι πολύτιμες για την μετέπειτα επαγγελματική μου πορεία.

Επίσης τις θερμές μου ευχαριστίες εκφράζω,
με ιδιαίτερη τιμή στους καθηγητές μου
κ. Ευάγγελο Πάλλη και **κ. Γεώργιο Γαρδίκη**
για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, στο τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων, πολύτιμη ήταν η συμβολή όλων των καθηγητών μου οι οποίοι με την πλούσια επιστημονική τους γνώση και την καθημερινή μας επαφή συνέβαλαν στην σωστή εκπαίδευσή μου,
δίνοντάς μου τα απαραίτητα εφόδια για την συνέχεια της επαγγελματικής και κοινωνικής μου πορείας.
Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την **κα Σταυρακάκη Μαρία**,
προϊσταμένη γραμματείας του τμήματος ΕΠΠ,
η οποία ήταν πάντα αρωγός στην αντιμετώπιση κάθε προβλήματος,
μέσα στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων της.

Κουτσογιάννης Χρήστος
Ιούνιος 2010, Ηράκλειο Κρήτης

Περιεχόμενα

Εισαγωγή 6

Κεφάλαιο 1

Δίκτυα υπολογιστών 9

1.1 Τι είναι δίκτυο υπολογιστών 9

1.2 Κατηγοριοποίηση δικτύων υπολογιστών 9

1.2.1 Προσωπικά δίκτυα (PAN) 9

1.2.2 Τοπικά δίκτυα (LAN) 10

1.2.3 Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) 10

1.2.4 Δίκτυα ευρείας ζώνης (WAN) 10

1.2.5 Διαδίκτυα (INTERNET) 11

1.3 Χρησιμότητα των δικτύων υπολογιστών 11

Κεφάλαιο 2

Ασύρματα δίκτυα (Wireless Networks) 12

2.1 Ιστορική αναδρομή 12

2.1.1 Εξέλιξη των κυψελοειδών δικτύων 13

2.1.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα 15

Κεφάλαιο 3

Δίκτυα πλέγματος (Mesh Networks) 18

3.1 Ρύθμιση δικτύου πλέγματος 18

3.1.1 Ο ιεραρχικός τύπος διάρθρωσης 18

3.1.2 Ο επίπεδος τύπος διάρθρωσης 19

3.1.3 Ο υβριδικός τύπος διάρθρωσης 19

3.1.4 Δρομολόγηση 19

3.2 Αρχές της επικοινωνιακής κάλυψης των WMN 22

3.2.1 Γενικές αρχές 22

3.2.2 Σύγκριση της επίδοσης σε Mesh και Κυψελοειδή δίκτυα 24

3.2.3 Αρχές συνδεσιμότητας δικτύων WMN 25

3.3 Αρχές ελέγχου πρόσβασης σε δίκτυα WMN 27

3.3.1 Εισαγωγή 27

3.3.2Προσεγγίσεις για την άμβλυνση των προβλημάτων των κρυφών και των εκτεθημένων κόμβων 28

3.3.2.1 Η αντιμετώπιση του προβλήματος στο MAC Layer *29*
3.3.2.2 RTS/CTS συγκρούσεις και απώλεια της πληροφορίας *31*
3.3.2.3 Η αντιμετώπιση του προβλήματος στο φυσικό επίπεδο *32*
3.3.2.4 Η αντιμετώπιση του προβλήματος με έξυπνες κεραίες *32*

Κεφάλαιο 4

Επισκόπιση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11 35

4.1 Η αρχιτεκτονική του 802.11 37
4.2 Κυριότερα χαρακτηριστικά του MAC Layer στο 802.11 38
4.2.1 IEEE 802.11 MAC Framing *40*
4.2.2 IEEE 802.11 MAC διαχείριση οντοτήτων *41*
4.2.3 The IEEE 802.11 PCF *42*
4.2.4 Η IEEE 802.11 DCF μέθοδος για πρόσβαση στο μέσο χωρίς υποδομή *43*

Βιβλιογραφία 45

Εισαγωγή

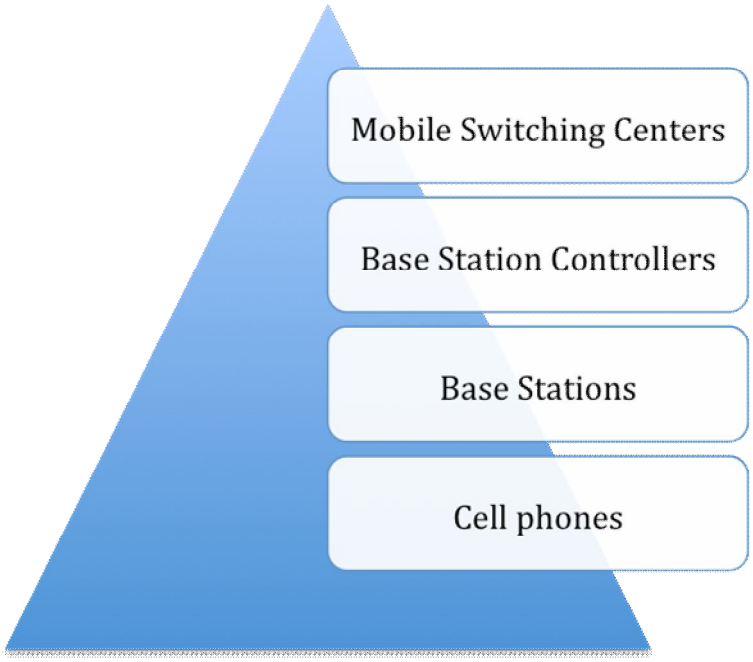
Από την εποχή που οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν φωτιές για επικοινωνία από απόσταση μέχρι σήμερα που χρησιμοποιούμε μικροκυμματικές και δορυφορικές συνδέσεις ο στόχος είναι ένας. Η διευκόλυνση της μετάδοσης της πληροφορίας με ασφάλεια και ταχύτητα. Δεν είναι τυχαίο ότι η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής είναι η ισχυρότερη σε παγκόσμια κλίμακα έχοντας ξεπεράσει παραδοσιακούς τομείς όπως η υγεία, η εκπαίδευση και οι μεταφορές. Ο σύγχρονος κόσμος ολοένα και περισσότερο έχει την ανάγκη της εύκολης πρόσβασης σε πληροφορίες. Την κάλυψη αυτής της απαίτησης έχει επιτύχει το Διαδίκτυο.

Με χρήση, αρχικά, αργών συνδέσεων, PSTN, και πλέον γρήγορων, ADSL, έχει καταφέρει να εντοπίζει, χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθεί, πληροφορίες που μπορεί να βρίσκονται στα μακρινότερα μέρη του κόσμου. Αλλά αυτό δεν αρκούσε. Ο άνθρωπος θέλει και χρειάζεται να μετακινείται. Πηγαίνει στην δουλειά του για ψώνια, για φαγητό και παντού θέλει να έχει πρόσβαση στην γνώση. Θέλει να ξέρει, ενώ πίνει τον καφέ του στην πλατεία, ποιες ταινίες παίζονται στον κινηματογράφο και να κλείσει εισιτήρια.

Και για αυτή την απαίτηση οι σύγχρονες τεχνολογίες δικτύωσης έχουν λύση. Οι ασύρματες επικοινωνίες βρίσκονται παντού. Κινητή τηλεφωνία τρίτης γενιάς (3G και 3.5G) και ασύρματα δίκτυα (Wi-Fi). Αρκετές περιοχές έχουν προχωρήσει ένα βήμα ακόμα παρέχοντας ασύρματα δίκτυα πλέγματος (Mesh Networks).

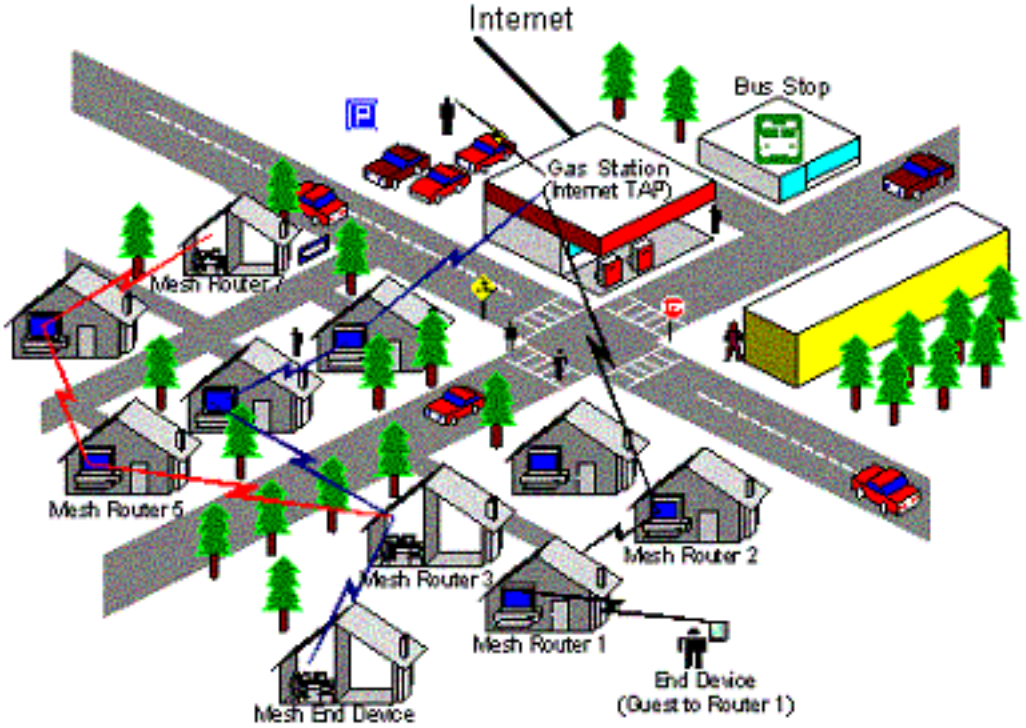
Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος αποτελούνται από ομότιμους κόμβους πλέγματος (Mesh Nodes). Οι κόμβοι αυτοί μπορούν δυναμικά να συνδέονται μεταξύ τους μέσω ζεύξεων τεχνολογίας Wi-Fi. Οι κόμβοι πλέγματος διαθέτουν πολλαπλές ασύρματες διεπαφές ώστε να μπορεί ταυτόχρονα ένας κόμβος να συνδέεται με πολλούς άλλους. Κάποιοι κόμβοι διαθέτουν ασύρματες διεπαφές για διασύνδεση τερματικών συσκευών (φορητούς υπολογιστές ή PDAs), ενώ κάποιοι άλλοι διαθέτουν σύνδεση με το Διαδίκτυο. Κατ' ουσία ένα ασύρματο δίκτυο πλέγματος είναι ένα διαδίκτυο με τον μόνο περιορισμό ότι όλες οι συνδέσεις είναι ασύρματες. Όπως αναφέρθηκε όλοι οι κόμβοι είναι ομότιμοι. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν υφίσταται κάποια κεντρική-ελεγκτική οντότητα του δικτύου αλλά ότι ο έλεγχος γίνεται κατανεμημένα από όλους τους κόμβους.

Εν αντιθέσει τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν μια ιεραρχική δομή. Η ιεραρχία αυτή υπάρχει ώστε να διαχωρίζονται οι λειτουργίες των κόμβων του κάθε επιπέδου. Το πρώτο και χαμηλότερο επίπεδο αποτελείται από τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας που συνδέονται με τις συσκευές του δευτέρου επιπέδου, που είναι οι σταθμοί βάσεις (Base Station). Στη συνέχεια οι σταθμοί βάσης συνδέονται με τις συσκευές του επόμενου, τρίτου, επιπέδου που είναι οι ελεγκτές σταθμών βάσης (Base Station Controller). Οι ελεγκτές σταθμών βάσης συνδέονται με το τέταρτο επίπεδο που είναι τα κέντρα μεταγωγής (Mobile Switching Centers) τα οποία και ελέγχουν κεντρικά όλες τις λειτουργίες του δικτύου.



Σχήμα 1 Ιεραρχική δομή δικτύου κινητής τηλεφωνίας

Όπως είναι λογικό ο καταμερισμός που γίνεται στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων πλέγματος οδηγεί σε ένα πιο περίπλοκο δίκτυο το οποίο όμως είναι πιο ασφαλές και λιγότερο ευάλωτο σε κακόβουλες επιθέσεις καθώς οι πολλοί ομότιμοι κόμβοι δίνουν αντίστοιχα πολλές εναλλακτικές επιλογές δρομολόγησης. Αυτά τα πλεονεκτήματα οδηγούν στο να επιλέγονται ως κατάλληλη λύση στις περιπτώσεις της ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο, της υποστήριξης δημόσιας ασφάλειας και την περίπτωση των έξυπνων συστημάτων μεταφορών.



Τα ασύρματα δίκτυα πλέγματος είναι ένας τομέας έρευνας αιχμής. Η έρευνα διαχωρίζεται στους ακόλουθους τομείς: τον τομέα της αυτο-διαμόρφωσης και αυτο-διαχείρισης, τον τομέα αξιοποίησης δικτυακών πόρων, τον τομέα διαθεσιμότητας και υποστήριξης εγγυήσεων σε ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service), τον τομέα ασφάλειας και τον τομέα κινητικότητας χρηστών (user mobility).

Κεφάλαιο 1

Δίκτυα υπολογιστών

1.1 Τι είναι δίκτυο υπολογιστών

Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα σύνολο από αυτόνομους ή μη αυτόνομους διασυνδεδεμένους υπολογιστές. Οι υπολογιστές θεωρούνται διασυνδεδεμένοι όταν είναι σε θέση να ανταλλάξουν πληροφορίες μεταξύ τους και αυτόνομοι όταν δεν είναι δυνατό κάποιος υπολογιστής να ελέγξει τη λειτουργία (π.χ. εκκίνηση ή τερματισμό) κάποιου άλλου.

1.2 Κατηγοριοποίηση δικτύων υπολογιστών

Τα Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών φέρουν τους εξής χαρακτηρισμούς, που καθορίζουν και την κατηγορία τους :

- Ανάλογα με το φυσικό μέσο διασύνδεσης τους χαρακτηρίζονται Ενσύρματα και Ασύρματα.
- Ανάλογα με τον τρόπο πρόσβασης σε αυτά χαρακτηρίζονται ως Δημόσια ή Ιδιωτικά δίκτυα.
- Ανάλογα με την γεωγραφική κάλυψη του δικτύου χαρακτηρίζονται ως Τοπικά (LAN και WLAN), Μητροπολιτικά (MAN και WMAN), Ευρείας κάλυψης (WAN και WWAN) και προσωπικά (PAN και WPAN).

Υποσημείωση: οι χαρακτηρισμοί με το πρόσθετο W ανταποκρίνονται στον ασύρματο (Wireless) τρόπο σύνδεσης

1.2.1 Προσωπικά δίκτυα (PAN)

Τα προσωπικά δίκτυα είναι δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ διαφόρων συσκευών, όπως υπολογιστές, τηλέφωνα, ηλεκτρονικές ατζέντες[1] σε αρκετά μικρή γεωγραφική ζώνη. Συνήθως ένα προσωπικό δίκτυο δεν ξεπερνάει τα σύνορα ενός δωματίου.

[1] PDA (Personal Digital Assistants)

Τα προσωπικά δίκτυα χρησιμοποιούνται είτε για την σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, αλλά και για την διασύνδεσης τους στο Διαδίκτυο. Τα προσωπικά δίκτυα μπορούν να είναι ενσύρματα, με χρήση USB ή FireWire αλλά και ασύρματα μέσω υπερύθρων (IrDA), Bluetooth, UWB, Z-Wave και ZigBee.

1.2.2 Τοπικά δίκτυα (LAN)

Ένα τοπικό δίκτυο υπολογιστών (LAN) είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών που εκτείνονται σε περιορισμένη γεωγραφική περιοχή, αλλά σαφώς μεγαλύτερη από αυτή των προσωπικών δικτύων (PAN). Τοπικό μπορεί να είναι ένα δίκτυο ενός ή περισσότερων δωματίων, ενός κτιρίου ή ακόμα και κοντινών κτιρίων. Για παράδειγμα, το δίκτυο μιας εταιρείας που έχει αποθήκες, τμήμα παραγγελιών, λογιστήριο και άλλες υπηρεσίες στο ίδιο κτίριο χαρακτηρίζεται "τοπικό δίκτυο".

Τα τοπικά δίκτυα εφαρμόζουν συνήθως τις προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου Ethernet. Οι κόμβοι ενός τοπικού δικτύου συνδέονται μεταξύ τους με ενσύρματο ή ασύρματο δίαυλο επικοινωνίας. Η σύνδεση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια κάρτα δικτύου, τη σειριακή θύρα του υπολογιστή ή άλλες παρόμοιες θύρες επικοινωνίας. Το φυσικό μέσο μετάδοσης συνήθως είναι κάποιου τύπου καλωδίου ή ακόμα και οπτικές ίνες ή απλά ο αέρας εάν είναι ασύρματο.

Στην ενσύρματη εγκατάσταση τα τοπικά δίκτυα δεν μπορούν να ξεπεράσουν την ακτίνα των 100 χιλιομέτρων. Υπάρχουν διάφορες τοπολογίες τοπικών δικτύων όπως άστρου, αρτηρίας, δακτυλίου, δένδρου, διπλός δακτύλιος, άστρου δακτυλίου και δικτυωτό. Τα πρώτα δίκτυα αυτής της κατηγορίας περιορίζονταν σε μήκος καλωδίωσης έως 20 χιλιόμετρα και έδιναν ρυθμούς μετάδοσης έως 16 Mbps. Μετέπειτα επεκτάθηκαν σε μήκος έως 100 km δίνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 100 Mbps, ενώ οι σημερινές τεχνολογίες επιτρέπουν ρυθμούς έως 2 Gbps.

1.2.3 Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN)

Ένα μητροπολιτικό δίκτυο ή και MAN (metropolitan area network) είναι μια μεγαλύτερη εκδοχή ενός τοπικού δικτύου καθώς καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις.

1.2.4 Δίκτυα ευρείας ζώνης (WAN)

Τα δίκτυα ευρείας περιοχής ή WAN (wide area network) καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, π.χ. από σύνδεση μεταξύ διαφορετικών πόλεων μέχρι μιας

ολόκληρης ηπείρου και μπορούν να συνδέσουν ακόμη και περισσότερα από ένα τοπικά δίκτυα καθώς και ομάδες τοπικών δικτύων. Τα περισσότερα δίκτυα ευρείας περιοχής χρησιμοποιούν τηλεφωνικά δίκτυα ή τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους.

1.2.5 Διαδίκτυα (INTERNET)

Τα διαδίκτυα είναι δίκτυα ευρείας περιοχής τα οποία καλύπτουν γεωγραφικές περιοχές μίας ή περισσοτέρων ηπείρων διασυνδέοντας επιμέρους δίκτυα. Σε ένα διαδίκτυο μπορεί να συνυπάρχουν διασυνδεδεμένοι υπολογιστές και δίκτυα που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και λειτουργικά συστήματα. Το Διαδίκτυο (Internet) είναι το μεγαλύτερο τέτοιου είδους δίκτυο.

1.3 Χρησιμότητα των δικτύων υπολογιστών

Τα δίκτυα υπολογιστών δίνουν δυνατότητα διαμοιρασμού των πόρων που υπάρχουν στους μετέχοντες υπολογιστές αλλά και στην ευκολότερη επικοινωνία μεταξύ των χρηστών.

Κεφάλαιο 2

Ασύρματα δίκτυα (Wireless Networks)

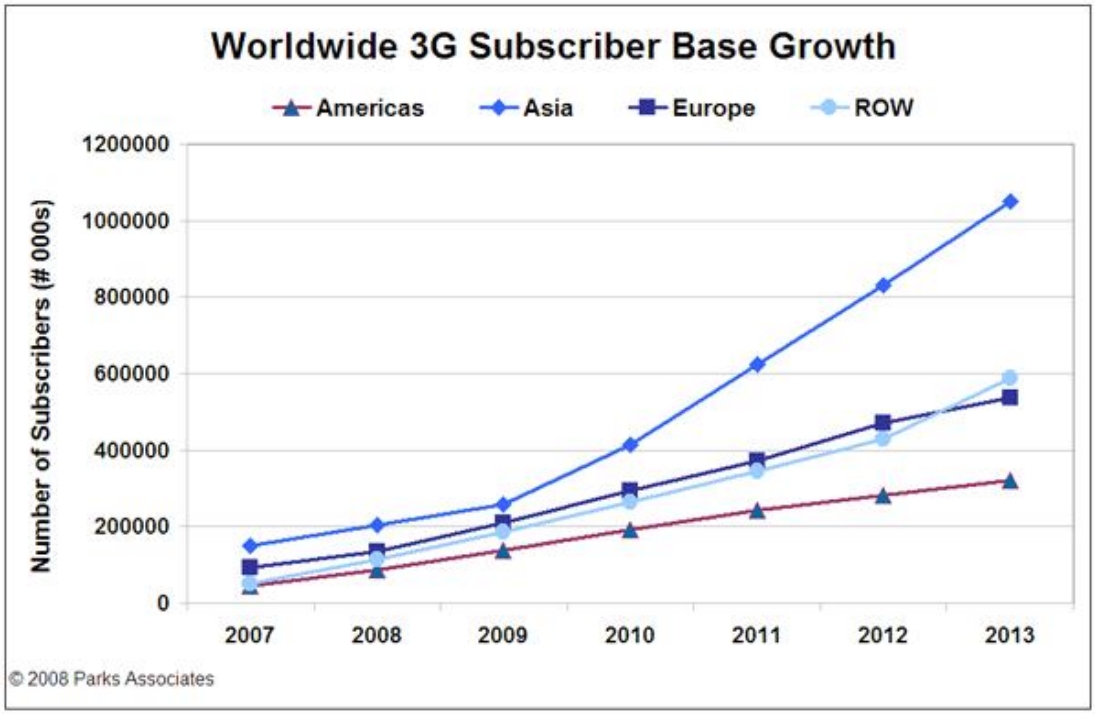
Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα, ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που απαιτείται να υποστηρίζει το δίκτυο. Η ασύρματη επικοινωνία, σε αντίθεση με την ενσύρματη, δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης κάποιον τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, αλλά σήμερα όλα τα ασύρματα δίκτυα βασίζονται σε ψηφιακή τεχνολογία και, επομένως, κατά μία έννοια, είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών.

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο «δίκτυο» τηλεπικοινωνιακών κόμβων με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και, επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών.

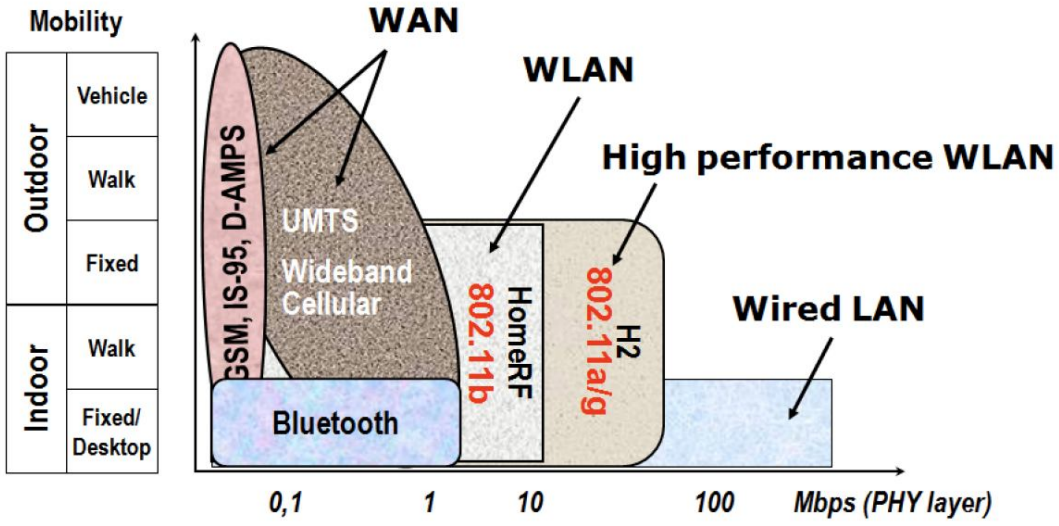
2.1 Ιστορική αναδρομή

Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων σηματοδοτήθηκε κυρίως από δύο κλάδους, τα κυψελοειδή συστήματα και τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών. Οι δύο αυτοί κλάδοι τείνουν να συγκλίνουν σε ένα κοινό δίκτυο. Δίκτυα 3G, WLANs, Wireless Mesh Networks, ad hoc networks κλπ καλύπτουν τις ανάγκες και των δύο κλάδων. Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων υπήρξε ραγδαία τα τελευταία χρόνια, αφενός λόγω της ανάγκης για διεύρυνση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας κι αφετέρου της επέκτασης του Διαδικτύου και της ανάγκης για φορητότητα. Στο ακόλουθο διάγραμμα εμφανίζεται η αύξηση του πληθυσμού των συνδρομητών κινητής

τηλεφωνίας.



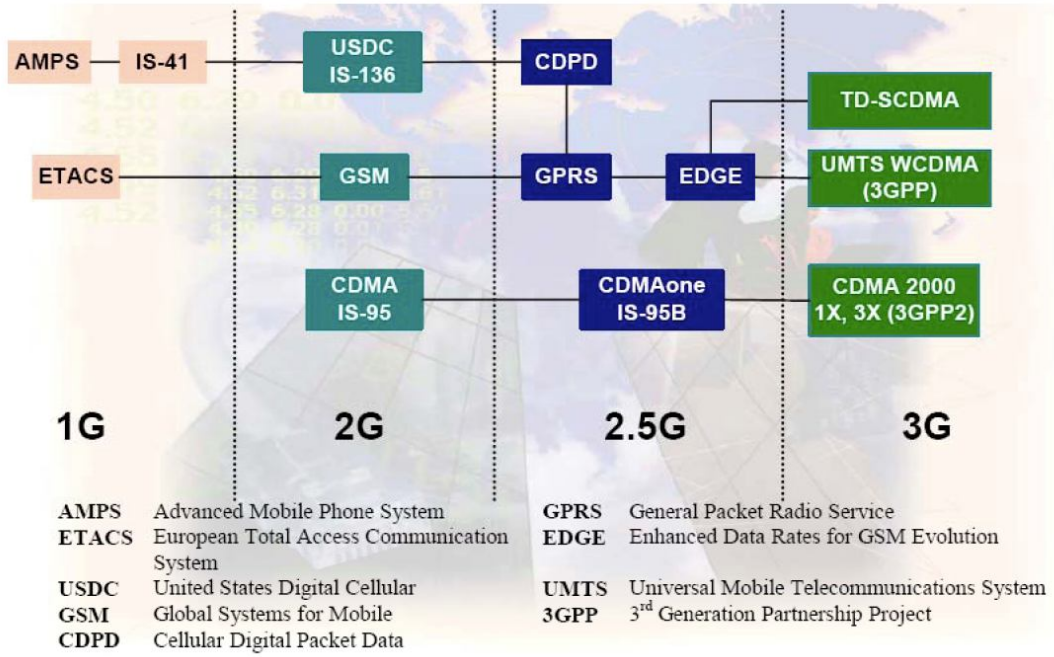
Τα ασύρματα δίκτυα καλούνται να λύσουν τις επικοινωνιακές ανάγκες που υπάρχουν σε διάφορες ζώνες. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται οι σύγχρονες τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης και οι ταχύτητες καθώς και η απόσταση που υποστηρίζει.



2.1.1 Εξέλιξη των κυψελοειδών δικτύων

Το ασύρματο δίκτυο που έχει παρουσιάσει την μεγαλύτερη εξέλιξη είναι το κυψελοειδές, που ουσιαστικά είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται οι τρεις γενιές που έχουν περάσει τα κυψελοειδή δίκτυα, να

σημειωθεί ότι σε πειραματικό ακόμα στάδιο υπάρχει και η τέταρτη γενιά που υπόσχεται ακόμα περισσότερες δυνατότητες.



Δίκτυα πρώτης γενιάς

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς εμφανίστηκαν τη δεκαετία του ’70 και υλοποιήθηκαν τη δεκαετία του 80. Ήταν αναλογικά συστήματα με χαμηλή χωρητικότητα και ρυθμούς μετάδοσης 8-10 Kbps. Τα αντιπροσωπευτικά συστήματα αυτής της γενιάς ήταν το AMPS (Advanced Mobile Phone System) και το ETACS (European Total Access Communication Systems) , που αναπτύχθηκαν από την AT&T Bell Labs και έγιναν δημοφιλή σε ΗΠΑ, Νότια Αμερική, Αυστραλία και Κίνα.

Δίκτυα 2ης γενιάς

Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς υλοποιήθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του ’90 και ήταν μερικώς ψηφιακά συστήματα, επιτυγχάνοντας μέχρι 3 φορές περισσότερη χωρητικότητα σε σχέση με της πρώτης γενιάς, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης παρέμειναν στα 10 Kbps. Στην δεύτερη γενιά πλέον υποστηρίζονταν υπηρεσίες φωνής, γραπτών μηνυμάτων, fax κλπ. Τα αντιπροσωπευτικά συστήματα αυτής της γενιάς είναι το GSM (Global Systems for Mobile communications), που είναι το ευρωπαϊκό πρότυπο και επιτυγχάνουν ρυθμούς μετάδοσης 25 Kbps, και το IS-95 (United States Digital Cellular Standard), που έχουν χωρητικότητα 8-10 φορές μεγαλύτερη του AMPS και ρυθμούς μετάδοσης 14,4 Kbps.

Δίκτυα 2.5 G

Τα δίκτυα 2.5G είναι πλήρως ψηφιακά και επιτυγχάνουν μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Το δίκτυο 2.5 G προσφέρει υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων, σύνδεση με το Διαδίκτυο. Αντιπροσωπευτικά πρότυπα της 2.5G είναι το GPRS (General Packet Radio Service), που στηρίζεται στο GSM και επιτυγχάνουν ρυθμούς μετάδοσης 56-114Kbps, και το EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution, που μέσω βελτιωμένων τεχνικών κωδικοποίησης επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 384 Kbps.

Δίκτυα 3^{ης} γενιάς

Η 3^{η} γενιά κινητής τηλεφωνίας επιτυγχάνει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 2 Mbps, υποστηρίζοντας πολυμεσικές εφαρμογές όπως βιντεοκλήση. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που έχει προσθέσει η 3^{η} γενιά στην κινητή τηλεφωνία είναι η δυνατότητα περιαγωγής, δηλαδή της πρόσβασης των χρηστών από οπουδήποτε στον κόσμο και από οποιοδήποτε δίκτυο. Για την 3^{η} γενιά υπάρχουν δύο οργανισμοί προτυποποίησης, 3GPP και 3GPP2. Το 3GPP εστιάζει στη συμβατότητα με το GSM, GPRS, EDGE κλπ, ενώ το 3GPP2 εστιάζει στη συμβατότητα με συστήματα όπως το IS-95. Τα βασικά πρότυπα που υπάρχουν για τα δίκτυα 3ης γενιάς είναι το 3GPP UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) που στηρίζεται στο σύστημα GSM/EDGE επιτυγχάνοντας ρυθμούς μέχρι 2 Mbps, το 3GPP2 CDMA 2000, που επίσης επιτυγχάνει ρυθμούς μέχρι 2 Mbps και το TD-SCDMA (Time Division Synchronous TDMA) που προτάθηκε από τις CATT (China Academy and Telecommunications Technology) και Siemens, στηρίζεται στην υποδομή του GSM κάνοντας χρήση των κεραιών στους σταθμούς βάσης και πετυχαίνοντας ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 384 Kbps.

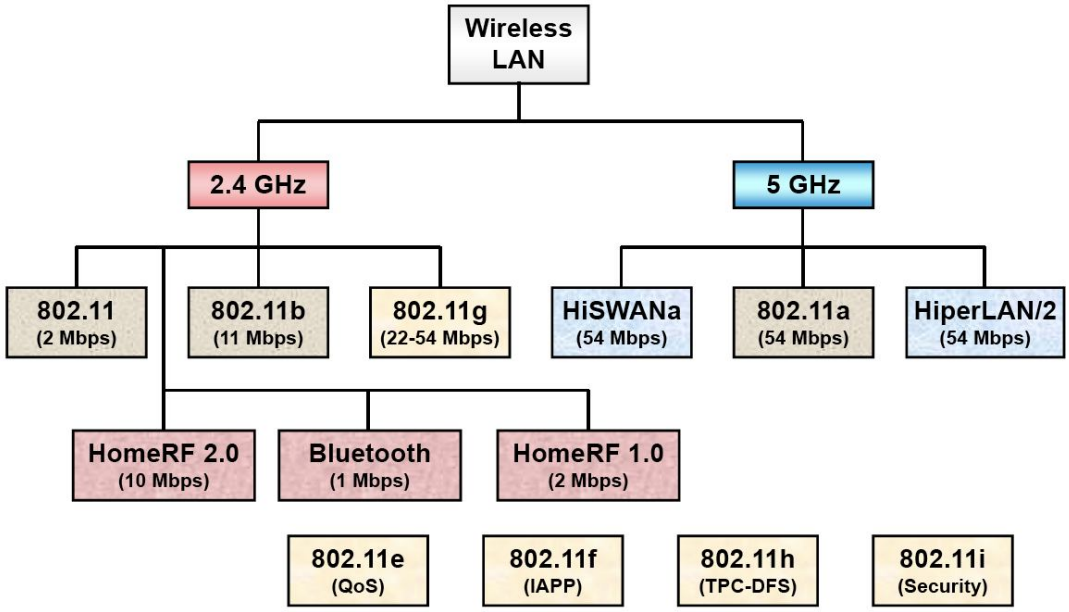
2.1.2 Ασύρματα τοπικά δίκτυα

Το 1970 ο Norman Abramson, καθηγητής του πανεπιστημίου της Χαβάης, ανέπτυξε το πρώτο δίκτυο επικοινωνίας στον κόσμο των υπολογιστών, το ALOHA net. Αυτό το δίκτυο κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας ραδιοφωνικούς πομποδέκτες χαμηλού κόστους. Μέσω μιας αμφίδρομης τοπολογίας αστέρα πέτυχε να συνδέσει πάνω από τέσσερα νησιά για να επικοινωνούν με τον κεντρικό υπολογιστή που υπήρχε στο νησί Oahu, χωρίς την χρήση των τηλεφωνικών γραμμών.

Το 1979 ο FR Gfeller και ο U. Bapst δημοσίευσαν ένα άρθρο στο περιοδικό IEEE Proceedings όπου αναφερόντουσαν σε ένα πειραματικό ασύρματο τοπικό δίκτυο με χρήση υπερύθρων.

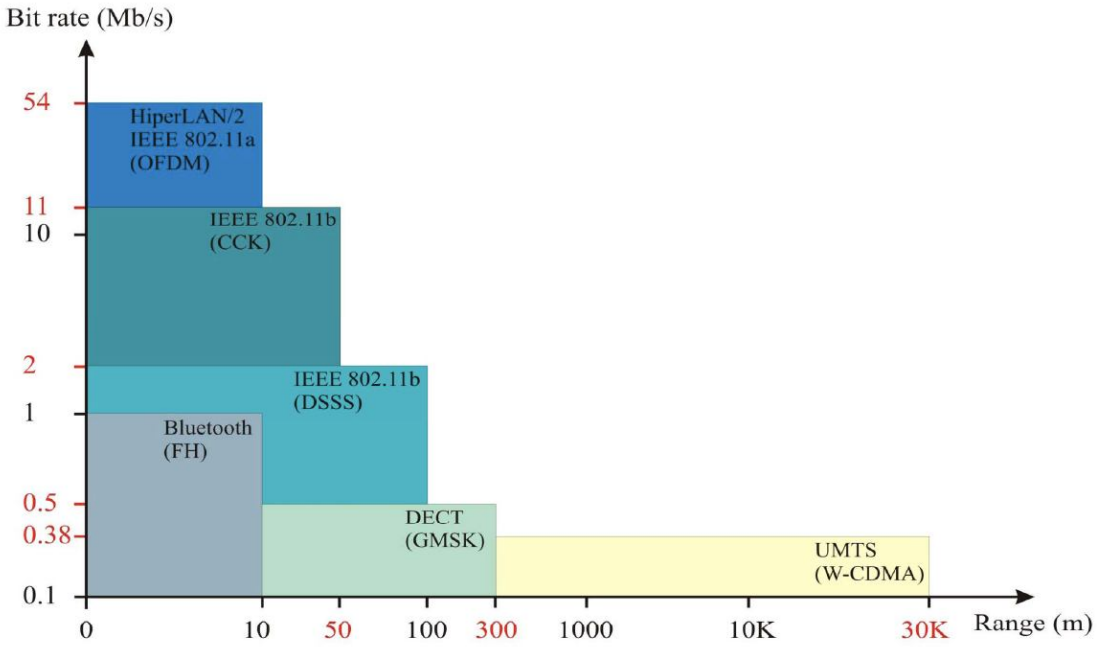
Το 1980, ο P. Ferrert δημοσίευσε στην IEEE την πειραματική εφαρμογή μια ενιαίας εξάπλωσης του ραδιοφάσματος για ασύρματες επικοινωνίες μεταξύ τερματικών.

Το 1989 η κανονιστική αρχή FCC στις ΗΠΑ αποδίδει συχνότητες για εμπορική εκμετάλλευση (ISM bands, 900MHz, 2.5GHz, 5GHz) και άμεσα το 1990 τα πρώτα προϊόντα σε συχνότητες 900MHz, άρχισαν να κάνουν την εμφάνιση τους. Την ίδια εποχή ξεκινά και η IEEE την προτυποποίηση για τα WLANs. Το 1994 πλέον υπάρχουν και τα πρώτα προϊόντα σε συχνότητες 2.4 GHz. Το 1997 εγκρίνεται το πρότυπο 802.11 και το 1999 κυκλοφορούν προϊόντα σύμφωνα με το πρότυπο 802.11b. Το 2000 δίδεται μια πιο εμπορική ονομασία, "Wi-Fi", για την περιγραφή των προϊόντων 802.11b. Επιπλέον βελτιώνεται το πρότυπο και η έρευνα συνεχίζεται έως και σήμερα, ιδιαίτερα σε θέματα ασφάλειας.



Εικόνα 1 Ιεράρχηση των προτύπων ασύρματης δικτύωσης

Τα διάφορα σύγχρονα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας θα μπορούσαν να συνοψιστούν στο ακόλουθο διάγραμμα με βάση την ακτίνα που καλύπτουν αλλά και τον ρυθμό μετάδοσης που επιτυγχάνουν.



Εικόνα 2 Τεχνικές δυνατότητες των διαφόρων τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης

Κεφάλαιο 3

Δίκτυα πλέγματος (Mesh Networks)

Τα δίκτυα πλέγματος είναι ένας τύπος δικτύου όπου κάθε κόμβος του δικτύου μπορεί να λειτουργεί ως δρομολογητής, άσχετα από το εάν είναι συνδεδεμένος και με άλλο δίκτυο ή όχι. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση των εναλλακτικών μονοπατιών κι άρα η μεγαλύτερη σταθερότητα του δικτύου. Να σημειωθεί ότι όταν επιτυγχάνεται σύνδεση κάθε κόμβου του δικτύου με κάθε άλλον τότε το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως πλήρως συνδεδεμένο. Τα δίκτυα πλέγματος διαφέρουν από τα άλλα είδη δικτύων καθώς όλοι οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και γενικά δεν είναι φορητοί. Τα δίκτυα πλέγματος μπορούν να θεωρηθούν ως δίκτυα ad hoc, καθώς είναι εύκολο να προστεθούν και να αφαιρεθούν κόμβοι και τόσες εναλλακτικές διαδρομές.

Η χρήση των κόμβων του δικτύου ως δρομολογητές έχει μεν τα εμφανή πλεονεκτήματα της επεκτασιμότητας, της σταθερότητας και της οικονομίας, αλλά έχει και το βασικό μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τεχνικές δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται σε άλλους τύπους δικτύων. Στα δίκτυα πλέγματος οι κόμβοι έχουν περιορισμένους πόρους, οι οποίοι μάλιστα δεν έχουν αποκλειστική χρήση για την διαχείριση του δικτύου. Ένα δίκτυο πλέγματος πρέπει να «σέβεται» αυτούς τους περιορισμένους πόρους και να τους χρησιμοποιεί με σύνεση.

3.1 Ρύθμιση δικτύου πλέγματος

Υπάρχουν τρεις τύποι διάρθρωσης δικτύου πλέγματος, ο ιεραρχικός, ο επίπεδος και ο υβριδικός.

3.1.1 Ο ιεραρχικός τύπος διάρθρωσης

Στον ιεραρχικό τύπο οι κόμβοι είναι χωρισμένοι σε ομάδες, που αποκαλούνται δέσμες (clusters). Γενικά υπάρχουν τρία είδη κόμβων κάθε δέσμη ο «αρχηγός» (cluster-head - CH), ο κόμβος-πύλη (gateway - GW) και ο «πελάτης» (cluster-member - Internal). Ο «αρχηγός» βασικά προσομοιώνει τις λειτουργίες ενός σημείου πρόσβασης (AP – Access Point). Όλοι οι κόμβοι μιας δέσμης μπορούν να επικοινωνούν με τον «αρχηγό» και ενδεχομένως και με κάθε άλλο μέλος της ίδιας δέσμης. Πολλά κριτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκλογή του

«αρχηγού». Αυτά τα κριτήρια μπορεί να περιλάβουν την συνδεσιμότητα του κόμβου με τους γειτονικούς κόμβους και την ισχύ μετάδοσης. Οι «πύλες» χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία ανάμεσα στις δέσμες. Οι «πύλες» μπορούν επίσης να λειτουργήσουν κι ως γέφυρες (bridges) και έτσι να επιτύχουν την σύνδεση του δικτύου πλέγματος με άλλα δίκτυα.

3.1.2 Ο επίπεδος τύπος διάρθρωσης

Στον επίπεδο τύπο η αρχιτεκτονική δεν ομαδοποιεί τους κόμβους αλλά όλοι έχουν ίσες ευθύνες. Συνδέσεις γίνονται μεταξύ κόμβων που βρίσκονται σε αρκετά κοντινή απόσταση ώστε να δοθούν επαρκής συνθήκες διάδοσης των ραδιοκυμάτων και να δημιουργηθεί η σύνδεση. Σε αυτόν τον τύπο αρχιτεκτονικής όλοι οι κόμβοι αποτελούν το πραγματικό δίκτυο που εκτελεί την λειτουργία της δρομολόγησης. Ένα πακέτο που έχει σταλεί προς έναν κόμβο θα περάσει μέσω πολλαπλών μέχρι να φτάσει στον προορισμό του.

3.1.3 Ο υβριδικός τύπος διάρθρωσης

Ο τρίτος τύπος, ο υβριδικός, είναι ο συνδυασμός του ιεραρχικού και του επίπεδου. Αυτή η προσέγγιση δίνει την δυνατότητα διασύνδεσης με άλλα δίκτυα ενώ παράλληλα προσφέρει την σταθερότητα μέσω της δρομολόγησης των πακέτων από όλους τους κόμβους.

3.1.4 Δρομολόγηση

Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για να μπορεί να ικανοποιήσει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις που έχει ένα Mesh Network είναι:

- Προσαρμοστικά στις χωρικές μεταβολές των κόμβων, καθώς είναι φορητοί και κινούνται στο χώρο. Ως επακόλουθο το όλο δρομολόγιο μπορεί ανά πάσα στιγμή να αλλάζει διαδρομή καθώς η διαφορετική θέση που θα έχουν οι κόμβοι θα δημιουργούν τελείως διαφορετικά μονοπάτια τα οποία και θα πρέπει να ακολουθεί η όλη επικοινωνία.
- Δυνατότητα λειτουργίας και προσαρμογής στα διαφορετικά πρωτόκολλα καθώς οι διάφοροι κόμβοι που συμμετέχουν μπορεί να έχουν τελείως διαφορετικές τεχνολογίες και ταχύτητες. Αυτή η ανομοιομορφία ρίχνει τις αποδόσεις του δικτύου έως και τα επίπεδα των κόμβων με τις ελάχιστες δυνατότητες.

- Η επικοινωνία μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να είναι κατευθυντική, δηλαδή ένας κόμβος να δέχεται μόνον από κάποιον άλλο και να μην μπορεί να του στείλει καθώς ο κόμβος-πομπός μπορεί να έχει ισχυρό πομπό ενώ ο δέκτης να μην έχει. Ο αλγόριθμος δρομολόγησης θα πρέπει να βρίσκει εναλλακτική οδό ώστε η επικοινωνία αυτή να επιτυγχάνεται αμφιμονοσήμαντα.
- Τέλος ο αλγόριθμος θα πρέπει να μην κάνει κατάχρηση της περιορισμένης ενέργειας, αλλά και γενικότερης ισχύς των κόμβων.

Επιπλέον ένας ιδανικός αλγόριθμος δρομολόγησης θα πρέπει να παρέχει δυνατότητες:

- Επεκτασιμότητας. Γενικότερα η επεκτασιμότητα είναι ένα χαρακτηριστικό των δικτύων που υποστηρίζει την δυνατότητα της συνεχούς αύξησης των δικτυακών παραμέτρων, όπως την ταχύτητα ή το πλήθος κόμβων, χωρίς να μειώνεται η επίδοση του.
- Κατανεμημένη διαχείριση, δηλαδή να μην στηρίζεται σε κάποιον κεντρικό κόμβο-ρυθμιστή.
- Λειτουργία κατ' απαίτηση, δηλαδή να λειτουργούν οι μηχανισμοί του δικτύου μόνο όταν χρειάζεται κι όχι συνεχώς.
- Χρήση πολλαπλών, εναλλακτικών, προορισμών ώστε εάν πάψει να ισχύει κάποιος να δοκιμάζεται ο επόμενος χωρίς να χρειάζεται να αρχίσει η δρομολόγηση εξ' αρχής.
- Υποστήριξη QoS[2]. Ο γενικός στόχος ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης είναι το να μεταφέρονται με αξιοπιστία τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό, μεγιστοποιώντας την χωρητικότητα του δικτύου και ελαχιστοποιώντας την καθυστέρηση παράδοσης. Η υποστήριξη του QoS δίνει την δυνατότητα στον αλγόριθμο δρομολόγησης να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή ποιοί πόροι υπάρχουν διαθέσιμοι.
- Διατήρηση της ενέργειας με δυνατότητα λειτουργίας σε αναμονή (sleep mode). Λόγω του ότι οι κόμβοι μπορεί να είναι φορητοί υπολογιστές και υπολογιστές παλάμης (PDAs) με περιορισμένες μπαταρίες, είναι πάρα πολύ σημαντικό να λειτουργεί το δικτυακό πρωτόκολλο με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η προσωρινή αναστολή λειτουργίας κόμβων.

[2] QoS: Quality Of Service

- Υποστήριξη τμηματοποίησης του δικτύου. Αυτή η τμηματοποίηση οδηγεί στην δημιουργία μικρών αυτόνομων δικτύων που έχουν εσωτερική επικοινωνία ακόμα κι αν δεν επικοινωνούν με το υπόλοιπο δίκτυο.

Κατηγορίες πρωτοκόλλων δρομολόγησης

Η δρομολόγηση πάντα αξιοποιεί την γνώση για την συνδεσιμότητα του δικτύου και κυρίως την κατάσταση των συνδέσεων. Αυτή είναι η λεγόμενη "topology-based" προσέγγιση. Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι η "location-based" (ή position-based), που χρησιμοποιεί πληροφορίες σχετικά με την φυσική θέση των κόμβων ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία της δρομολόγησης. Μια εναλλακτική προσέγγιση ονομάζεται "power/energy-aware routing" χρησιμοποιεί πληροφορίες που σχετίζονται με τις ενεργειακές δυνατότητες των κόμβων, δηλαδή πόσο χρόνο ζωής έχει η μπαταρία.

Πρωτόκολλα δρομολόγησης που βασίζονται στην τοπολογία

Τα πρωτόκολλα που βασίζονται στην τοπολογία μπορούν να χωριστούν σε τρεις γενικές κατηγορίες, βάση του τρόπου με τον οποίο εντοπίζονται αλλά και ενημερώνονται τα δρομολόγια, σε proactive (που επίσης ονομάζονται table-driven), reactive (που επίσης ονομάζονται on-demand) και τα υβριδικά.

Proactive (Table-Driven) Routing

Η proactive προσέγγιση είναι παρόμοια με την μη-συνδεσμική προσέγγιση των κλασικών δικτύων datagram. Στην proactive οι πληροφορίες για τους κόμβους ενημερώνονται μέσω μιας περιοδικής διαδικασίας, προσπαθώντας να προϋπολογιστούν τα δρομολόγια.

Reactive (On-Demand) Routing

Η όλη φιλοσοφία πίσω από την On-Demand προσέγγιση είναι ότι το δίκτυο αξιολογείται για να βρεθεί κατάλληλο δρομολόγιο μόνο όταν χρειαστεί να μεταφερθούν δεδομένα. Με αυτή την λογική όσο το δίκτυο δεν έχει κίνηση δεν πρόκειται να απασχολείται.

Υβριδική δρομολόγηση

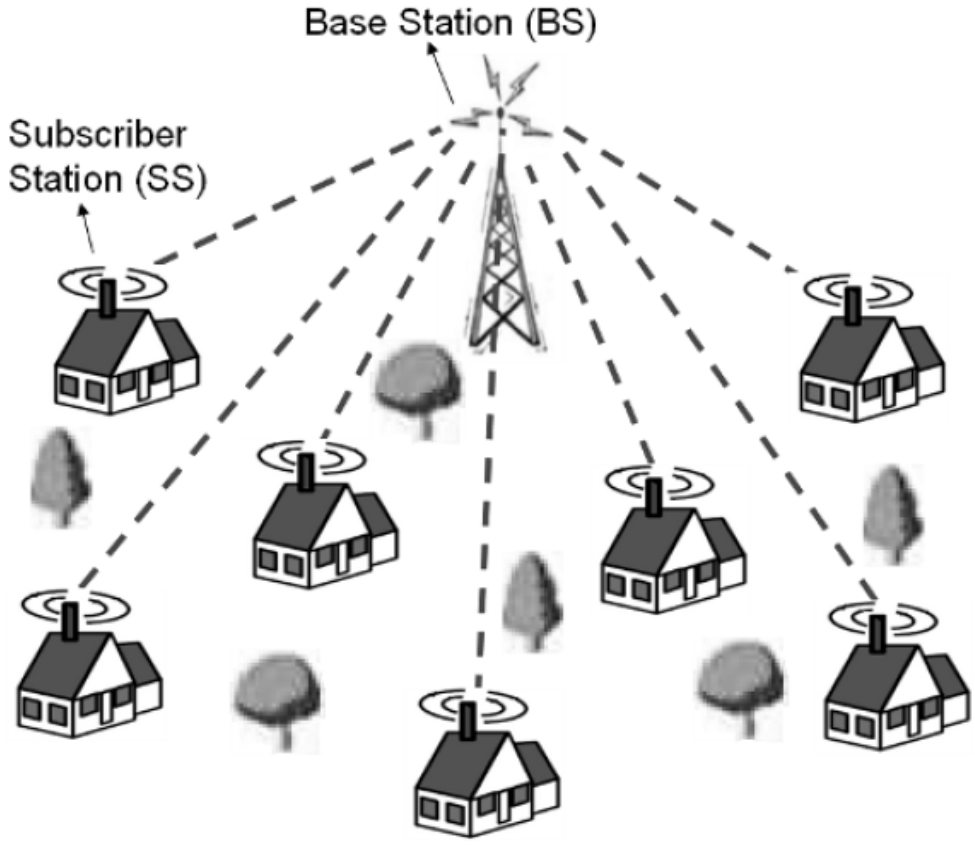
Λόγω του ότι τα Mesh Networks αποτελούνται από διάφορα δίκτυα που έχουν διαφορετικές δυνατότητες και απαιτήσεις χρειάζεται να χρησιμοποιείται συνδυασμός

πρωτοκόλλων που καταλήγουν τελικά να δημιουργούν ένα υβριδικό πρωτόκολλο δρομολόγησης.

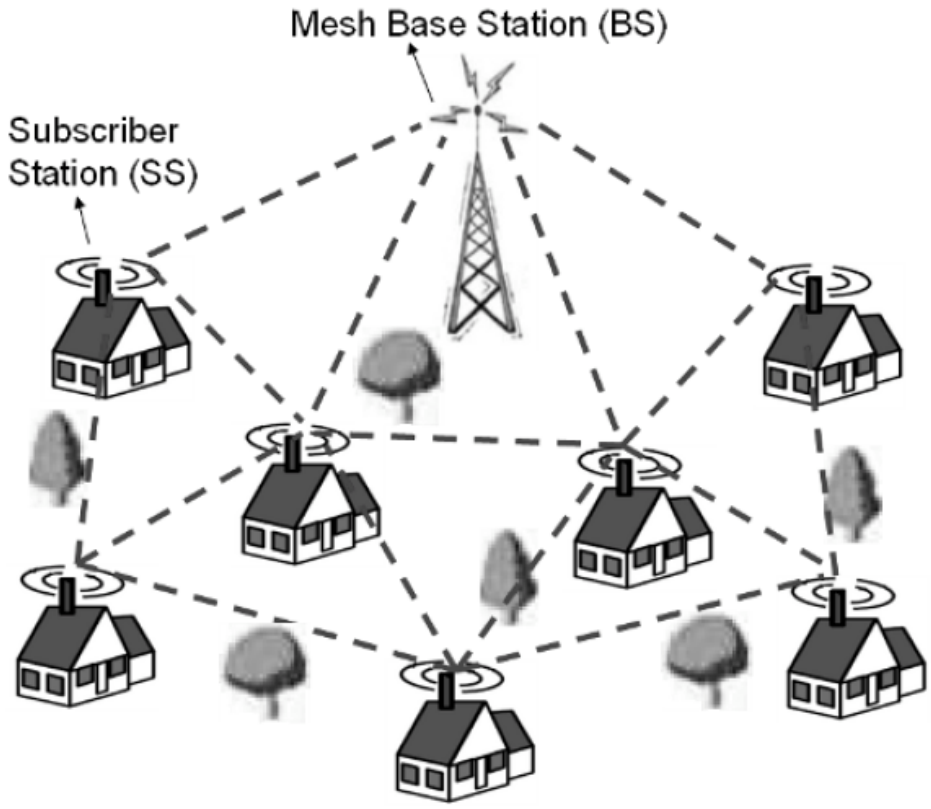
3.2 Αρχές της επικοινωνιακής κάλυψης των WMN

3.2.1 Γενικές αρχές

Ας θεωρήσουμε τα σενάρια μιας τυπικής επικοινωνίας ενός προς πολλά σημεία (point-to-multipoint – PMP) και ενός ασύρματου δικτύου πλέγματος (Wireless MESH Network – WMN), ώστε να εντοπίσουμε τα πλεονεκτήματα των WMN έναντι στα PMP. Ας θεωρήσουμε ότι τα σενάρια αυτά αφορούν μια αστική περιοχή. Σε αυτά τα σενάρια η πλειονότητα των συνδέσεων εμφανίζουν μεγάλη μέση απόλυα και μεγάλη διακύμανση. Ένα πλέγμα των οδών μιας πόλης είναι μια ακραία περίπτωση υψηλής σκίασης (shadowing) και διακύμανσης.



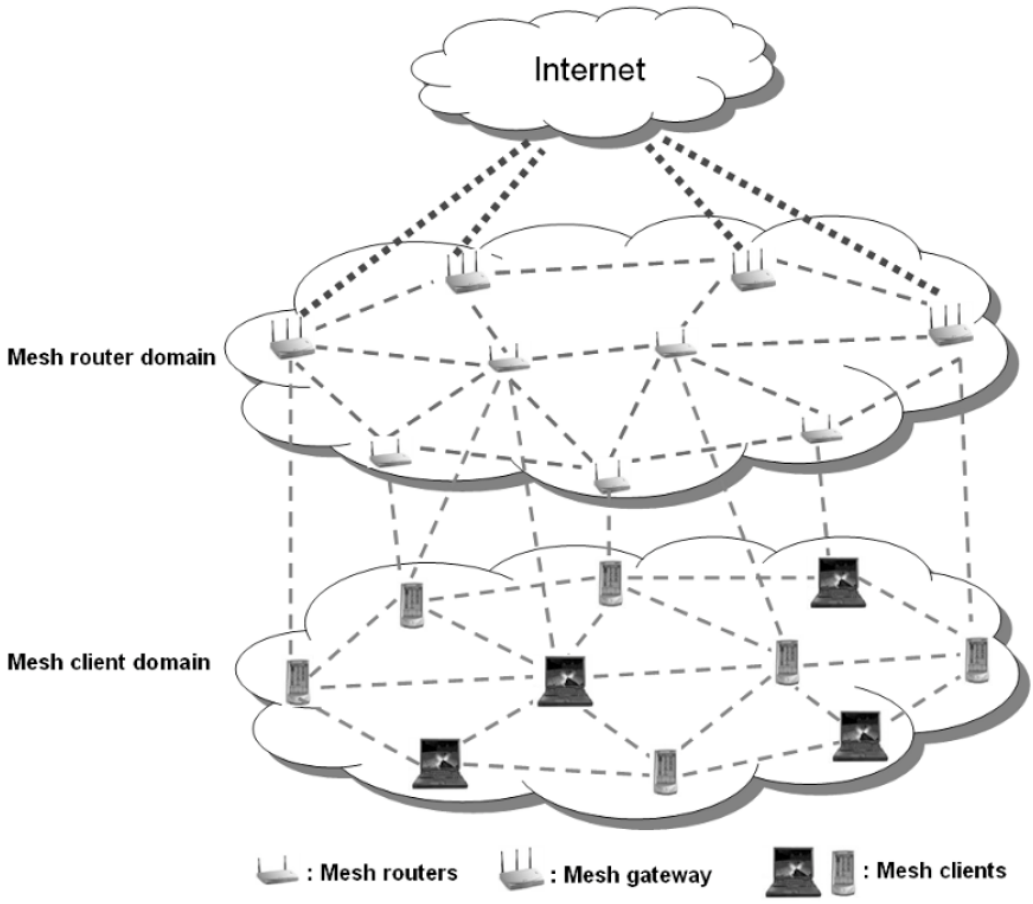
Εικόνα 3 Τυπική επικοινωνία PMP



Εικόνα 4 Ασύρματο δίκτυο πλέγματος

Όπως φαίνεται και στις εικόνες στην περίπτωση επικοινωνίας PMP ένας κόμβος που δεν έχει καλή σύνδεση με τον σταθμό βάσης (Access Point – AP) πρέπει να αυξήσει την ισχύ μετάδοσης για να ξεπεράσει τις απώλειες της σύνδεσης, ενώ στην περίπτωση του WMN χρησιμοποιεί κάποιο κόμβο με τον οποίο κι ο αποστολέας έχει καλύτερη σύνδεση αλλά και ο σταθμός βάσης. Οι κόμβοι ενός WMN κατορθώνουν με αυτό τον τρόπο να χρειάζονται λιγότερη ενέργεια καθώς η επικοινωνία με τον σταθμό βάσης γίνεται σε πολλά «μικρά βήματα».

Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια διαπιστώνουμε ότι το PMP μπορεί να είναι αρκετά αποδοτικό σε ανοικτό χώρο, αλλά όχι σε περιοχές με πολλά εμπόδια, δηλαδή όχι στον πραγματικό κόσμο που υπάρχουν κτήρια, βουνά και άλλα φυσικά εμπόδια. Εν αντιθέσει τα WMN έχουν το πλεονέκτημα να ξεφεύγουν τα εμπόδια, καθώς διαλέγουν διαδρομές που μπορεί να είναι μεγαλύτερες αλλά είναι ευκολότερες.



Εικόνα 5 Απεικόνιση της αρχιτεκτονικής ασύρματων δικτύων πλέγματος

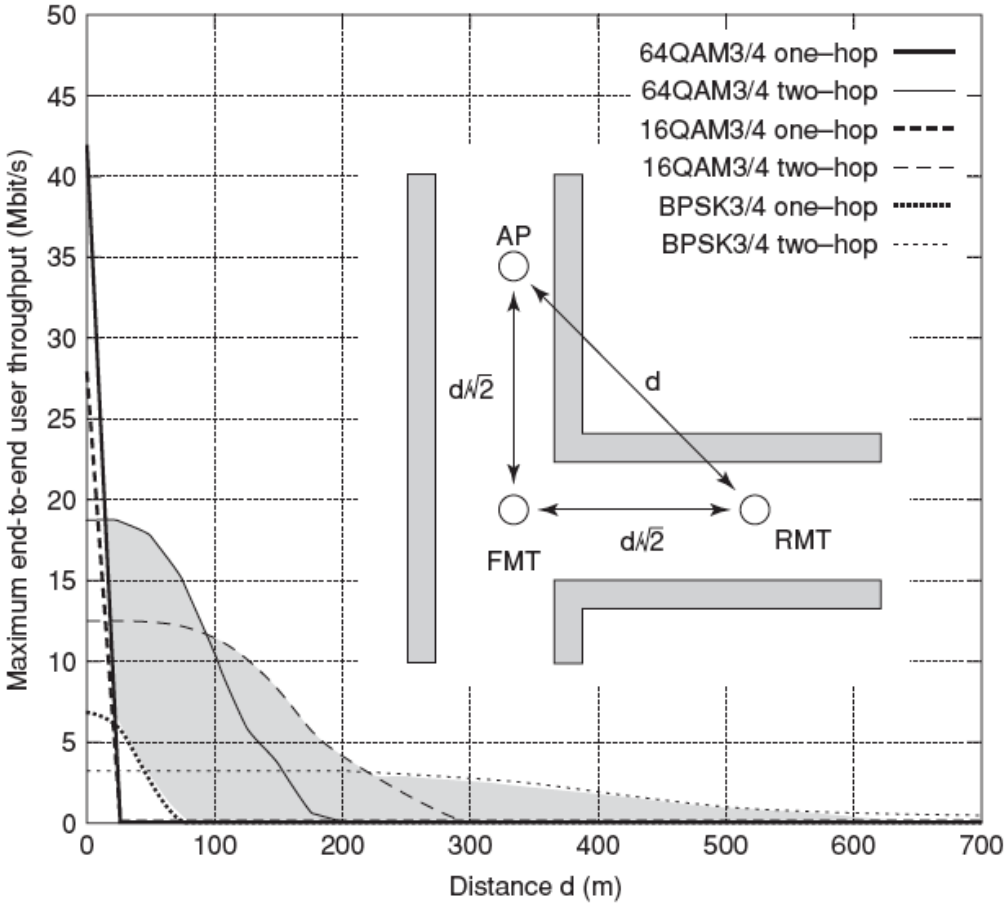
3.2.2 Σύγκριση της επίδοση σε Mesh και Κυψελοειδή δίκτυα

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, η επικοινωνία μέσω δικτύων Mesh είναι μακράν πιο αποδοτική σε σχέση με την επικοινωνία ενός προς πολλούς (PMP). Αυτή η διαφορά οφείλεται στην λιγότερη μέση ισχύ που απαιτείται για μετάδοση, στην διευκόλυνση εύρεσης καναλιού για επικοινωνία καθώς και στις λιγότερες παρεμβολές που δέχεται το κανάλι σε κάθε ένα από τα «μικρά βήματα» της επικοινωνίας.

Η Εικόνα 6 Η χρήση ενός «προωθητή» για «αποφυγή» εμποδίων σε ένα δίκτυο πλέγματος(Esseling)παρουσιάζει τον ρυθμό απόδοσης (throughput) για έναν απομακρυσμένο κόμβο ενός δικτύου πλέγματος (Remote Mesh Terminal – RMT) που βρίσκεται σε μη ορατή γωνία σε σχέση με τον σταθμό βάσης (Access Point – AP). Ο ρυθμός απόδοσης εξετάζεται και για τις δύο περιπτώσεις επικοινωνίας, την άμεση με ένα και μοναδικό βήμα με απόσταση «d» και αυτή με δύο βήματα μέσω του ενδιάμεσου κόμβου-προωθητή «FMT». Όπως φαίνεται κι από το διάγραμμα η χρήση της απ' ευθείας επικοινωνίας μπορεί να έχει μεγαλύτερη επίδοση, αλλά αυτό

περιορίζεται σε μικρές σχετικά αποστάσεις σε σχέση με τα δίκτυα πλέγματος που με τα πολλαπλά «βήματα» μπορούν να φτάσουν μέχρι αρκετά μεγάλες αποστάσεις με μικρές όμως ταχύτητες.

Οπότε είναι προτιμότερο να υπάρχουν σχετικά πυκνοί σταθμοί βάσης, απ' ότι να χρειάζονται πολλαπλά «βήματα» για επικοινωνία με αυτούς.



Εικόνα 6 Η χρήση ενός «προωθητή» για «αποφυγή» εμποδίων σε ένα δίκτυο πλέγματος(Esseling)

3.2.3 Αρχές συνδεσιμότητας δικτύων WMN

Οι κύριοι παράγοντες για την βέλτιστη σύνδεση των WMN είναι πρώτα η ανάπτυξη των βέλτιστων στρατηγικών θέσεων των κόμβων και δεύτερον η πυκνότητα τους. Αναφορικά με την πυκνότητα συνίσταται να είναι τέτοια ώστε να καλύπτει της ανάγκες συνδεσιμότητας σε μεγάλες περιοχές. Με αυτή την λογική ο μέσο βαθμός συνδεσιμότητας του δικτύου αυξάνει αναλογικά με τον πληθυσμό των κόμβων, εάν η έκταση που χρειάζεται να καλυφτεί δεν μεταβάλλεται.

Οι στρατηγικές ανάπτυξης διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε αυτές που αφορούν δυναμικά δίκτυα και αυτές που αφορούν στατικά. Τα δυναμικά δίκτυα είναι αυτά όπου οι κόμβοι είναι φορητοί και μπορεί να μην είναι συνεχώς ενεργοί, ενώ τα στατικά αποτελούνται από κόμβους που έχουν συγκεκριμένη θέση και παραμένουν συνεχώς ενεργοί.

3.3 Αρχές ελέγχου πρόσβασης σε δίκτυα WMN

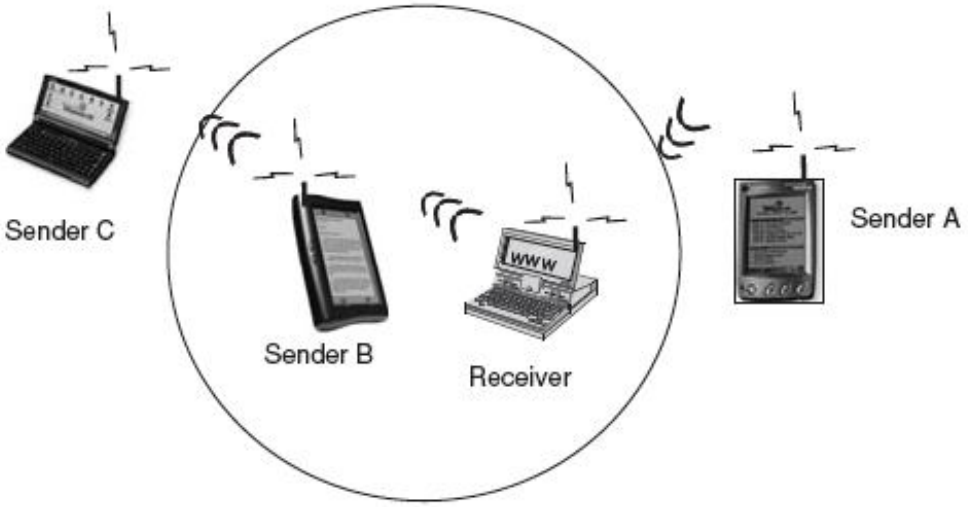
3.3.1 Εισαγωγή

Στην ασύρματη επικοινωνία, η μετάδοση καναλιού ενδέχεται να παρακολουθείται από όλους τους κόμβους από όπου περνάει. Πέραν όμως του ότι παρακολουθούνται υπάρχει και περίπτωση να συγκρουστούν με πακέτα άλλων χρηστών εάν τύχει την ίδια στιγμή να περνάνε από τον ίδιο κόμβο. Το πρωτόκολλο ελέγχου του μέσου (medium access control – MAC) είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο της πρόσβασης στο φυσικό μέσο λαμβάνοντας υπόψη τις παρεχόμενες δυνατότητες. Ο καλός έλεγχος του δικτύου είναι απαραίτητος προκειμένου να μην υπάρχουν απότομες διακοπές στην επικοινωνία με απώλεια της σύνδεσης ή μέρους της πληροφορίας. Ο αρχικός μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης σε ασύρματα δίκτυα πολλαπλών βημάτων (multihop) είναι το πρωτόκολλο IEEE 802.11, το οποίο έχει χαμηλό κόστος, εύκολη εγκατάσταση και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό δικτύων πλέγματος που βασίζονται στο 802.11 είναι ότι οι ασύρματες συνδέσεις μοιράζονται τις συχνότητες χρησιμοποιώντας Carrier Sense Multiple Access – CSMA. Στο CSMA όταν ένας κόμβος θέλει να στείλει κάποιο μήνυμα, πρώτα ελέγχει εάν το κανάλι είναι ελεύθερο και μόνον τότε αποστέλλει πληροφορία. Χάρη σε αυτό τον έλεγχο μειώνεται σημαντικά η πιθανότητα για συγκρούσεις πακέτων δεδομένων, καθώς θεωρητικά ταυτόχρονα δεν θα υπάρχουν πακέτα περισσότερων από ενός χρήστη στο κανάλι.

Ένα πρόβλημα που προκύπτει, αντίστοιχα όπως στην περίπτωση των ad hoc ασύρματων δικτύων, είναι το ότι δεν μπορούν όλοι οι χρήστες του δικτύου να βλέπουν ο ένας τον άλλον, αυτό είναι το λεγόμενο πρόβλημα των κρυφών και των εκτεθειμένων κόμβων (hidden and exposed terminal problems). Το πρόβλημα αυτό προκύπτει από το πρωτόκολλο MAC, το ποίο αποκωδικοποιεί πακέτα που έχουν πάνω ενεργειακή ισχύ πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο (threshold).

Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου προκύπτει επειδή ο κόμβος δεν «ακούει» τους γειτονικούς κόμβους που επικοινωνούν, οπότε κι αρχίζει να στέλνει πακέτα στο κανάλι ενώ ήδη υπάρχει επικοινωνία μεταξύ άλλων κόμβων. Το ότι δεν τους «ακούει» οφείλεται είτε στην απόσταση ή στην χρήση διαφορετικής κωδικοποίησης.

Από την άλλη το πρόβλημα του «εκτεθειμένου» κόμβου είναι πολύ διαφορετικό. Ο εκτεθειμένος κόμβος ταυτόχρονα «ακούει» πολλά χαμένα πακέτα στο δίκτυο και δεν καταφέρνει ποτέ να χρησιμοποιήσει το κανάλι.



Εικόνα 7 Το πρόβλημα του "κρυφού" και το "εκτεθειμένου" κόμβου

Η Εικόνα 7 Εικόνα 7 Το πρόβλημα του "κρυφού" και το "εκτεθειμένου" κόμβουπαρουσιάζει το πρόβλημα του "κρυφού και του "εκτεθειμένου" κόμβου. Ας υποθέσουμε ότι οι σταθμοί Α και Β είναι κρυφοί μεταξύ τους και επιθυμούν και οι δύο να μεταδώσουν σε έναν τρίτο σταθμό που ονομάζεται «Receiver». Όταν ο Α μεταδίδει στον «Receiver» ο Β δεν μπορεί να συλλάβει ότι γίνεται μετάδοση στο κανάλι, οπότε αρχίζει κι αυτός άμεσα να μεταδίδει στον «Receiver». Οπότε και οι δύο σταθμοί θα στείλουν ταυτόχρονα μήνυμα προς τον «Receiver».

Τώρα ας υποθέσουμε την περίπτωση όπου ο Α μεταδίδει στον C, εφόσον ο Receiver «ακούει» τον Α, ο «Receiver» δεν μπορεί να μεταδώσει στον Β φοβούμενος ενδεχόμενη σύγκρουση πακέτων με τον Α. Σε αυτή την περίπτωση ο κόμβος «Receiver» είναι εκτεθειμένος στον Α.

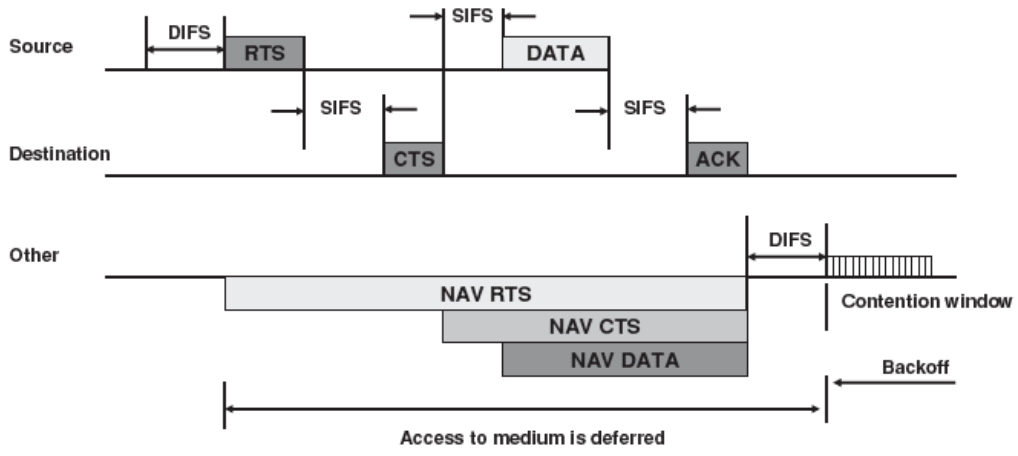
3.3.2 Προσεγγίσεις για την άμβλυνση των προβλημάτων των κρυφών και των εκτεθειμένων κόμβων

Το φαινόμενο του κρυφού και του εκτεθειμένου κόμβου μπορεί να συμβεί και στις δύο περιπτώσεις ασύρματων δικτύων πλέγματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι το φαινόμενο συμβαίνει πιο συχνά όταν δεν υπάρχει κανένας ρυθμιστής (coordinator) μεταξύ των κόμβων. Το πρόβλημα του κρυφού κόμβου μπορεί να μειώσει σημαντικά

το μέγεθος της πληροφορίας που μεταφέρεται στο δίκτυο. Ένα μέρος αυτού του μεγέθους που χάνεται μπορεί να ανακτηθεί μέσω ειδικών μηχανισμών που επιτρέπουν στους αποδέκτες να ελέγχουν την πρόσβαση στο κανάλι επικοινωνίας. Κάποιες από αυτές τις τεχνικές παρουσιάζονται στην συνέχεια.

3.3.2.1 Η αντιμετώπιση του προβλήματος στο MAC Layer

Γενικά το διαμοιραζόμενο ασύρματος μέσο μετάδοση στα ασύρματα δίκτυα πλέγματος απαιτεί την χρήση κατάλληλου πρωτοκόλλου MAC, ώστε να μετριάσει τα πρόβλημα που οφείλονται στην φύση του μέσου καθώς και να επιτρέψει την αποτελεσματική αξιοποίηση του περιορισμένου εύρους ζώνης (bandwidth). Εξειδικευμένα πρωτόκολλα MAC μπορούν να βοηθήσουν επίσης στην άμβλυνση του προβλήματος του κρυφού και του εκτεθειμένου κόμβου. Για παράδειγμα, προκειμένου να αποφευχθεί το πρόβλημα, ο βασικός μηχανισμός CSMA του IEEE 802.11 επεκτείνεται με ένα εικονικό ανιχνευτή σήματος, που ονομάζεται request-to-send (RTS)/clear-to-send (CTS). Μέσω αυτού του μηχανισμού αφότου αποκτηθεί ο έλεγχος του καναλιού στέλνετε ένα μικρό πακέτο ελέγχου, το λεγόμενο RTS. Αυτό το πακέτο "ανακοινώνει ότι πρόκειται να επακολουθήσει ένα μήνυμα, παρέχοντας πληροφορίες όπως τον προορισμό αλλά και την διάρκεια την μετάδοσης. Ο παραλήπτης του πακέτου RTS απαντάει και μέσω ενός πακέτου CTS ώστε να δηλώσει ότι είναι έτοιμος να δεχθεί το μήνυμα. Το CTS περιλαμβάνει επίσης το μέγεθος του προς μεταφορά μηνύματος. Αυτή η πληροφορία τηρείται από κάθε κόμβο στην NAV. Με αυτόν τον τρόπο όλοι οι σταθμοί στην περιοχή αποστολέα και παραλήπτη γνωρίζουν για πόσο χρόνο θα είναι δεσμευμένο το κανάλι.



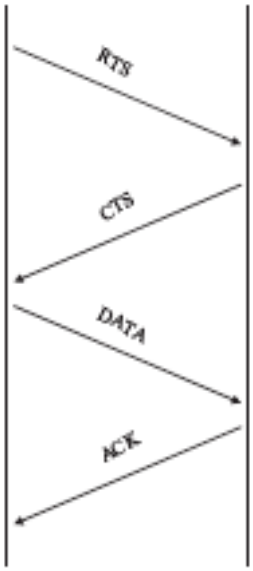
Εικόνα 7 Διαδικασία request-to-send (RTS) / clear-to-send (CTS)

Στην Εικόνα 7 όπου παρουσιαστήκαν τα προβλήματα του κρυφού και του εκτεθειμένου κόμβου θα μπορούσε να παρουσιαστεί και ένα σενάριο που να συμπεριλαμβάνει πακέτα RTS και CTS και πως βοηθούν στην αποφυγή των προβλημάτων. Το σενάριο αυτό είναι το εξής:

1. Ο Β θέλει να στείλει στον Receiver
2. Ο Β στέλνει πρώτα πακέτα RTS στον Receiver
3. Ο Receiver αποστέλλει μήνυμα CTS, που το παραλαμβάνει και ο Α και ο Β
4. Εφόσον ο Α γνωρίζει ότι ο Receiver έδωσε δικαίωμα σε έναν «κρυφό» κόμβο, οπότε λειτουργεί όπως και στην περίπτωση που δεν θα ήταν ο Β κρυφος, δηλαδή αφήνει το κανάλι για τον Β.
5. Ο Β μεταδίδει το μήνυμα στον Receiver

Ο συγκεκριμένος διάλογος δεν λύνει μόνο το πρόβλημα του κρυφού κόμβου αλλά και το πρόβλημα του εκτεθειμένου.

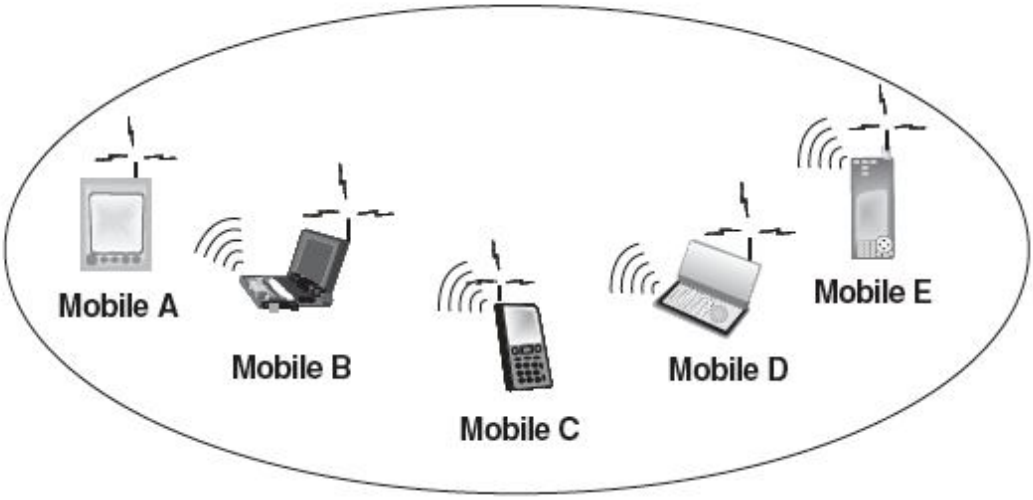
Τα πακέτα που στέλνονται μετά το διάλογο (RTS/CTS) ολοκληρώνονται με ένα μήνυμα επιβεβαίωση (acknowledgment) από τον παραλήπτη προς τον αποστολέα. Εάν δεν παραλάβει ο αποστολέας επιβεβαίωση τότε το πακέτο θα σταλεί ξανά. Αυτή η ολοκληρωμένη διαδικασία επικοινωνίας έχει την ονομασία 4-way handshake καθώς αποτελείται από τα τέσσερα βήματα, request-to-transmit, clear-to-send, μετάδοση πακέτου και τέλος acknowledgment.



Εικόνα 9. 4-way handshake

3.3.2.2 RTS/CTS συγκρούσεις και απώλειας της πληροφορίας

Παρότι ο μηχανισμός RTS/CTS λύνει το πρόβλημα κρυφού και εκτεθειμένου κόμβου κατά την διάρκεια της μετάδοσης δεδομένων, ενδέχεται να προκύψουν συγκρούσεις κατά την διάρκεια μετάδοσης των πακέτων ελέγχου (τα μικρά πακέτα RTS και CTS) το οποίο να οδηγήσει σε απώλεια πακέτων. Επιπλέον, η λύση RTS-CTS προτάθηκε για επίλυση του προβλήματος MAC θεωρώντας ότι υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία. Το αμφίδρομο της επικοινωνίας εξασφαλίζει την ανταλλαγή RTS και CTS πακέτων. Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις ασύρματης επικοινωνίας, λόγω της ασυμμετρίας οι συνδέσεις είναι μονόδρομες. Με αυτή την θεώρηση των μονόδρομων συνδέσεων η λύση των RTS/CTS πακέτων ελέγχου αποτυγχάνει. Οπότε πρέπει να λυθεί το πρόβλημα με κάποια διαφορετική προσέγγιση.



Υποθέστε ότι ο κόμβος D μεταδίδει πακέτα δεδομένων στον κόμβο E (χρησιμοποιώντας την μέθοδο RTS/CTS). Όταν το πακέτο μεταδίδεται, ο κόμβος A αποφασίζει να μεταδώσει στον B, χρησιμοποιώντας κι εκείνος RTS/CTS. Ας δούμε τι αντιμετωπίζει ο κόμβος C:

1. Ο C λαμβάνει το πακέτο RTS του D
2. Ο C λαμβάνει το πακέτο CTS από τον E (οπότε κλειδώνει και περιμένει μέχρι να απελευθερωθεί το κανάλι)
3. Ο C λαμβάνει το πακέτο CTS του B, που στέλνεται καθώς ο A ζήτησε να στείλει στον B), αλλά επειδή είναι δεσμευμένος από τον D δεν θα αποκωδικοποιήσει το CTS του B και δεν θα μάθει ότι ο B λαμβάνει μήνυμα από τον A
4. Όταν ολοκληρώσει την μεταφορά ο D, ο C απελευθερώνεται.

5. Ο C δεν γνωρίζει ότι ο B είναι δεσμευμένος, αλλά ότι το κανάλι είναι ελεύθερο. Οπότε μπορεί ο C να θέλει να στείλει στον D.
6. Ο C στέλνει RTS στον D
7. Ο C λαμβάνει CTS από τον D κι αρχίζει να στέλνει δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει κίνδυνος τα πακέτα ελέγχου ή δεδομένων που μεταφέρονται μεταξύ C και D να συγκρουστούν με αυτά που στέλνονται μεταξύ A και B.

Το παραπάνω παράδειγμα παρουσιάζει τα προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν λόγω της απώλειας ενός πακέτου ελέγχου. Επίσης παρουσιάζεται πως αυτή η απώλεια πληροφορίας στον έναν κόμβο μπορεί να δημιουργήσει ντόμινο και να μεταβιβάσει το πρόβλημα και σε άλλους κόμβους του δικτύου.

3.3.2.3 Η αντιμετώπιση του προβλήματος στο φυσικό επίπεδο

Όταν η πυκνότητα των κόμβων είναι ιδιαιτέρως μεγάλη, η χρήση των σημάτων ελέγχου (RTS/CTS) μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα συμφόρησης στο Δίκτυο. Το ασύρματο φάσμα είναι αναμφισβήτητα ένας περιορισμένος και ιδιαίτερα ακριβός πόρος τον οποίο τα κινητά τηλέφωνα θα πρέπει να καταναλώνουν με σύνεση. Με αυτό κατά νου, τα προβλήματα κρυφού και εκτεθειμένου κόμβου μπορούν επίσης να αντιμετωπιστούν στο φυσικό επίπεδο (PHY), με τη χρήση πολλαπλών κωδικών.

Η χρήση πολλαπλών κωδικών σημαίνει ότι κάθε κόμβος έχει έναν μοναδικό κωδικό PN στο δίκτυο και μεταδίδει χρησιμοποιώντας το δικό του κώδικα. Ο πομπός ανιχνεύει το κανάλι για τους γνωστούς κώδικες PN και αν ο δέκτης είναι σε κατάσταση αδράνειας (δηλαδή, δεν υπάρχουν δεδομένα για αυτό τον κόμβο) ο κόμβος είναι ελεύθερος να μεταδώσει. Δεδομένου ότι οι κωδικοί PN είναι μοναδικοί στο δίκτυο, το ζήτημα των κρυφών κόμβων λύνεται. Επίσης, δεδομένου ότι ο κόμβος πρέπει να μην είναι σε κατάσταση αδράνειας μέχρι την ολοκλήρωση της εν εξελίξει μεταφοράς δεδομένων των γειτονικών κόμβων, λύνεται και το πρόβλημα του εκτεθειμένου κόμβου.

3.3.2.4 Η αντιμετώπιση του προβλήματος με έξυπνες κεραίες

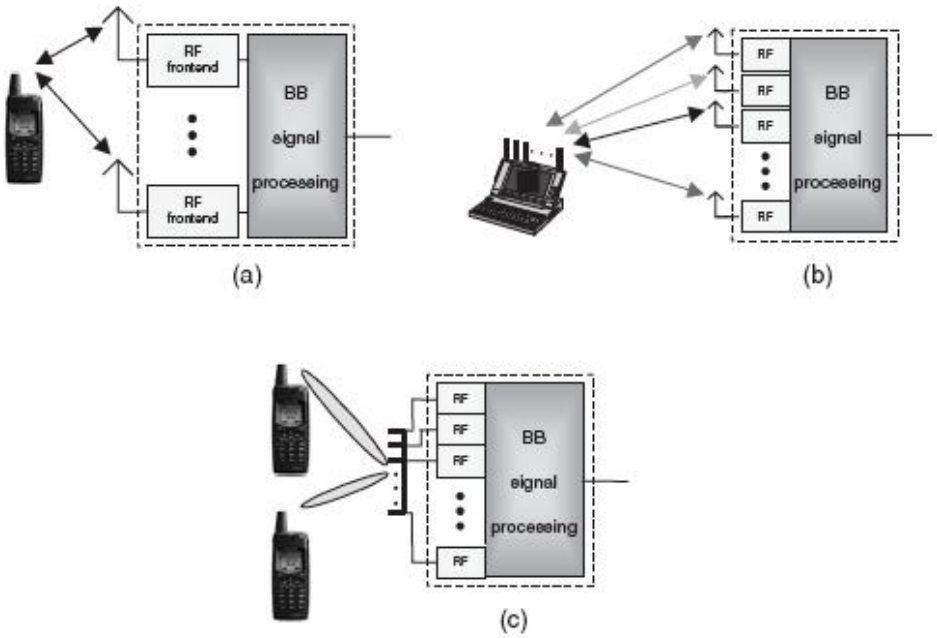
Όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, είναι αυταπόδεικτο ότι η αιτία του προβλήματος είναι οι κεραίες που μεταδίδουν προς όλες τις κατευθύνσεις. Με βάση αυτό οι έξυπνες κεραίες μπορεί να αποδειχθούν πανάκια. Αυτό το είδος κεραιών έχει την δυνατότητα να στοχεύει απ' ευθείας προς μια συγκεκριμένη

κατεύθυνση κι έτσι να μην επηρεάζεται από άλλα, άσχετα, σήματα. Ο αποστολέας με αυτόν τον τρόπο μπορεί απλά να ασχοληθεί με την μετάδοση του μηνύματος κι όχι την αποφυγή παρεμβολών. Από την μεριά του παραλήπτη, χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο «angle-to-arrival (AoA) ώστε να καθορίσει την κατεύθυνση όπου υπάρχει σήμα με μέγιστη ισχύ. Ωστόσο στα ασύρματα δίκτυα πλέγματος, εάν και ο πομπός αλλά και ο δέκτης έχουν κατευθυντικές κεραίες, προκύπτουν πολλά προβλήματα. Συγκεκριμένα στην προσπάθεια για μικρότερες κεραίες οδηγούμαστε στην χρήση υψηλότερων συχνοτήτων λειτουργίας, φτάνοντας τα 24GHz, ώστε η κεραία να έχει ακτίνα 0,8 εκατοστά.

Οι έξυπνες κεραίες είναι ένα ακόμα βήμα εξέλιξης προς την αύξηση της χωρητικότητας και μείωση των παρεμβολών. Η ιδέα των έξυπνων κεραιών είναι να χρησιμοποιείται η λογική των κεραιών των σταθμών βάσεων, οι οποίες προσαρμόζονται στις συνθήκες. Αυτό γίνεται με την κατευθυντικότητα του αποστολέα προς τον παραλήπτη μόνο. Η διαφορά μεταξύ των σταθερών και των έξυπνων κεραιών παρουσιάζεται στην Εικόνα 10 Παρουσίαση των διαφορών μεταξύ του παραδοσιακών σταθμών βάσης και των σταθμών με έξυπνες . Ας απαριθμήσουμε λοιπόν τα συν και τα πλην των κατευθυντικών κεραιών:

1. Silencing interferers: Εάν κάποιος παραλήπτης ξέρει ότι υπάρχουν πομποί που παρεμβάλλονται μπορεί να στείλει μήνυμα προς τον αποστολέα αγνοώντας όσους παρεμβάλλονται.

2. Enhanced neighbor discovery: Ο καθορισμός της κατευθυντικότητας του σήματος είναι απαραίτητος για την αποστολή καθώς και για την λήψη του σήματος. Μια προσέγγιση είναι η σειριακή δοκιμή των διαφόρων εναλλακτικών γωνιών μέχρι να εντοπιστεί η σωστή κατεύθυνση (Jakllari et al., 2003). Ωστόσο εάν η γωνία της κεραίας είναι 45 μοίρες, υπάρχουν 8 βήματα που πρέπει να δοκιμαστούν ώστε να βρεθεί σίγουρα η σωστή κατευθυντικότητα.



Εικόνα 10 Παρουσίαση των διαφορών μεταξύ του παραδοσιακών σταθμών βάσης και των σταθμών με έξυπνες κεραίες

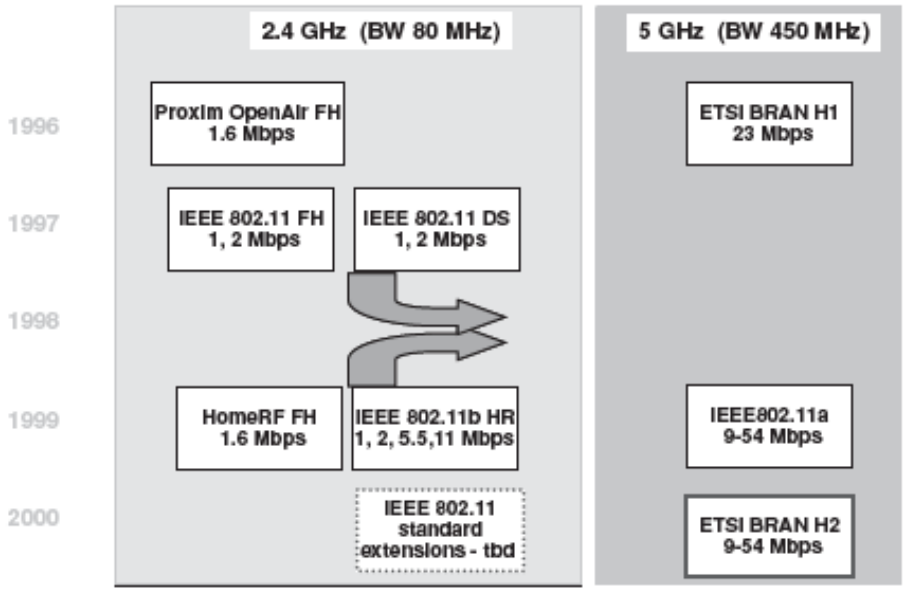
3. Flexible beam forming: Ένα σύστημα έξυπνων κεραιών μπορεί να ρυθμιστεί όπως κι ένα σύστημα κεραιών Omni. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στους μηχανικούς να αναπτύξουν πρωτόκολλα άσχετα από τον τύπο της κεραίας.

Κεφάλαιο 4

Επισκόπηση του πρωτοκόλλου IEEE 802.11

Το 1997, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) υιοθέτησε το πρώτο πρότυπο για ασύρματη ψηφιακή μετάδοση δεδομένων, το λεγόμενο IEEE 802.11, με ρυθμό μετάδοση μέχρι 2 Mbps (IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, 1999). Αρχικά το πρότυπο ήταν μέρος του προτύπου IEEE 802.4, με ονομασία 802.4L. Το 1990, η ομάδα του 802.4L μετονομάστηκε σε IEEE 802.11 W-LAN Project Committee, που δημιούργησε το ανεξάρτητο πρότυπο 802 που περιελάμβανε τρία specification για το φυσικό επίπεδο (PHY) και ένα κοινό στο επίπεδο MAC. Ο στόχος του 802.11 ήταν να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ των προϊόντων ασύρματης δικτύωσης, κατά αντιστοιχία με το πρότυπο 802.3 για την ενσύρματη δικτύωση.

Από τότε, δύο στάνταρ έχουν προκύψει για βελτίωση της ασύρματης δικτύωσης. Αυτά τα στάνταρ είναι το 802.11a και 802.11b. Η ομάδα του 802.11a δημιούργησε ένα στάνταρ που λειτουργεί στην συχνότητα των 5GHz, που ανήκει στην μπάντα Unlicensed National Information Infrastructure (UNNI), επιτυγχάνοντας ρυθμούς της τάξης των 54 Mbps. Το 802.11b παρήγαγε ένα στάνταρ που λειτουργεί στην συχνότητα των 2.4GHz, επιτυγχάνοντας μετάδοση δεδομένων με ρυθμό της τάξης των 11 Mbps. Και τα δύο αυτά πρότυπα μοιράζονται το ίδιο πρότυπο για το επίπεδο MAC.



Εικόνα 8 Η εξέλιξη του προτύπου IEEE 802.11

Πέρα από αυτά τα δύο πρότυπα για το φυσικό επίπεδο έχει γίνει επέκταση από διάφορες ομάδες. Τα κυριότερα πρότυπα-επεκτάσει είναι το 802.11e που έχει στόχο την υποστήριξη μετάδοσης ήχου και βίντεο και το 802.11g που στόχο έχει την μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα μετάδοσης.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της οικογενείας προτύπων 802.11 φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

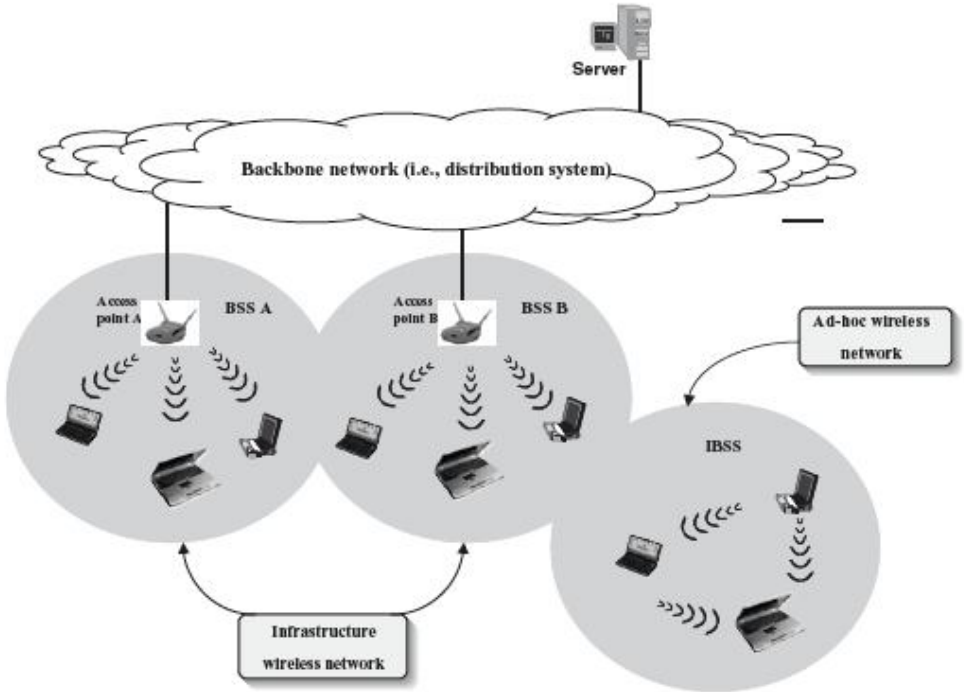
Industry Standards	Roaming Support	Supported PHY Technology	Data Rate (in Mbps)	ISM Band (GHz)	UNII Band (in GHz)	Network Classification
IEEE 802.11	YES	DSSS, FHSS, Diffuse Ir	1, 2	2.4–2.48	*NA	W-LAN
IEEE 802.11a	YES	OFDM	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	N/A	5.15–5.25 5.25–5.35 5.72–5.87	W-LAN
IEEE 802.11b	YES	DSSS	1, 2, 5.5, 11	2.4–2.48	*NA	W-LAN

*NA = not applicable.

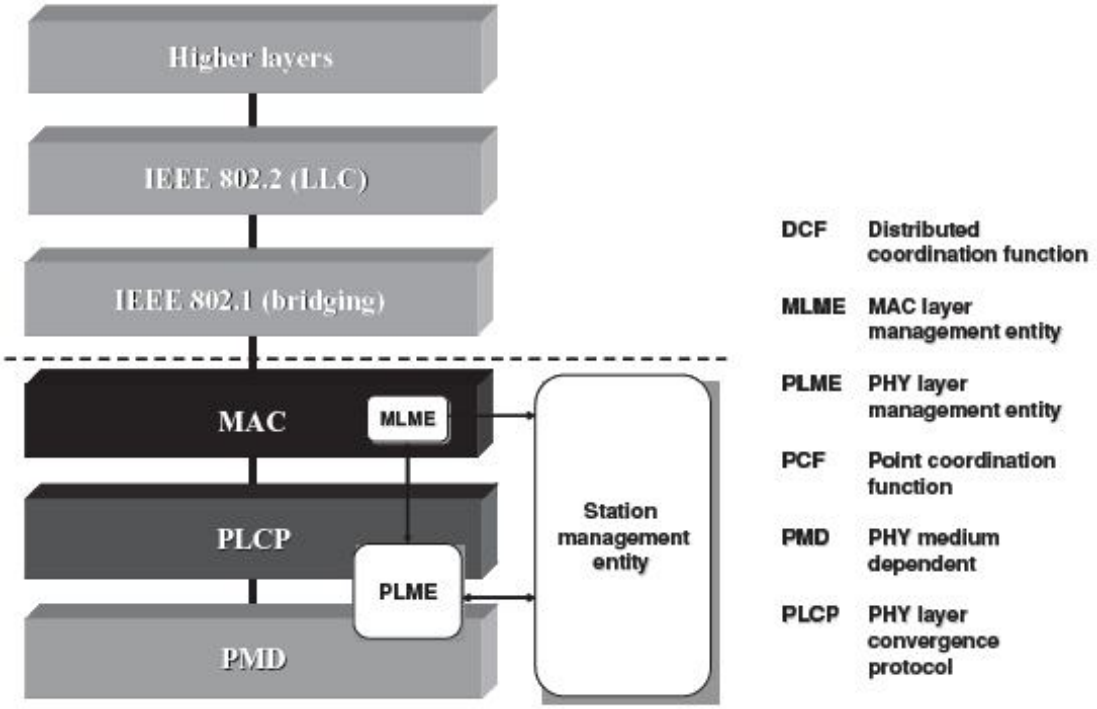
4.1 Η αρχιτεκτονική του 802.11

Ένα δίκτυο IEEE 802.11 μπορεί να υλοποιηθεί είτε δομημένα είτε ad-hoc. Σε ένα δομημένο δίκτυο, υπάρχει κεντρικός έλεγχος για κάθε κελί, το μηχάνημα που αναλαμβάνει αυτό τον έλεγχο ονομάζεται σημείο πρόσβασης (Access Point) καθώς είναι το μέσο που παρέχει την πρόσβαση στο διαδίκτυο αλλά και σε άλλες συσκευές. Όλη η κίνηση περνάει μέσω του σημείου πρόσβασης, ακόμα κι αν βρίσκονται στο ίδιο κελί οπότε θα μπορούσαν να έχουν άμεση σύνδεση. Το σημείο πρόσβασης λειτουργεί κι ως ρυθμιστής της κυκλοφορίας. Στα ad-hoc δίκτυα, μια ομάδα σταθμών επικοινωνούν απ' ευθείας μεταξύ τους με κατά περίπτωσης συνδέσεις, χωρίς να υπάρχει κανένας σταθμός βάσης ή άλλος κεντρικός έλεγχος. Όλο τον έλεγχο της επικοινωνίας τον μοιράζονται οι σταθμοί που επικοινωνούν στην κάθε σύνδεση. Λόγω του ότι ο έλεγχος ανήκει σε αυτούς που επικοινωνούν, ο συγχρονισμός γίνεται μέσω κατανεμημένων αλγορίθμων που στέλνουν τέτοια μηνύματα ώστε όλοι οι κόμβοι να έχουν συγχρονιστεί κατάλληλα.

Το IEEE 802.11 χρησιμοποιεί δύο βασικές λειτουργία για συγχρονισμό μεταξύ των σταθμών την Synchronization acquisition και Synchronization maintenance.



Εικόνα 9 Δομημένα και ad-hoc ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11

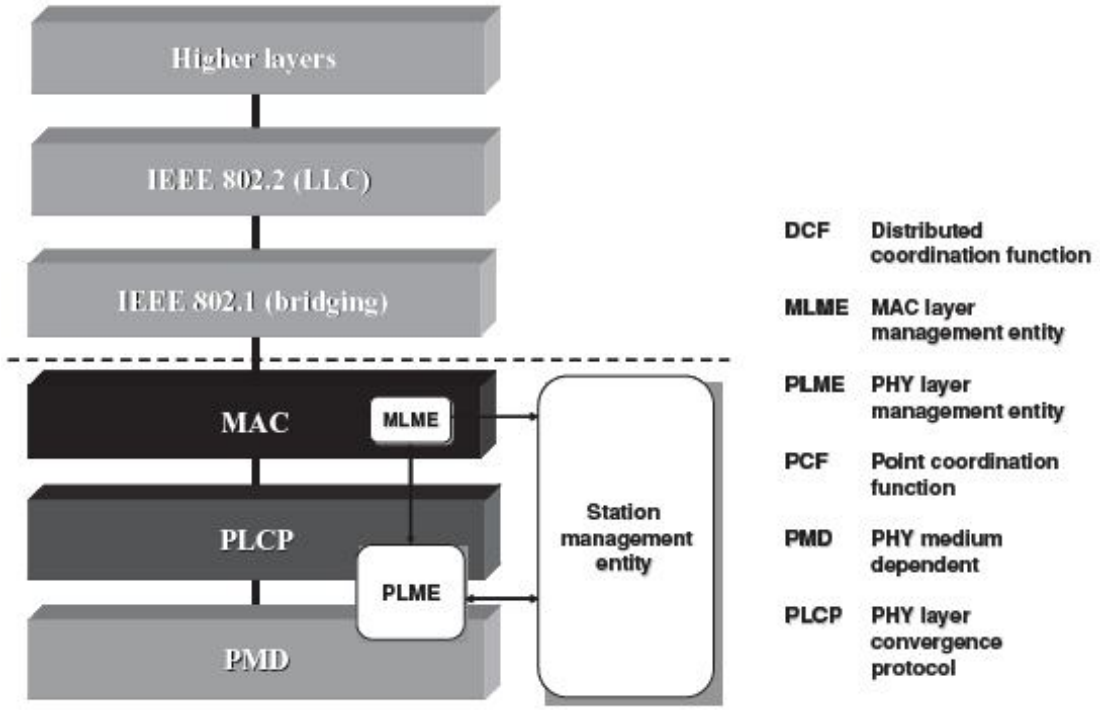


Εικόνα 10 Μοντέλο αναφοράς του IEEE 802.11

4.2 Κυριότερα χαρακτηριστικά του MAC Layer στο 802.11

Το IEEE 802.11 MAC layer παρέχει έναν βασικό μηχανισμό πρόσβασης που υποστηρίζει διάφορα χαρακτηριστικά όπως το «Clear Channel Assessment (CCA)», για ασύγχρονα παράδοση κρίσιμων δεδομένων, για ρύθμιση σύνδεσης,

κρυπτογράφηση και επιβεβαίωση, διαχείριση ενέργειας και συγχρονισμό καναλιού (Bray and Sturman, 2000). Ακόμα περισσότερο ο έλεγχος και διαχείριση συνδέσεων, κατατμήσεων και περιαγωγής καλύπτονται από το MAC layer. (Matthias, 2001). Η περιαγωγή είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων, επιτρέπει στους φορητούς χρήστες να μεταφέρονται μεταξύ των διαφόρων σταθμών βάσεως χωρίς να χάνουν την σύνδεση τους. Η Εικόνα 9 Δομημένα και ad-hoc ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11



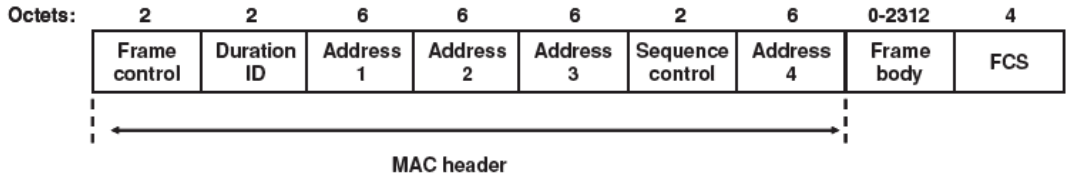
παρουσιάζει πως δύο σημεία πρόσβασης είναι διασυνδεμένα μέσω του backbone network ενώ οι φορητοί χρήστες μετακινούνται μεταξύ αυτών, συνεχίζουν να εργάζονται σαν να παρέμεναν συνδεδεμένοι σταθερά σε έναν σταθμό βάσης. Αυτή η δυνατότητα της περιαγωγής είναι βασικό χαρακτηριστικό όλως των προδιαγραφών της οικογενείας πρωτοτύπων IEEE 802.11, το οποίο δεν υπάρχει σε άλλες τεχνολογίες ασύρματων συνδέσεων μικρής ακτίνας, όπως το Bluetooth.

Το MAC layer του IEEE 802.11 παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα σύνδεσης είτε σε δομημένο είτε σε μη δομημένο δίκτυο. Η βασική μέθοδος, για πρόσβαση σε ένα-προς-ένα (peer-to-peer) μη δομημένο δίκτυο (ad hoc network) του IEEE 802.11 MAC πρωτοκόλλου, είναι αυτή του «Distributed Coordination Function (DCF)», η οποία συνδυάζει CSMA με το Collision Avoidance και δημιουργεί το CSMA/CA πρωτόκολλο ως το βασικό μηχανισμό πρόσβασης. Πάνω στην DCF έχει φτιαχτεί και

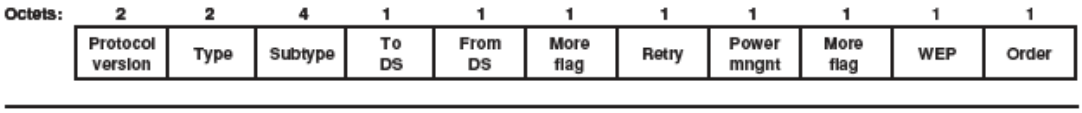
η Point Coordination Function (PCF), που λειτουργεί για δομημένα δίκτυα (Matthias, 2001). Η PCF λειτουργεί παρόμοια με ένα σύστημα δημοσκοπήσεων (Conti et al., 1997), όπου ένα υπολογιστής παρέχει τα δικαιώματα μετάδοσης σε ένα μοναδικό σταθμό μέσω ενός μηχανισμού δημοσκόπησης.

4.2.1 IEEE 802.11 MAC Framing

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηνυμάτων στο επίπεδο MAC. Αυτά διαχωρίζονται ως μηνύματα δεδομένων, διαχείρισης και ελέγχου. Τα "data frames" περιέχουν δεδομένα χρηστών, τα "management frames" υποστηρίζουν διάφορες υπηρεσίες του επιπέδου MAC (για παράδειγμα "authentication frame") και τα "control frame" που χρησιμεύουν στην υποστήριξη του ελέγχου παράδοσης των δεδομένων και των management frames. Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.11, ένα frame του επιπέδου MAC του IEEE 802.2, αποτελείται από το "header", το "frame body" και ένα CRC-32 frame ελέγχου (Frame Check Sequence - FCS). Η βασική δομή ενός MAC frame παρουσιάζεται στην Εικόνα 11 MAC Frame(IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, 1999).



Εικόνα 11 MAC Frame



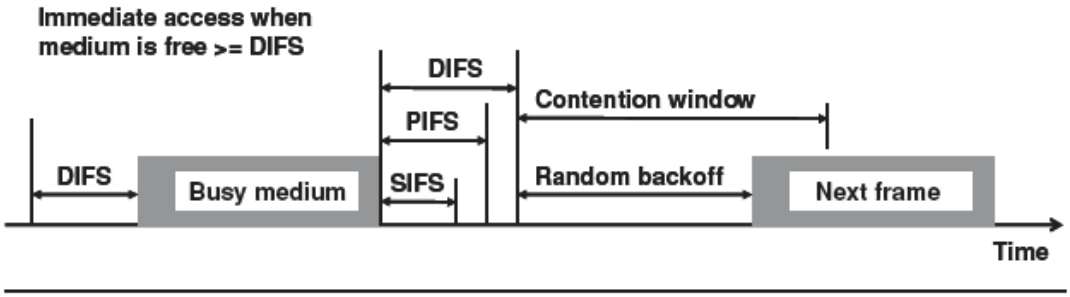
Εικόνα 12 Οργάνωση του Header στο MAC layer

4.2.2 IEEE 802.11 MAC διαχείριση οντοτήτων

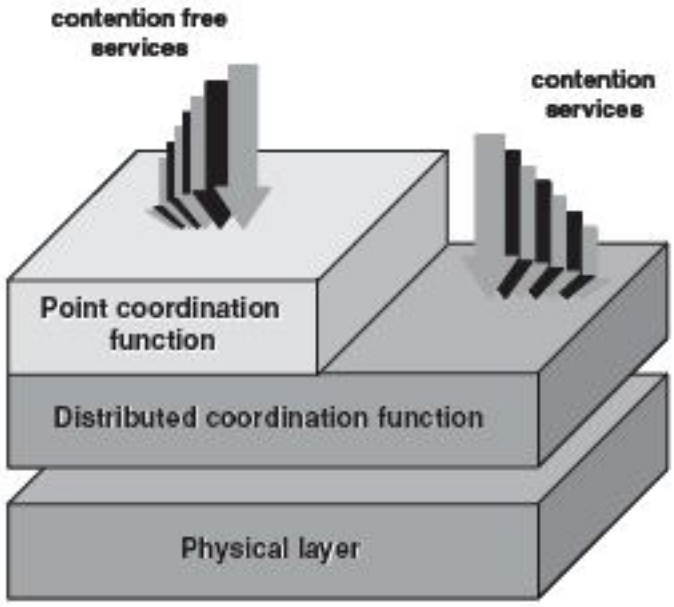
Κάθε επίπεδο του IEEE 802.11 έχει δικές τους οντότητες διαχείρισης, που ονομάζονται "Management Information Bases (MIBs)", οι οποίες περιέχουν αντίστοιχα απαραίτητες πληροφορίες (Matthias, 2001). Ειδικότερα υπάρχουν τρεις οντότητες διαχείρισης, ονομαστικά είναι η "Physical Layer Management Entity (PLME)", η "MAC Layer Management Entity (MLME)" και η "Station Management Entity (SME)". Η PLME παρέχει υπηρεσίες για να οριστεί το φυσικό κανάλι μετάδοσης, όπως το "hopping pattern" στο σύστημα "FHSS". Το MLME είναι υπεύθυνο για την δημιουργία και διατήρηση της σύνδεσης καθώς και για την διαχείριση της ενέργειας που καταναλώνεται, παρέχοντας τις ακόλουθες υπηρεσίες: διαχείριση ενέργειας, αναζήτηση, συγχρονισμό, πιστοποίηση, συσχέτιση, αποσυσχέτιση, επαναφορά (reset) και εκκίνηση. Η αναζήτηση για σταθμούς χρησιμοποιείται για να εντοπιστούν σταθμοί σε "ορατή" ακτίνα, το πρότυπο ορίζει δύο τύπους αναζήτησης, τον παθητικό και τον ενεργητικό. Για να συγχρονιστούν όλοι οι δείκτες των σταθμών με έναν σταθμό βάσης, το MLME παρέχει μια υπηρεσία συγχρονισμού. Η πληροφορία συγχρονισμού παρέχεται είτε από σημείο πρόσβασης είτε από σταθμό βάσης, ή μέσω κατανεμημένου αλγόριθμου. Επιπλέον, ένας σταθμός πρέπει να πιστοποιηθεί (authenticate) πριν συνδεθεί με τον σταθμό βάσης. Οι συνδεδεμένοι σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιούν το κατανεμημένο σύστημα, ενώ η μη συνδεδεμένοι δε θα πρέπει να μπορούν να το χρησιμοποιήσουν.

4.2.3 The IEEE 802.11 PCF

Προκειμένου να υποστηριχθούν υπηρεσίες εντός πεπερασμένου χρόνοου, οι προδιαγραφές του προτύπου IEEE 802.11 καθορίζουν την προαιρετική χρήση του PCF, στο οποίο ένας υπολογιστή (ή σταθμός PCF) έχει τον έλεγχο προτεραιότητας του μέσου. Ο υπολογιστής αυτός βρίσκεται σε κάποιο σημείο πρόσβασης. Αυτός προγραμματίζει τις περιόδους σιγής στέλνοντας ένα "beacon frame" όταν λήγει ένα χρονόμετρο "SIFS". Αυτό συμβαίνει διότι όταν είναι ενεργό το PCF επιτρέπει μόνο σε έναν σταθμό σε κάθε κελί να έχει πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης κάθε στιγμή. Αυτό έχει επιτευχθεί με την μετάδοση των "beacon frame" (Εικόνα 13 Μηχανισμός αρχικής πρόσβασης) που ειδοποιούν όλους τους σταθμούς στο κελί να σταματήσουν την μετάδοση την συγκεκριμένη περίοδο "contention free period" (CFP). Εάν ένας σταθμός δεν ακούσει το μήνυμα "beacon", τότε ορίζει το "NAV" του στην μέγιστη γνωστή τιμή για το CFP.



Εικόνα 13 Μηχανισμός αρχικής πρόσβασης



Εικόνα 14 Η αρχιτεκτονική του 802.11

4.2.4 Η IEEE 802.11 DCF μέθοδος για πρόσβαση στο μέσο χωρίς υποδομή

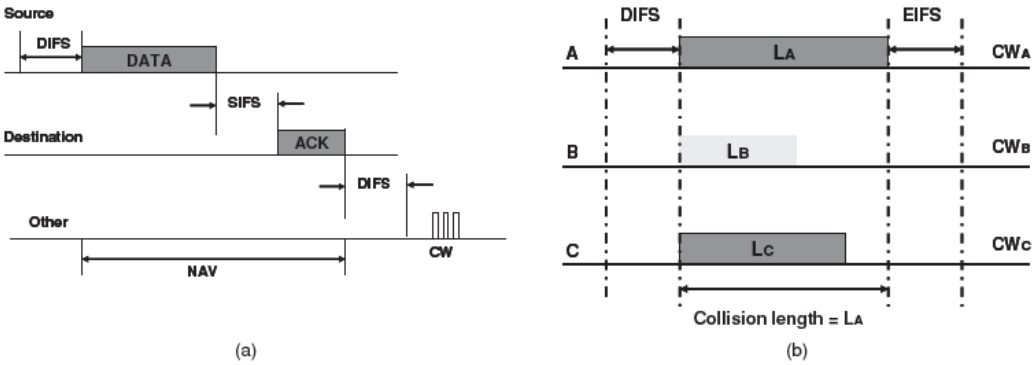
Wireless Networks

Το DCF ορίζει την χρήση του CSMA πρωτοκόλλου με CA. Το CSMA χρησιμοποιείται στα ασύρματα δίκτυα παρόμοια με το CSMA σχήμα στα ενσύρματα δίκτυα. Ωστόσο, η τεχνική "collision detection" (CD) για ενσύρματα δίκτυα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο αποτελεσματικά και στα ασύρματα από την στιγμή που κόμβοι δεν μπορούν να εντοπίζουν μέσω του αέρα (που είναι το μέσο μετάδοσης) τις συγκρούσεις (collisions) όταν προκαλούνται. Η απουσία εντοπισμού οφείλεται στην ύπαρξη ισχυρού σήματος στους μεταδότες που εξυπηρετεί κι άλλα σήματα επικοινωνίας (Wickelgren, 1996).

Η ιδιότητα "CA" των ασύρματων δικτύων που βασίζονται στο "CSMA"βοηθούν στην μείωση του πλήθους των συγκρούσεων. Εν συντομία η βασική λειτουργία του CSMA/CA επιτρέπει επιλογές που ελαχιστοποιούν τις συγκρούσεις με χρήση RTS, CTS, δεδομένων και ACK frames. Η επικοινωνία εδραιώνεται όταν ένας κόμβος στέλνει ένα σύντομο μήνυμα με RTS frame. Το RTS frame περιέχει τον προορισμό και το μήκος του μηνύματος. Η διάρκεια του μηνύματος είναι γνωστή ως Network Allocation Vector (NAV). Το NAV ειδοποιεί όλους τους άλλους του χρήστες του μέσου να παραμείνουν αδρανείς για όσο χρόνο διαρκεί η μετάδοση. Ο δέκτης εκδίδει ένα CTS frame, το οποίο στέλνεται στην διεύθυνση του αποστολέα. Εάν το CTS frame δεν παραληφθεί, θεωρείται ότι προκλήθηκε σύγκρουση, και η διαδικασία του RTS ξεκινάει ξανά. Αφότου ληφθεί το "data frame" στέλνεται πίσω ένα "ACK frame" για να επιβεβαίωση την επιτυχή αποστολή του μηνύματος.

Το πρωτόκολλο CSMA/CA δεν στηρίζεται στις δυνατότητες του σταθμού για εντοπισμό συγκρούσεων παρακολουθώντας τις μεταδόσεις που κάνουν. Εν αντιθέσει, άμεσα θετικά μηνύματα επιβεβαίωσης χρησιμοποιούνται για να εξασφαλιστεί η επιτυχής παραλαβή κάθε πακέτου που μεταδόθηκε. Ειδικότερα, ο παραλήπτης μετά την λήψη του frame δεδομένων περιμένει για ένα χρονικό διάστημα, το οποίο ονομάζεται "short interframe space (SIFS)", το οποίο είναι μικρότερο από το "DIFS", και μετά αρχίζει την μετάδοση του frame επιβεβαίωσης (ACK). Το ACK δεν μεταδίδεται σε περίπτωση που το μήνυμα που παραλήφθηκε είναι κατεστραμμένο. Ένας αλγόριθμος CRC έχει υιοθετηθεί για να ανακαλύπτει τα λάθη μετάδοσης. Οι συγκρούσεις μεταξύ των σταθμών προκαλούνται όταν δύο ή περισσότεροι σταθμοί ξεκινάνε να μεταδίδουν την ίδια στιγμή (Εικόνα 15α). Εάν μια επιβεβαίωση δεν

παραληφθεί, το data frame θεωρείται ότι χάθηκε, και γίνεται προσπάθεια να αποσταλεί εκ νέου. Αφού εντοπιστεί το προβληματικό πακέτο (λόγω σύγκρουσης ή λαθών μετάδοσης), το κανάλι πρέπει να παραμείνει ανενεργό τουλάχιστον για ένα χρονικό διάστημα που ονομάζεται “extended interframe space (EIFS)”, πριν ο σταθμός ενεργοποιηθεί ξανά και αρχίσει ο αλγόριθμος προγραμματισμού της μετάδοσης των πακέτων (Εικόνα 15b).



Εικόνα 15 IEEE 802.11 DCF. (a) Επιτυχής μετάδοση. (b) Σύγκρουση πακέτων

Βιβλιογραφία

1. Αθ. Κανάτας, Φιλ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος. Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2008.
2. ΕΘΝΟΣ. Γρήγορα και δωρεάν (Ασύρματο mesh για ευρυζωνική κάλυψη στην επαρχία και στα νησιά). 9 4 2008. 25 2 2010 <http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=11429&subid=2&tag=8400&pubid=746472>.
3. Θεολόγου, Μ. Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών. Εκδόσεις Τζιόλα, 2007.
4. Σιδερίδη, Αλέξανδρου Β. Εισαγωγή στην επιστήμη των υπολογιστών. 1998.
5. Βασίλειος Σύρης, Απόστολος Τραγανίτης και Ιωάννης Ασκοξυλάκης. "Το μέσο για μια νέα γενιά καινοτόμων υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών." Economist - Καθημερινή 1 12 2007: 53-54.
6. A. Santamaria, F. Lopez-Hernandez. Wireless LAN: Standards and Applications. Artech House, 2001.
7. e-Noesis.com. Wireless Solutions. 25 02 2010. 25 02 2010 <http://www.e-noesis.com/el/wireless.html>.
8. Esseling, N., E. Weiss, A. Kramling, and W. Zirwas. A Multi Hop Concept for Hiper- LAN/2: Capacity and Interference, In: Proceedings of the EuropeanWireless. 1 vols. Florence, 2002.
9. Gast, Matthew S. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, 1st edition. Ed. Mike Loukideσ. O'Reilly & Associates, Inc. Sebastopol, CA, USA, 2002.
10. George Aggelou, B.Sc., B.Eng., Ph.D. Wireless MESH Networking with 802.16, 802.11 and ZigBEE. McGRAW - HILL COMMUNICATIONS, 2009.
11. Hossain, Ekram and Kin K. Leung. Wireless Mesh Networks, Architectures and Protocols. Springer, 2008.
12. Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin wang. "Wireless mesh networks." SCINET DIRECT(R) (2005): 445-487.
13. Ian F. Akylidiz, Xudong Wang, Kiyon. "A survey on Wireless Meh Networks." IEEE Radio Communications (2005): S23-S30.

14. Kamvar, S., M. Schlosser and H. Garcia-Molina. "The eigentrust algorithm for reputation management in P2P networks." WWW'03. 2003. 640-651.
15. Luo, H., et al. "Self-securing ad hoc wireless networks." IEEE ISCC'02. 2002. 567-574.
16. Murthy, C. Siva Ram and B.S. Manoj. Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 2004.
17. Perkins, C. E. Ad Hoc Networking. Addison-Wesley, 2000.
18. Raniwala, A. and C. Tzi-cker. "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network." IEEE INFOCOM'05. 2005. 2223-2234.
19. Rappaport, T. S. Wireless Communitations: Principles and Practice. Prentice Hall, 2005.
20. Rappaport, Th. S. Ασύρματες Επικοινωνίες: Αρχές και Πρακτική. Εκδόσεις Γκιούρδα, 2006.
21. Sanzgiri, K., et al. "A secure routing protocol for ad hoc networks." IEEE ICNP'02. 2002. 78-87.
22. Tanenbaum, Andrew S. Δίκτυα Υπολογιστών, Τρίτη έκδοση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 200.
23. Wikipedia. Δίκτυο υπολογιστών. 5 2 2010. 25 2 2010 <http://el.wikipedia.org/wiki/Δίκτυο_υπολογιστών>.
24. William, Stallings. Ασύρματες Επικοινωνίες. Εκδόσεις Τζιόλα, n.d.
25. —. Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα. Τζιόλα, n.d.
26. Yu, B. and M. P Singh. "A social mechanism of reputation management in electronic communities." 4th International Workshop on Cooperative Information Agents. 200. 154-165.
27. Yu, B., M. Singh and K. Sycara. "Developing trust in large-scale peer-to-peer systems." Proc. of 1st IEEE Symposium on Multi-Agent Security and Survivabilit (2004): 1-10.
28. Zhang, W., S. Das and Y. Liu. "A trust based framework for secure data aggregation in wireless sensor networks." (2006): 60-69.
29. Zhou, L. and Z. J. Haas. Securing ad hoc networks. Vol. 13. IEEE Network, 1999.