Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό
Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Θεσσαλονίκης

Σχολή Τεχνολογικών εφαρμογών
Τμήμα πληροφορικής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων»

Λιάλιου Σοφία

Επιβλέπων : Θωμάς Λάγκας

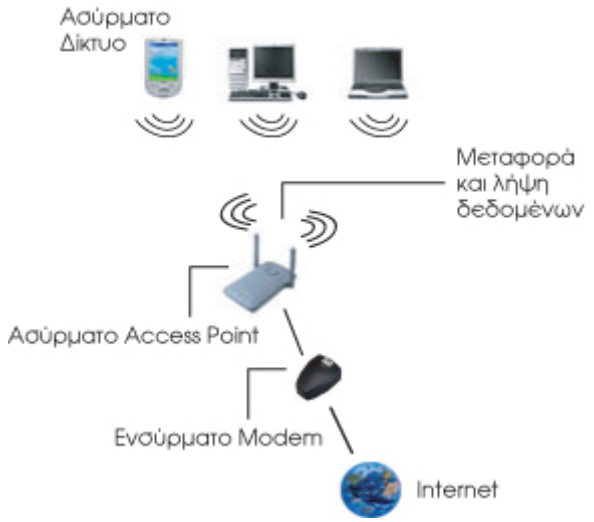
Θεσσαλονίκη Ιούνιος 2009

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή

Η ανάγκη για επικοινωνία και πληροφόρηση στη σημερινή εποχή είναι πιο έντονη από ποτέ. Η δυνατότητα πρόσβασης λοιπόν σε μέσα πληροφόρησης και επικοινωνίας σε οποιοδήποτε χώρο και οποιαδήποτε στιγμή παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον. Από ένα περιβάλλον όπου υπήρχαν μόνο οι καλωδιακές γραμμές τηλεφώνου, φτάσαμε σε μια εποχή όπου τα καλώδια αντικαθιστούνται από ασύρματους διαύλους και η απλή τηλεφωνική υπηρεσία εξελίσσεται σε ένα σύνολο υπηρεσιών, που προσφέρουν στους χρήστες ευκολίες και νέους τρόπους επικοινωνίας. Γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο, “online” αγορές και συναλλαγές, ενημέρωση και ψυχαγωγία, τηλεδιασκέψεις είναι μόνο μερικές από αυτές.

Η ανάγκη για γρήγορη μεταφορά δεδομένων μέσω δικτύων με χαμηλό κόστος σχεδιασμού και συντήρησης, έχει ως αποτέλεσμα τη ραγδαία εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας. Σήμερα, με την αύξηση χρήσης φορητών Η/Υ εντός και εκτός επαγγελματικού χώρου, γίνεται αναγκαία η ανάπτυξη ασύρματων δικτύων Η/Υ.



Εικόνα 1.1 Ασύρματο δίκτυο

Την τελευταία δεκαετία μια καινούρια τεχνολογία, που άρχισε σα μια μικρή δικτύωση γραφείων, έδωσε το έναυσμα για μια νέα εποχή στο χώρο των τηλεπικοινωνιών. Τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Local Area Networks, WLANs), τα οποία παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων υψηλού ρυθμού μετάδοσης, σε μια μικρή περιοχή όπου μπορεί να υπάρχει κινητικότητα των χρηστών[1].

Ως μια επέκταση των Ασύρματων Τοπικών Δικτύων, αποτελούν τα Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks, WMANs)

χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως η διαδικασία πιστοποίησης και διαλειτουργικότητας WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) του προτύπου IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.16 , που προσφέρουν πρόσβαση σε πολύ μεγάλη ακτίνα κάλυψης, και με ρυθμούς μετάδοσης που μπορούν να ικανοποιήσουν και τους πιο απαιτητικούς χρήστες. Αποτελούν την εναλλακτική λύση στον χώρο των καλωδιακών και ψηφιακών συνδρομητικών γραμμών (DSL).

Μέχρι και πριν λίγα χρόνια η ασύρματη τεχνολογία αντιμετώπιζε διάφορες δυσκολίες με αποτέλεσμα να προκύπτουν προϊόντα χαμηλών ταχυτήτων και ακριβά. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και την πρόοδο της βιομηχανίας, η αγορά υποδέχεται σήμερα την ασύρματη τεχνολογία και την ευρυζωνικότητα τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Ξεκινώντας από την αρχή θα μιλήσουμε για τα κανάλια μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σε όλα τα είδη των συνδέσεων.

2. Κανάλια μετάδοσης

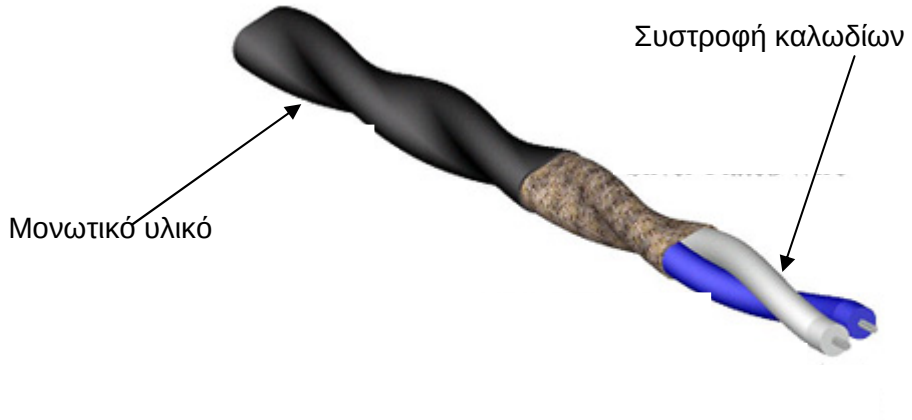
Κανάλι ή αλλιώς μέσο μετάδοσης, είναι η φυσική σύνδεση ανάμεσα σε έναν πομπό και έναν δέκτη σε οποιοδήποτε επικοινωνιακό σύστημα. Τα κανάλια επικοινωνίας διακρίνονται σε :

α. Ενσύρματες συνδέσεις.

Οι ενσύρματες συνδέσεις αποτελούν τον πλέον κοινό τρόπο σύνδεσης μεταξύ υπολογιστών. Το κανάλι μετάδοσης είναι ένα φυσικό υλικό μέσο όπως κάποιο μέταλλο το οποίο είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα καλωδιακά μέσα μετάδοσης λοιπόν μπορεί να είναι[1] :

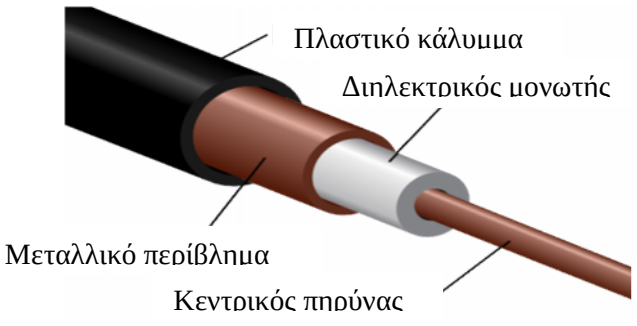
α.1)Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων (Twister pair) : Δηλαδή τα χάλκινα σύρματα των τηλεφωνικών γραμμών. Το παλαιότερο και ακόμη συνηθέστερο μέσο μετάδοσης.



Εικόνα 2.1 Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων

Αποτελείται από δύο μεμονωμένα χάλκινα σύρματα πάχους συνήθως 1mm. Τα σύρματα συστρέφονται σε ελικοειδή μορφή, όπως η έλικα του DNA. Ο σκοπός της στρέψης είναι η μείωση της ηλεκτρονικής παρεμβολής. Είναι μικρού κόστους, όμως δεν υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις.

α.2)Ομοαξονικά καλώδια(coaxial cable) : Τα ομοαξονικά καλώδια που ονομάζονται έτσι λόγω της κατασκευής τους, αποτελούν και αυτά συνηθισμένο μέσο μετάδοσης. Χρησιμοποιούνται αντί των συνεστραμμένων για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί με την απόσταση μετάδοσης και την ταχύτητα επικοινωνίας αλλά και γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ασφάλεια στην επικοινωνία.

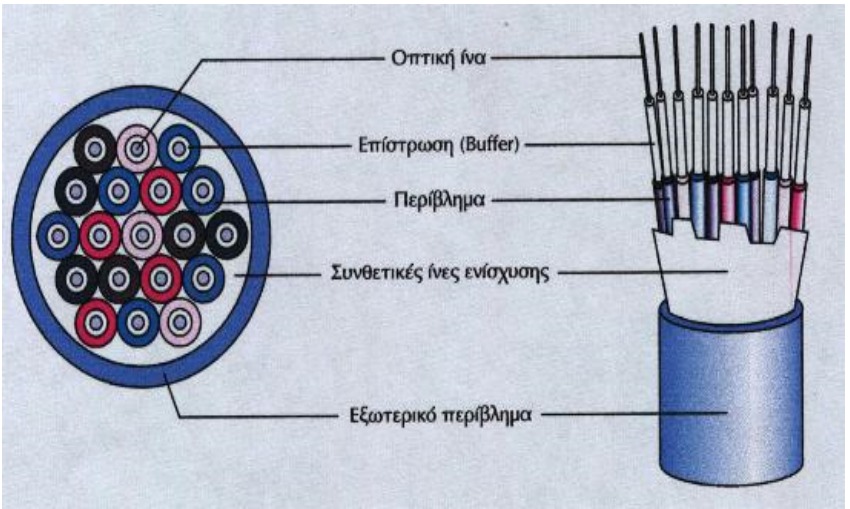


Εικόνα 2.2 Ομοαξονικό Καλώδιο

Αποτελείται από έναν πυρήνα άκαμπτου χάλκινου καλωδίου, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Ο μονωτής καλύπτεται από έναν κυλινδρικό αγωγό με μορφή πυκνού δικτυωτού πλέγματος και ο εξωτερικός αγωγός καλύπτεται από πλαστικό προστατευτικό περίβλημα. Έχουν διάμετρο 0,6 - 2cm και προσφέρουν υψηλό εύρος ζώνης συχνοτήτων που φτάνει τα 1 Ghz. Χρησιμοποιούνται στην καλωδιακή τηλεόραση, σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών ή σε κομβικές συνδέσεις του τηλεφωνικού συστήματος.

Μεταδίδουν και αναλογικό και ψηφιακό σήμα(βλέπε παράρτημα β) και για μεγάλες αποστάσεις παρεμβάλλονται αναμεταδότες. Δύο τύποι ομοαξονικού καλωδίου χρησιμοποιούνται ευρέως, το καλώδιο των 50 Ohm, συνήθως προορίζεται από την αρχή για ψηφιακή μετάδοση και το καλώδιο των 75 Ohm συνήθως για αναλογική μετάδοση στην καλωδιακή τηλεόραση και για πρόσβαση στο Internet.

Β. Οπτικές ίνες(optical fiber) : αποτελεί το ασφαλέστερο και ταχύτερο μέσο μετάδοσης. Είναι πλέγμα ινών, συνήθως από γυαλί, μέσα σε προστατευμένη θωράκιση. Η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται σε μορφή ανακλώμενων παλμών φωτός, χωρίς καμία ενίσχυση. Έχει τη βέλτιστη μόνωση στο θόρυβο, μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης πληροφοριών (1 Gbps), αλλά μεγάλο κόστος.



Εικόνα 2.3 Οπτική ίνα

Ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης έχει τρία στοιχεία:

• την πηγή φωτός

• το μέσο μετάδοσης

• τον ανιχνευτή

Συμβατικά ένας παλμός φωτός αντιστοιχεί στο bit 1 και η απουσία φωτός αντιστοιχεί στο bit 0. Το μέσο μετάδοσης είναι μία εξαιρετικά λεπτή ίνα γυαλιού. Ο ανιχνευτής δημιουργεί έναν ηλεκτρικό παλμό όταν πέφτει πάνω του φως. Συνδέοντας μία πηγή φωτός στο ένα άκρο οπτικής ίνας και έναν ανιχνευτή στο άλλο, έχουμε ένα σύστημα μετάδοσης σε μία μόνο κατεύθυνση που δέχεται ένα ηλεκτρικό σήμα, το μετατρέπει σε παλμούς φωτός και το μεταδίδει και τέλος το ξαναμετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα στη λήψη.

Από την άλλη πλευρά η ασύρματη τεχνολογία βρίσκεται στην επιτομή της γι' αυτό και λίγα λόγια για τις ασύρματες συνδέσεις είναι απαραίτητα σε αυτό το σημείο[1], [2].

γ. Ασύρματες συνδέσεις.

Εικόνα 2.4 Ασύρματες συνδέσεις

Η ασύρματη μετάδοση χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας, τα οποία μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με συχνότητα φέροντος η οποία εξαρτάται κάθε φορά από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που υποστηρίζει το δίκτυο. Με τον όρο ηλεκτρομαγνητικό κύμα(βλέπε παράρτημα α), αναφερόμαστε στη χρονική μεταβολή ενός ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου και η διαταραχή που

προκαλείται διαδίδεται στο χώρο. Άρα η ασύρματη μετάδοση βασίζεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία(βλέπε παράρτημα α) και χρησιμοποιεί ως δίαυλο επικοινωνίας τον ελεύθερο χώρο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι τύπος κυμάτων σε μορφή ακτινοβολίας, με συνιστώσες ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου(βλέπε παράρτημα α), που διαδίδονται στην ύλη και στο κενό. Συνίσταται κυρίως σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα που καλύπτουν το μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων και μπορούν να παραχθούν και τεχνικά(π.χ. ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρες κ.τ.λ.).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς, δηλαδή ως φορέας πληροφοριών. Η πληροφορία που πρόκειται να διαβιβασθεί, π.χ. μια συνομιλία ή ένα φαξ, περιέχεται στο εκπεμπόμενο φέρον κύμα με κατάλληλο τρόπο διαμορφωμένη. Ο δέκτης είναι σε θέση να εξάγει την αρχική πληροφορία από το λαμβανόμενο διαμορφωμένο σήμα.

Τυπικά, τα ασύρματα δίκτυα δεν είναι εντελώς ασύρματα αλλά αποτελούν επέκταση του είδη υπάρχοντος ενσύρματου δικτύου. Χρησιμοποιούνται όταν δεν μπορούν ή είναι δύσκολο να τοποθετηθούν καλώδια. Εδώ χρησιμοποιούνται και τα μικροκύματα : Η μετάδοση σημάτων γίνεται μέσω της ατμόσφαιρας αντί των ειδικών καλωδίων, με τη χρήση αναμεταδοτών. Επίσης μετάδοση μπορεί να επιτευχθεί με χρήση υπέρυθρων ακτινών και ακτινών laser. Οι υπέρυθρες ακτίνες σχηματίζουν ένα ευρύ φάσμα που εκτείνεται ανάμεσα στο ορατό φως και τα ραδιοκύματα, με μήκη κύματος μερικών χιλιοστομέτρων. Οι ακτίνες laser από την άλλη έχουν μια συντονισμένη μορφή που τους δίνει τη δυνατότητα να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις συγκεντρωμένες χωρίς να απλώνονται.

Η πρώτη γενιά ασύρματων συστημάτων περιελάμβανε αναλογικά κυψελοειδή συστήματα, όπως τα NMT450(Nordic Mobile Telephony, το πρώτο πλήρες, αυτόματο σύστημα κινητής τηλεφωνίας) και τα AMPS(Advanced Mobile Phone Service, υψηλού επιπέδου υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας μέσα από τα απλά κυψελοειδή δίκτυα). Τα συστήματα αυτά αρχικά μετέφεραν δεδομένα φωνής, με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και εύρος αμφίδρομου (duplex) διαύλου 25, 25 και 30 KHz αντιστοίχως.

Τα συστήματα δεύτερης γενιάς εξελίχθηκαν σε ψηφιακά κυψελοειδή, χρησιμοποιώντας πρότυπα όπως το GSM και το CDMA(Code Division Multiple Access). Το GSM(Group Special Mobile) είναι ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς το οποίο κάνει χρήση ηλεκτρομαγνητικών σημάτων και με την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης επιλέγει το κατάλληλο φάσμα συχνοτήτων και μεταδίδει σήμα μέσα από ένα αριθμό καναλιών. Το CDMA είναι μία ασύρματη, ψηφιακή τεχνολογία που χρησιμοποιεί την πολύπλεξη. Τα συστήματα αυτά

περιελάμβαναν επίσης τα ασύρματα τηλέφωνα (PHS, CT2, και DECT) και τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες.

Σήμερα, τα ασύρματα συστήματα παγκοσμίως είναι κυρίως ψηφιακά και οδηγούν στην ανάπτυξη προτύπων τρίτης γενιάς, όπως το IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000 παγκόσμιο στάνταρ για την ασύρματη επικοινωνία τρίτης γενιάς**)** ή UMTS(Universal Mobile Telecommunications System, τρίτης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας).

Ολοκληρώνοντας, οι τεχνολογίες ασύρματων τοπικών δικτύων, όπως το WiFi και HiperLAN/2 προτίθενται να προσφέρουν διασυνδέσεις ανάμεσα στα ενσύρματα και στα ασύρματα δίκτυα. Ενώ το Bluetooth και το HomeRF(home radio frequency, σχεδιασμένο για ασύρματα δίκτυα στο σπίτι*)* σχεδιάστηκαν για να παρέχουν προσωπικές επικοινωνίες και να συνδέουν συσκευές σε μικρές αποστάσεις και το IEEE 802.16 για την υλοποίηση ευρύτερων ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων.

Οι συσκευές που είναι απαραίτητες για τις προαναφερθείσες συνδέσεις είναι :

1. Πομποί : Είναι ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες με τη βοήθεια κάποιας κεραίας αναπαράγουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα όπως τηλεόραση και ραδιόφωνο ή άλλες τηλεπικοινωνίες.
2. Κεραίες : Είναι ένας πομποδέκτης σχεδιασμένος να μεταδίδει ή να λαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
3. Δορυφόροι : Ένας δορυφόρος αποτελείται από έναν ή περισσότερους αναμεταδότες (transponders), όπου ο κάθε ένας είναι ικανός να λαμβάνει σήματα σε μια συχνότητα και να τα αναμεταδίδει πίσω στη γη σε μια δεύτερη. Η δέσμη που μεταδίδεται από το δορυφόρο μπορεί να είναι είτε πλατιά (broad) καλύπτοντας ένα μεγάλο κομμάτι της γήινης επιφάνειας, είτε στενή (narrow) καλύπτοντας περιοχές μερικών μόνο χιλιομέτρων.
4. Δέκτες μετάδοσης : Μπορεί να είναι τηλεοπτικοί, ραδιοφωνικοί, δορυφορικοί και άλλοι. Οι δέκτες λαμβάνουν το σήμα είτε ενσύρματα είτε ασύρματα.

3. Δίκτυα υπολογιστών

Εφόσον έχουμε λίγο ξεκαθαρίσει τις συνδέσεις μπορούμε να αναφερθούμε στα δίκτυα υπολογιστών μέσω των οποίων είναι εφικτή η επικοινωνία. Τα δίκτυα υπολογιστών είναι ένα σύστημα συνδεδεμένων μεταξύ τους υπολογιστών και άλλων περιφερειακών συσκευών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Ένα δίκτυο υπολογιστών αποτελείται από :

Αυτόνομους υπολογιστές, κυκλώματα διασύνδεσης(μονάδες υλικού που εξασφαλίζουν την σύνδεση και την μεταφορά πληροφοριών μεταξύ υπολογιστών), φυσικό μέσο μετάδοσης από το οποίο θα περάσουν τα σήματα επικοινωνίας (καλώδια, ασύρματες διατάξεις, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα) και λογισμικό εφαρμογών δηλαδή προγράμματα εφαρμογών όπως προγράμματα λογιστικής διαχείρισης για μικροϋπολογιστή[1], [2], [3].

3.1 Είδη ασύρματων δικτύων

Ανάλογα με την γεωγραφική κάλυψη, τα δίκτυα χαρακτηρίζονται ως Τοπικά (LAN και WLAN), Μητροπολιτικά (MAN και WMAN), Κυψελωτά δίκτυα, Ευρείας κάλυψης (WAN και WWAN) και Προσωπικά (PAN και WPAN). Και ανάλογα με το φυσικό μέσο διασύνδεσής τους χαρακτηρίζονται ως ενσύρματα ή ασύρματα:

Η ενσύρματη επικοινωνία, περιλαμβάνει όλων των ειδών τις εναέριες, τις επίγειες ή τις υπόγειες συνδέσεις αυτού του είδους. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων αποτελούν όλα τα χάλκινα καλωδιακά δίκτυα, όπως επίσης και τα οπτικά δίκτυα. Η δομημένη καλωδίωση ενός κτιρίου ή εσωτερικού χώρου αφορά την καλωδίωση που χρειαζόμαστε για να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε δίκτυα τηλεφωνίας και δεδομένων Η/Υ.

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. 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 (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Επιπλέον, τα μεταφερόμενα δεδομένα συνήθως είναι αναλογικά και επομένως, δεν μπορούν να θεωρηθούν δίκτυα υπολογιστών.

Αναλυτικά τα είδη των ασύρματων δικτύων είναι:

3.1.1 Κυψελωτά δίκτυα(cell networks)

Τα κυψελωτά δίκτυα βασίζονται στην ιδέα της διαίρεση μιας μεγάλης γεωγραφικής περιοχής σε μικρότερες, που ονομάζονται κυψέλες (cells). Έτσι οι τηλεπικοινωνιακοί πομποί είναι μικρής ισχύος, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες συχνότητες σε μη γειτονικές κυψέλες. Η κάθε κυψέλη διαθέτει ένα σταθερό σταθμό βάσης. Τα πρώτα συστήματα κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας ήταν και αυτά αναλογικά που στη συνέχεια έγιναν ψηφιακά. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος με ευρεία χρήση σήμερα είναι το GSM (Global System for Mobile communications). Βασικό του στοιχείο είναι η μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακή και η μετάδοσή της σε συχνότητες γύρω στα 900 MHz, με κανάλια εύρους ζώνης 200 kHz.

3.1.2 Ασύρματα Προσωπικά δίκτυα(WPAN Wireless Personal Area Networks)

Τα προσωπικά δίκτυα είναι περιοριστικά δίκτυα κλειστής εμβέλειας που λειτουργούν ξεχωριστά από ένα σταθερό ή ασύρματο δίκτυο, δημιουργώντας ένα προσωρινό δίκτυο. Μπορεί κανείς πολύ εύκολα να ανταλλάξει αρχεία σε απρομελέτητες συσκέψεις, να εξοικονομήσει χρόνο για την εκτύπωση ενός εγγράφου, χωρίς να πρέπει να συνδεθεί σε ένα σταθερό ή ασύρματο δίκτυο και να έχει κοινόχρηστες πληροφορίες μεταξύ συσκευών με δυνατότητα bluetooth. Τα ατομικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να φιλοξενήσουν τη βάση δεδομένων, το πληροφοριακό σύστημα μιας επιχείρησης και τέλος να υποστηρίζουν την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των εργαζομένων

3.1.3 Ασύρματα τοπικά δίκτυα(WLAN, Wireless Local Area Networks)

Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα ή WLAN παρέχουν σύνδεση χωρίς καλώδια μεταξύ φορητών υπολογιστών, εκτυπωτών και του δικτύου ενός γραφείου μέσω ασύρματων σημείων πρόσβασης. Αυτός είναι ένας απλός τρόπος επέκτασης του δικτύου χωρίς την αναστάτωση και τα έξοδα εγκατάστασης πρόσθετης καλωδίωσης.

Υπάρχουν τέσσερα είδη καρτών για WLANS: PCI CARDS, PCMCIA cards, USB, Bridges. Τα είδη κεραιών που χρησιμοποιούνται είναι : Omnidirectional, Directional.

Η Omnidirectional είναι μία κεραία ιδανική για βελτιστοποίηση σήματος του ασύρματου δικτύου. Χρησιμοποιείται, δηλαδή για μεγαλύτερη εμβέλεια δικτύωσης. Η Directional ή beam antenna είναι μια κεραία η οποία εκπέμπει περισσότερη δύναμη προς πολλές κατευθύνσεις, που επιτρέπουν αυξημένη εκπομπή στη μετάδοση και στη λήψη σήματος αλλά και στη μείωσή ανεπιθύμητων πηγών.

3.1.4 Μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα(WMAN, Wireless Metropolitan Area Network)

Το μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο αναμένεται να αποτελέσει τον διάδοχο του WiFi, προσφέροντας την ίδια ευχρηστία, ασφάλεια και ευελιξία, επιτρέποντας όμως μεγαλύτερη εμβέλεια (της τάξεως των δεκάδων km) και πολύ υψηλότερες ταχύτητες. Η τεχνολογία του WiMAX είναι παρόμοια με αυτή του WiFi, όμως στοχεύει στην περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης της ασύρματης επικοινωνίας και στην επέκταση του τοπικού βρόγχου σε μια πιο εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή.

3.1.5 Ασύρματα Ευρείας Περιοχής δίκτυα (WWAN, Wireless Wide Area Networks)

Ως ασύρματο δίκτυο χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, συνήθως τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα ως φορείς πληροφορίας και καλύπτει μια ευρεία περιοχή. Ένα ασύρματο WAN είναι ένα δίκτυο ασύρματων υπηρεσιών που λειτουργεί πέρα από ένα κτίριο ή και τα όρια μιας πόλης και παρέχεται από κάποιον πάροχο υπηρεσιών. Σε ένα WAN, κάθε φορητή συσκευή επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης της υπηρεσίας παροχής.

3.2. Παραδείγματα ασύρματης δικτύωσης

3.2.1 Ad – hoc

Τα ad – hoc δίκτυα ανήκουν στην κατηγορία των ασύρματων δικτύων και αποτελούνται από κόμβους οι οποίοι μπορούν να κινούνται ενώ ο κάθε κόμβος είναι αρμόδιος να μεταφέρει δεδομένα στον επόμενο. Το ποιος θα είναι ο επόμενος κόμβος αποφασίζεται δυναμικά, ανάλογα με την σύνδεση του δικτύου. Αυτό είναι κάτι καινοτόμο καθώς στα ενσύρματα οι δρομολογητές αποφάσιζαν σε ποιον κόμβο πρέπει να σταλούν τα δεδομένα(routing). Ακόμα όμως και με τα ασύρματα υπάρχει μεγάλη διαφορά, γιατί και κει η δρομολόγηση των δεδομένων γίνεται με βάση κάποιο

access point(wap, wireless access point) το οποίο και ρυθμίζει την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων.

Το WAP είναι μια συσκευή που επιτρέπει στις ασύρματες επικοινωνιακές συσκευές να συνδέονται σε ένα ασύρματο δίκτυο χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες(wifi, Bluetooth, κ.τ.λ.). Συνήθως συνδέεται σε ένα ασύρματο δίκτυο και μεταφέρει δεδομένα μεταξύ των ασύρματων συσκευών όπως υπολογιστές και εκτυπωτές και των ενσύρματων συσκευών στο δίκτυο.

3.2.2 WiFi δίκτυα

Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα ανήκει και η τεχνολογία WiFi που αποτελεί μια νέα και αποτελεσματική λύση σύνδεσης υπολογιστών σε δίκτυα δεδομένων και συγκεκριμένα με το Διαδίκτυο από ιδιωτικές κατοικίες, δημόσιες περιοχές και οποιαδήποτε άλλη τοποθεσία, χωρίς καλώδια. Χάρη στη χρήση της ασύρματης τεχνολογίας, το Wi – Fi σύστημα ελαχιστοποιεί την ανάγκη για την εσωτερική καλωδίωση. Κάποιος που διαθέτει υπολογιστή, τηλέφωνο ή προσωπικό ψηφιακό βοηθό (PDA) εξοπλισμένο με WiFi μηχανισμό, μπορεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο. Το WiFi όμως, αν και αρκετά απλό στη χρήση, δεν έφερε την πραγματική επανάσταση, που όλοι περίμεναν και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιορισμένη εμβέλεια της κάλυψής του. Στην πραγματικότητα η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιήθηκε κυρίως για σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών και δρομολογητών (routers) σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους και όχι για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης στο Internet σε μια γεωγραφικά εκτεταμένη περιοχή. Με την εμβέλειά του να περιορίζεται στα 100μ. δεν θα μπορούσε φυσικά να περιμένει κανείς κάτι διαφορετικό[1].

3.2.3 WiMax

Το WiMAX (Worldwide Intero-perability for Microwave Access) έχει την ικανότητα να αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος των ήδη υπαρχόντων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Σε ένα σταθερό ασύρματο δίκτυο, το WiMAX μπορεί να πάρει την θέση των χάλκινων καλωδίων μιας τηλεφωνικής εταιρίας ή να αντικαταστήσει τα ομοαξονικά καλώδια καλωδιακής τηλεόρασης, προσφέροντας παράλληλα υπηρεσίες internet. Στην κινητή του μορφή, το WiMAX έχει την ικανότητα να αντικαταστήσει τα ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Το WiMAX είναι ένα πρότυπο σχεδιασμένο να παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε συνδυασμό με μεγάλη εμβέλεια. Πολλοί από τους περιορισμούς που θέτει το WiFi υπερνικούνται με το WiMAX όως είναι και το υψηλότερο εύρος ζώνης αλλά και η ισχυρότερη κρυπτογράφηση.

4. Τι είναι η ευρυζωνικότητα

Ο όρος "ευρυζωνικός" πρωτοεμφανίστηκε σε ερευνητικά εργαστήρια τηλεπικοινωνιών και χαρακτήριζε τηλεπικοινωνιακές γραμμές υψηλής ταχύτητας (δηλαδή γραμμές ευρείας ζώνης, σύμφωνα με το [2]). Σε αναλογία θα μπορούσαμε να σκεφτούμε ότι είναι ένας "ευρύς" δρόμος που επιτρέπει στα αυτοκίνητα να αναπτύξουν μεγαλύτερες ταχύτητες. Λέμε ότι μία τηλεπικοινωνιακή σύνδεση είναι ευρυζωνική εάν προσφέρει συνεχόμενη πρόσβαση στο Internet και έχει υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων προς το χρήστη ώστε ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε διαδραστικές υπηρεσίες πλούσιου περιεχομένου(φωνή, εικόνα και δεδομένα).

Στο παρελθόν, κάθε φορά που ήθελε κάποιος να συνδεθεί στο Διαδίκτυο έπρεπε να κάνει μια τηλεφωνική κλήση, «μπλοκάροντας» την τηλεφωνική γραμμή και χρεώνοντας το λογαριασμό του με το αντίστοιχο κόστος χρονοχρέωσης. Με την ευρυζωνική πρόσβαση, ο υπολογιστής βρίσκεται συνεχώς συνδεδεμένος στο Διαδίκτυο, χωρίς την ανάγκη τηλεφωνικής κλήσης. Δηλαδή, χωρίς επιπλέον χρέωση και χωρίς να απασχολεί κανείς την τηλεφωνική του γραμμή, όσο χρησιμοποιεί το Διαδίκτυο. Με την ευρυζωνική πρόσβαση οι ταχύτητες υπερδεκαπλασιάζονται. Μπορεί κανείς να «κατεβάσει» σε λίγα λεπτά ιστοσελίδες και αρχεία που παλαιότερα χρειαζόταν μερικές ώρες. Παράλληλα, μπορεί να αναπτύξει νέες δραστηριότητες, όπως είναι η παρακολούθηση ταινιών (video on demand), η πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων και κλήσεων βίντεο-τηλεφωνίας μέσω Διαδικτύου, καθώς και η εργασία από το σπίτι (τηλε-εργασία).

Όταν λέμε συνεχόμενη πρόσβαση στο Internet εννοούμε ότι η ευρυζωνική σύνδεση ενός Η/Υ με το διαδίκτυο παραμένει διαρκώς "ενεργή" ανεξάρτητα με το αν ο χρήστης τη χρησιμοποιεί ή όχι χωρίς κανένα επιπρόσθετο κόστος κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντική διαφοροποίηση από τις συνδέσεις Dialup και ISDN και συμβάλλει σημαντικά στην ευκολία σύνδεσης με το Διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση των συνδέσεων Dialup και ISDN, κάθε φορά που ο χρήστης θέλει να συνδεθεί στο Διαδίκτυο πρέπει να περάσει από μια διαδικασία σύνδεσης η οποία μπορεί να διαρκέσει μέχρι και 1 λεπτό. Κατόπιν υπάγεται σε χρονοχρέωση που σημαίνει ότι χρεώνεται με κάποιο ποσό ανάλογα με το χρόνο στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Όταν τέλος ο χρήστης δε χρειάζεται τη σύνδεση, πρέπει να την τερματίσει ο ίδιος ώστε να διακοπεί η χρέωσή του και να απελευθερώσει τη γραμμή του τηλεφώνου. Η σύνδεση μέσω Dialup και ISDN επομένως επιβάλλοντας την ανάγκη ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της

σύνδεσης δυσχεραίνει σημαντικά την άμεση χρήση και διαθεσιμότητα του Διαδικτύου για την ανάκτηση πληροφορίας.

Η ευρυζωνική σύνδεση απελευθερώνει το χρήστη από τη διαδικασία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης. Ο Η/Υ βρίσκεται συνεχώς συνδεδεμένος στο διαδίκτυο και ο χρόνος σύνδεσης δεν επηρεάζει το κόστος. Μία συνήθης DSL ευρυζωνική σύνδεση στο Διαδίκτυο, ταχύτητας 1 Mbps, κοστίζει σήμερα λιγότερο από 70 λεπτά του ευρώ την ημέρα. Έτσι η άμεση χρήση του διαδικτύου για την ανάκτηση έστω και της πιο μικρής πληροφορίας γίνεται απλή και γρήγορη.

Επίσης όταν αναφερόμαστε σε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων εννοούμε την ταχύτητα των δεδομένων. Η ταχύτητα της ευρυζωνικής σύνδεσης συνήθως ορίζεται από δύο αριθμούς. Ο πρώτος αναφέρεται στην ταχύτητα λήψης πληροφορίας (ρυθμός καθόδου- μεταφράζεται στο χρόνο που χρειάζεται για να λάβει κάποιος κείμενο, εικόνα, ήχο από το διαδίκτυο) και ο δεύτερος στην ταχύτητα αποστολής αυτής (ρυθμός ανόδου- μεταφράζεται στο χρόνο που χρειάζεται για να στείλει κάποιος ένα κείμενο, εικόνα, ήχο σε κάποιον άλλο υπολογιστή στο διαδίκτυο).

Ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας ανοίγει νέους ορίζοντες στην επικοινωνία μέσω του Διαδικτύου. Η ευρυζωνική σύνδεση επιτρέπει την αποστολή εικόνας video και ήχου σε πραγματικό χρόνο. Λέμε ότι μια οποιαδήποτε μετάδοση συμβαίνει σε πραγματικό χρόνο όταν για παράδειγμα μια λήψη Video ή μια συνέντευξη αποστέλλεται στο διαδίκτυο τη στιγμή που λαμβάνεται. Ο όρος αποτελεί το αντίστοιχο της "ζωντανής" μετάδοσης στη τηλεόραση-ραδιόφωνο. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την επικοινωνία χρηστών σε πραγματικό χρόνο (όπως στο τηλέφωνο) χωρίς επιπρόσθετο κόστος με ταυτόχρονη μάλιστα αποστολή "ζωντανής" εικόνας των συνομιλητών. Επιτρέπει επίσης την προβολή μέσω αυτής "ζωντανών" τηλεοπτικών προγραμμάτων και εκπομπών[4].

4.1 Δυνατότητες παροχής ευρυζωνικής πρόσβασης

1) Πρόσβαση DSL : Η πρόσβαση DSL φέρνει το Διαδίκτυο στο σπίτι ή το γραφείο, μέσα από την κοινή τηλεφωνική γραμμή. Στην πράξη η τηλεφωνική γραμμή χωρίζεται σε δύο τμήματα, όπως ακριβώς ένας αυτοκινητόδρομος μπορεί να χωρισθεί σε λωρίδες κυκλοφορίας. Το ένα τμήμα συνεχίζει να εξυπηρετεί τις τηλεφωνικές κλήσεις, όπως πάντα, ενώ το άλλο τμήμα παρέχει γρήγορη και συνεχή πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

2) Πρόσβαση μέσα από δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς : Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3ης Γενιάς, προσφέρουν ευρυζωνική πρόσβαση όπου και αν βρίσκεται κανείς, στο σπίτι, το γραφείο ή το δρόμο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μία μικρή συσκευή που συνδέεται στον υπολογιστή και λειτουργεί

όπως το κινητό τηλέφωνο. Αλλά αντί για τηλεφωνικές κλήσεις, παρέχει σύνδεση στο Διαδίκτυο σε υψηλές ταχύτητες. Αν η εργασία απαιτεί συχνές μετακινήσεις και χρειάζονται ανά πάσα στιγμή πρόσβαση σε υπηρεσίες Διαδικτύου, όπως ηλεκτρονική αλληλογραφία, η σύνδεση αυτή, λύνει τα χέρια.

3) Πρόσβαση Wi-Fi : Τα δίκτυα Wi-Fi παρέχουν ασύρματη σύνδεση στο Διαδίκτυο όταν βρίσκεται κανείς σε δημόσιους χώρους (ξενοδοχεία, εστιατόρια, αεροδρόμια, ακόμη και πλατείες). Το μόνο που χρειάζεται είναι ένας φορητός υπολογιστής εφοδιασμένος με ασύρματο modem. Όταν βρίσκεται κοντά σε ένα hot-spot (δηλαδή σε μία περιοχή όπου λειτουργεί δίκτυο Wi-Fi), ο υπολογιστής εντοπίζει το δίκτυο και, εφόσον επιθυμεί ο χρήστης, συνδέεται σε αυτό. Η σύνδεση αυτή μπορεί να είναι δωρεάν ή έναντι πληρωμής.

4) Άλλες δυνατότητες ευρυζωνικής πρόσβασης : Άλλες δυνατότητες, λιγότερο διαδεδομένες, είναι η δορυφορική πρόσβαση, τα δίκτυα οπτικών ινών, τα δίκτυα σταθερής ασύρματης πρόσβασης, τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα(WiMax), κλπ.[4]

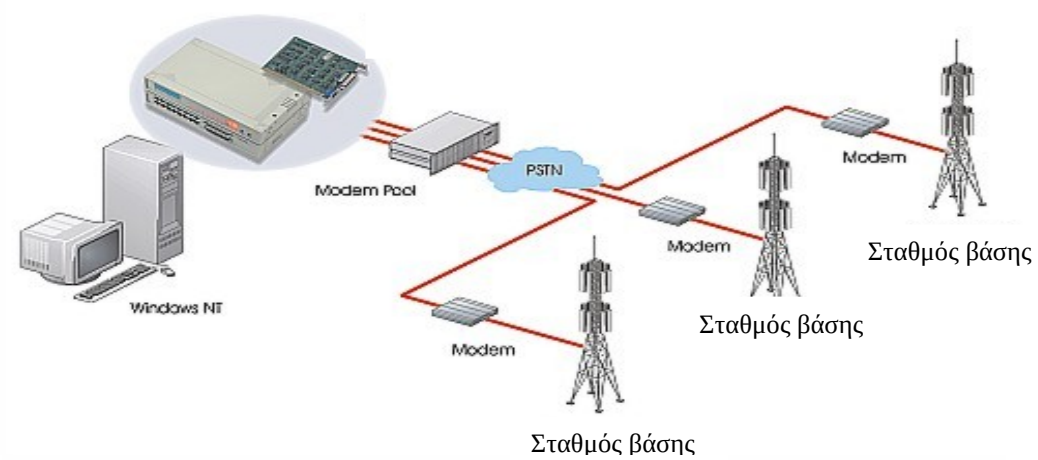
5. Ασύρματη Πρόσβαση Ευρείας Ζώνης(Wireless broadband access, WBA)

Εδώ ασχολούμαστε με την τέταρτη δυνατότητα ευρυζωνικής πρόσβασης που έχει να κάνει με την ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης. Τα τελευταία χρόνια, η περιοχή των επικοινωνιών δεδομένων ευρείας ζώνης υπέστη πολύ μεγάλη ανάπτυξη. Ο όρος “ευρείας ζώνης” χρησιμοποιείται συνήθως για να καταδείξει τη δυνατότητα μεταφοράς σημαντικού εύρους ζώνης σε κάθε χρήστη. Ακολουθώντας την ορολογία της ITU(International Telecommunication Union**)**, ο όρος “ευρεία ζώνη” σημαίνει ρυθμοί μετάδοσης μεγαλύτεροι από 1.5 Mb/s. Για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι γνωστό ότι οι κύριες τεχνολογίες για το internet ευρείας ζώνης είναι το DSL, η καλωδιακή και η ασύρματη τεχνολογία και οι επικοινωνίες οπτικών ινών[7].

Οι επικοινωνίες οπτικών ινών παρέχουν πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά το κόστος της εγκατάστασης είναι εξαιρετικά υψηλό, άρα λόγω του κόστους δεν θα μπορέσουν ποτέ να εξελιχθούν τόσο ώστε να ανταγωνιστούν τα συστήματα ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης. Τα τελευταία είναι ικανά να μεταφέρουν πολύ υψηλότερους ρυθμούς από το καλώδιο και το DSL, χωρίς να βρίσκεται ο πελάτης κοντά στα γραφεία της τηλεφωνικής εταιρείας, όπως στο DSL.

Επίσης, συγκρινόμενη με τα δίκτυα DSL και καλωδίου, η χρήση των ασύρματων τεχνικών έχει ως αποτέλεσμα ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων για τους χρήστες και τους παρόχους των υπηρεσιών. Για τους παρόχους υπηρεσιών, αυτά τα πλεονεκτήματα συμπεριλαμβάνουν σχετικά χαμηλού κόστους εξοπλισμό. Για τους χρήστες, τα οφέλη περιλαμβάνουν την ευκολία μιας ασύρματης σύνδεσης.

Η αρχιτεκτονική των δικτύων ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης σε σταθερά συστήματα περιλαμβάνει τουλάχιστον έναν σταθμό βάσης (Base Station, BS) και έναν αριθμό σταθμών υπηρεσίας (subscriber stations, SS).



Σχ.5.1 Απεικόνιση λειτουργίας Base Station

Ένας σταθμός βάσης σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι ένας ραδιοπομπός ή ραδιολήπτης ο οποίος υπηρετεί όπως το hub σε ένα τοπικό ασύρματο δίκτυο και μπορεί επίσης να αποτελέσει τη δίοδο μεταξύ ενός ενσύρματου και ενός ασύρματου δικτύου. Αποτελείται από ένα χαμηλής ενέργειας αναμεταδότη και από ένα ασύρματο router. Από την άλλη ο σταθμός υπηρεσίας αναφέρεται σε ένα γενικό εξοπλισμό που παρέχει σύνδεση μεταξύ του ενδιάμεσου και του σταθμού βάσης σε ένα ασύρματο δίκτυο. Επίσης, πιθανόν να υπάρχουν ζεύξεις μεταξύ των σταθμών βάσης, επαναλήπτες και πιθανόν άλλος εξοπλισμός. Οι σταθμοί βάσης παρέχουν συνδέσεις στα κύρια δίκτυα (core networks) από τη μία πλευρά και συνδέσεις με τους σταθμούς υπηρεσίας από την άλλη.

Τα σταθερά συστήματα ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης έχουν αρχιτεκτονικές πολλαπλών σημείων (multipoint architectures). Ο όρος multipoint περιλαμβάνει point-to-multipoint (PMP) και multipoint-to-multipoint (MP-MP). Τα συστήματα PMP περιλαμβάνουν σταθμούς βάσης, σταθμούς υπηρεσίας και σε μερικές περιπτώσεις, επαναλήπτες. Στο uplink, δηλαδή κατά την αποστολή σήματος από το τερματικό στο σταθμό βάσης, ο αποστολέας είναι ο σταθμός υπηρεσίας και ο παραλήπτης είναι ο σταθμός βάσης. Στο downlink, αντίστοιχα, ο αποστολέας είναι ο σταθμός βάσης και ο παραλήπτης ο σταθμός υπηρεσίας. Οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν κεραίες σχετικά μεγάλης δέσμης, χωρισμένη σε έναν ή περισσότερους τομείς, παρέχοντας κάλυψη 360μ με μία ή περισσότερες κεραίες. [2]

Για να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη μιας περιοχής, μπορεί να χρειαστούν περισσότεροι του ενός σταθμοί βάσης. Η σύνδεση μεταξύ των σταθμών βάσης δεν είναι μέρος του σταθερού συστήματος ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης. Η σύνδεση επιτυγχάνεται από τη χρήση των ραδιοζεύξεων, καλωδίων οπτικών ινών ή αντίστοιχων μέσων. Η δρομολόγηση στον κατάλληλο σταθμό βάσης είναι μια

συνάρτηση του κύριου δικτύου. Γενικά, οι σταθμοί υπηρεσίας χρησιμοποιούν πολύ κατευθυντικές κεραίες προς το σταθμό βάσης και μοιράζονται τη χρήση του καναλιού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλες μεθόδους πρόσβασης, όπως διαμοιρασμός συχνότητας, διαμοιρασμός χρόνου ή διαμοιρασμός κώδικα(βλέπε παράρτημα β). Μερικά συστήματα χρειάζονται και επαναλήπτες. Σε ένα PMP σύστημα, οι επαναλήπτες γενικά χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την κάλυψη σε τοποθεσίες όπου οι σταθμοί βάσης δεν έχουν οπτική επαφή στις περιοχές τοπικής κάλυψης, ή, εναλλακτικά να επεκτείνουν την κάλυψη ενός συγκεκριμένου σταθμού βάσης πέρα από τη συνηθισμένη ακτίνα εκπομπής του.

Ο επαναλήπτης μεταφέρει την πληροφορία από ένα σταθμό βάσης σε έναν ή πολλούς σταθμούς υπηρεσίας. Μπορεί να λειτουργεί στις ίδιες συχνότητες downlink, όπως αυτές που χρησιμοποιεί, κοιτώντας το σταθμό βάσης, ή μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες. Τα MP- MP ή mesh συστήματα έχουν την ίδια λειτουργικότητα, όπως τα PMP συστήματα. Στα MP-MP συστήματα, η κυκλοφορία μπορεί να περάσει μέσω ενός ή πολλών επαναληπτών ώστε να φτάσει στο σταθμό υπηρεσίας. Οι κεραίες είναι συνήθως κατευθυντικές, τύπου στενής δέσμης με τρόπους για απομακρυσμένη χρήση.

Ένα δίκτυο ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης παρέχει σύνδεση σε πολλές κατοικίες χρηστών μέσα σε μια περιοχή εντός του φάσματος συχνοτήτων. Παρέχει μία ποσότητα εύρους ζώνης, η οποία μοιράζεται αυτόματα σε όλους τους χρήστες. Η ζήτηση από διαφορετικούς χρήστες είναι συχνά στατιστικά μικρής συσχέτισης, επιτρέποντας το δίκτυο να μεταφέρει σημαντικό εύρος ζώνης-σε-ζήτηση (bandwidth-on-demand) σε πολλούς χρήστες με ένα υψηλό επίπεδο διαθεσιμότητας φάσματος. Γίνεται επίσης σημαντική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Το εύρος των εφαρμογών είναι πολύ ευρύ και εξελίσσεται γρήγορα. Περιλαμβάνει φωνή, δεδομένα και υπηρεσίες ψυχαγωγίας κάθε είδους.

Ο κάθε πελάτης μπορεί να απαιτεί μια διαφορετική ποικιλία από υπηρεσίες. Αυτή η ποικιλία πιθανόν να αλλάζει γρήγορα καθώς οι συνδέσεις εγκαθίστανται ή τερματίζονται. Η ροή της κυκλοφορίας μπορεί να είναι μονοκατευθυντική, ασύμμετρη ή συμμετρική, αλλάζοντας ξανά με τον καιρό. Σε μερικές περιοχές, τα συστήματα που μεταφέρουν αυτές τις υπηρεσίες αναφέρονται ως Ασύρματα Συστήματα Πολυμέσων (Multimedia Wireless Systems, MWS) ώστε να αναδεικνύουν την σύγκλιση μεταξύ των παραδοσιακών τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και των υπηρεσιών ψυχαγωγίας[2].

6. Πρότυπα - Πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα

Πριν προχωρήσουμε στα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα, θα γίνει μια αναφορά στην IEEE και πιο συγκεκριμένα μια σύντομη αναδρομή στα πρωτόκολλα του Working Group 802 της IEEE. Το IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers, Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών μηχανικών) είναι ο μεγαλύτερος τεχνολογικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός παγκοσμίως. Ιδρύθηκε το 1884 από καινοτόμους μηχανικούς της εποχής, μεταξύ των οποίων οι Alexander Graham Bell και Thomas Edison. Σκοπός του είναι η προώθηση της επιστήμης και της τεχνολογικής καινοτομίας σε τομείς όπως της Μηχανικής, των Τηλεπικοινωνιών και της Πληροφορικής.

Η IEEE αποτελεί ένα ανοιχτό σώμα ανάπτυξης πρωτοκόλλων. Πριν ένα IEEE πρωτόκολλο υιοθετηθεί, ζητείται από εταιρείες, που είναι γνωστό ότι διαθέτουν απαραίτητες «πατέντες» πνευματικής ιδιοκτησίας, μια επιβεβαίωση ότι η εν λόγω εταιρεία είτε δε θα ενδυναμώσει κάποια από τις τωρινές είτε τις μελλοντικές πατέντες της (ή μέρος τους) εμποδίζοντας κάποια άλλη εταιρεία, είτε ότι θα διαθέσει άδειες με αποζημίωση ή σε λογικές τιμές σε διάφανη βάση. Δεν υπάρχει εγγύηση από την IEEE ότι ένα πρωτόκολλο δεν παραβιάζει την πνευματική περιουσία τρίτων, ακόμη και αν οι τρίτοι αυτοί δε θέλουν να μοιραστούν τα πνευματικά δικαιώματα.

Τα πρωτόκολλα επιτρέπουν εξοπλισμό από διαφορετικές εταιρείες να συνεργάζονται σε ένα δίκτυο. Αποτελούν δηλαδή συμφωνίες μεταξύ των εταιρειών ημιαγωγών και τεχνολογίας, κατασκευαστών εξοπλισμού και παροχών υπηρεσιών. Δηλαδή οι μεγάλοι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών θέλουν να έχουν την επιλογή της αγοράς εξοπλισμού από πολλαπλούς προμηθευτές και όχι από μία μόνο εταιρεία. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που οι μεγάλες αγορές δεν είναι εφικτές χωρίς τα πρωτόκολλα.[2]

Ειδικότερα στην IEEE, τα πρωτόκολλα για τις επικοινωνίες δεδομένων αναπτύσσονται από την κοινότητα IEEE 802, που αποκαλείται επίσης και Επιτροπή Πρωτοκόλλων Τοπικών και Μητροπολιτικών Δικτύων (Local and Metropolitan Area Networks Standards Committee – LMSC) και χορηγείται από την IEEE Computer Society. Η IEEE 802 έχει την ευθύνη της ανάπτυξης και συντήρησης παγκοσμίων πρωτοκόλλων και προτεινόμενων πρακτικών για επικοινωνίες υπολογιστών.

Μέχρι και αρκετά χρόνια πριν, δεν υπήρχε κανένα πρωτόκολλο για ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων. Η ολική αγορά ήταν μικρή και κυριαρχούμενη από αρκετές τεχνολογίες που ανήκαν σε ιδιώτες. Η δραματική αύξηση της αγοράς

είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα της ανάγκης αρκετών πρωτοκόλλων, όπως τα IEEE 802.11a, 802.11b και 802.11g. Τα πρωτόκολλα δημιουργούν μαζικές αγορές για εξοπλισμό, πράγμα που σημαίνει ύπαρξη μεγαλύτερου ανταγωνισμού μεταξύ των εταιρειών, με αποτέλεσμα τις χαμηλότερες τιμές.

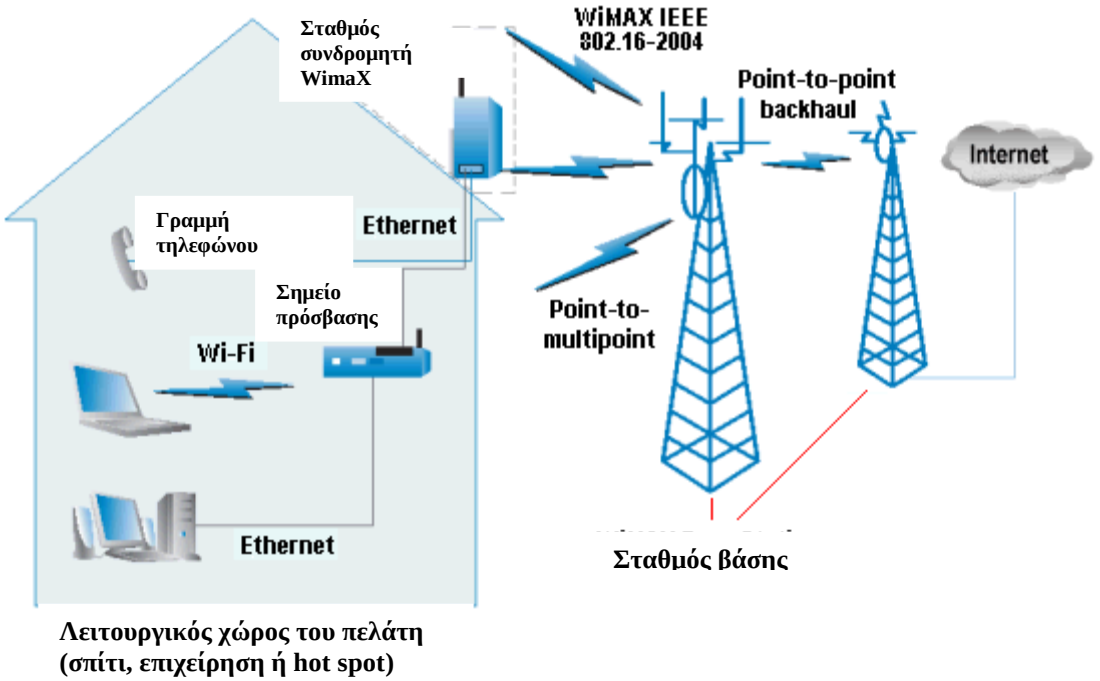
Στη δεκαετία του '90 δραστηριοποιήθηκε η ομάδα εργασίας του 802.11 με εντυπωσιακά αποτελέσματα, καθώς ήταν το πρώτο πρωτόκολλο με τόσο μεγάλη απήχηση στον κόσμο και φυσικά την αγορά της ασύρματης τεχνολογίας. Η τεχνολογία, όμως, δε μένει στάσιμη αλλά εξελίσσεται και μαζί της και τα πρωτόκολλα. Εφόσον το εμπορικό ενδιαφέρον ήταν μεγαλύτερο από ποτέ άλλοτε σχετικά με τις ασύρματες τεχνολογίες, το 1999 δύο ακόμα ομάδες εργασίες δημιουργήθηκαν. Η IEEE 802.15 που δραστηριοποιήθηκε στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα και η IEEE 802.16 που δραστηριοποιήθηκε στα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα και στη λεγόμενη ασύρματη κάλυψη ευρείας ζώνης. Η συμμετοχή στις ομάδες αυτές είναι ανοιχτή σε όποιον θέλει να συμμετάσχει με οποιονδήποτε ωφέλιμο τρόπο. Δεν επιτρέπεται σε εταιρείες να συμμετέχουν. Μόνο μεμονωμένα πρόσωπα δύναται να ψηφίσουν και να αποφασίσουν.

Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) που είχαν ως σκοπό να επεκτείνουν το 802.3 (Ethernet, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης υπολογιστών) στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα 802.11 είναι ευρύτερα γνωστά ως «WiFi» («ασύρματη πιστότητα») επειδή η WiFi Alliance, ένας οργανισμός ανεξάρτητος της IEEE, παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που υπακούν στις προδιαγραφές του 802.11. Ο όρος WiFi (Wireless Fidelity, κατά την ορολογία High Fidelity η οποία αφορά την εγγραφή ήχου) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 b/g και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz. Συνήθεις εφαρμογές του είναι η παροχή ασύρματων δυνατοτήτων πρόσβασης στο Internet, τηλεφωνίας μέσω διαδικτύου και διασύνδεσης μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών όπως τηλεοράσεις, ψηφιακές κάμερες, DVD Player και ηλεκτρονικοί υπολογιστές. [2]

Το πρότυπο IEEE 802.15 είναι και αυτό μια οικογένεια προτύπων που εξειδικεύονται κυρίως στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα WPAN. Κυρίως είναι γνωστά στο ευρύ κοινό από το Bluetooth για τη μεταφορά φωτογραφιών από ψηφιακές κάμερες σε υπολογιστές για περαιτέρω επεξεργασία και εκτύπωση.

Η εμπορική επιτυχία των 802.11 και 802.15, όπως και οι εργασίες για το 802.16 έχουν αναδείξει την IEEE το πλέον αναγνωρίσιμο σώμα δημιουργίας ασύρματων πρωτοκόλλων. Το πρότυπο 802.16(wimax) αναφέρεται παρακάτω αναλυτικά.

7. Εισαγωγή στα WIMAX – πρότυπο IEEE 802.16



Σχ.7.1 Τυπικό δίκτυο WiMax

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάντα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ως και 72 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps.

Η IEEE 802.16 ομάδα εργασίας αναπτύσσει πρότυπα που εξετάζουν δύο τύπους μοντέλων χρήσης: ένα σταθερό πρότυπο χρήσης (802.16-2004) και ένα φορητό πρότυπο χρήσης (802.16e). Το WiMAX έχει ως σκοπό να εξετάσει τις προκλήσεις που συνδέονται με τις παραδοσιακές εφαρμογές σύνδεσης μέσω καλωδίου όπως[2], [6]:

- **Backhaul:** Χρήση point-to-point κεραιών για να συνδέσει όλες τις περιοχές συνδρομητών μεταξύ τους και με τους σταθμούς βάσεων σε μεγάλες αποστάσεις.
- **Last mile:** Χρήση Point-to-multipoint κεραιών για να συνδέσει τους οικιακούς ή επαγγελματικούς συνδρομητές με το σταθμό βάσεως.

- **Κάλυψη ευρείας περιοχής:** Χρήση σταθμών βάσης, σταθμών συνδρομητών, και λύσεις Wi-Fi όπως τα δίκτυα πλέγματος, για να καλύψει μια μεγάλη περιοχή και να παρέχει πρόσβαση στους πελάτες.

7.1 Υποπρότυπα IEEE 802.16

7.1.1 IEEE 802.16 a

Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία του υποπροτύπου IEEE 802.16 a. Τον Ιανουάριο του 2003 το πρότυπο επεκτάθηκε ώστε να λειτουργεί και στις συχνότητες από 2-11 GHz όπου στις συχνότητες αυτές ήταν δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού - δέκτη. Το υποπρότυπο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία αυτή ονομάστηκε IEEE 802.16 a. Τα πρώτα προϊόντα WiMAX τα οποία σήμερα είναι διαθέσιμα στην αγορά ακολουθούν στην μεγαλύτερή τους πλειοψηφία το υποπρότυπο αυτό[4].

7.1.2 IEEE 802.16 b

Το πρότυπο 802.16b ήταν από τα πρώτα που δημιουργήθηκαν. Η δημιουργία του υποπροτύπου αυτού στόχευε στις εφαρμογές εκτός νόμιμης (licensed) περιοχής στις συχνότητες 5-6GHz. Το 802.16b παρέχει QoS διαβεβαιώνοντας ότι θα υπάρχει προτεραιότητα στη μετάβαση πραγματικού χρόνου εικόνας και ήχου καθώς επίσης παρέχει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσίας σε διαφορετικού τύπου μετακίνηση δεδομένων.

7.1.3 IEEE 802.16 c

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην αρχική του έκδοση το πρότυπο IEEE 802.16 λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz. Στις παραπάνω συχνότητες η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών επιτυγχάνεται μόνο όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται στο υποπρότυπο IEEE 802.11 c.

7.1.4 IEEE 802.16 d.

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να

ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16 d.

7.1.5 IEEE 802.16 e

Το υποπρότυπο IEEE 802.16 e εισάγει και περιγράφει την έννοια της κινητικότητας των χρηστών από ένα base station σε άλλο. Στο υποπρότυπο αυτό ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και αν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120 Km / h . Ωστόσο η παραπάνω τιμή είναι ενδεικτική - πειραματική, καθώς μέχρι τη στιγμή αυτή δεν υπάρχει κάποιο διαθέσιμο προϊόν στην αγορά συμβατό με το IEEE 802.16 e υποπρότυπο που να πιστοποιεί την προαναφερθείσα τιμή.

7.1.6 IEEE 802.16-2004

Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.11 a, c, d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπροτύπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66 GHz. Το πρότυπο IEEE 802.26-2004 ορίζει την επικοινωνία χρηστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε ένα κελί το οποίο καλύπτεται από ένα base station. Όταν κάποιος χρήστης κινηθεί σε περιοχή που βρίσκεται εκτός περιοχής κάλυψης του base station η σύνδεση χάνεται.

7.1.7 IEEE 802.16e-2005

Αποτελεί εξέλιξη του IEEE 802.16e. Οι συσκευές και τα δίκτυα Mobile WiMAX υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών. Τα προφίλ του Mobile WiMAX βασίζονται στην τεχνολογία IEEE 802.16e-2005 και υποστηρίζουν κινητές, νομαδικές και σταθερές υπηρεσίες. Τα πρώτα προϊόντα κινητού WiMAX στην περιοχή συχνοτήτων 2.6GHz πήραν πιστοποίηση από το WiMAX Forum το 2 και 3ο τρίμηνο του 2008 και την συγκεκριμένη χρονική στιγμή πάνω από 30 προϊόντα έχουν πετύχει πιστοποίηση για την περιοχή συχνοτήτων 2.6GHz και είναι διαθέσιμα τώρα. Εκτός από την φορητότητα των χρηστών και το καλύτερο εύρος συχνοτήτων που υποστηρίζει, παρέχει και πολύ καλούς μηχανισμούς ασφαλείας, προδιαγραφές QoS και λειτουργία σε συνθήκες μη οπτικής επαφής.

7.2 Δίκτυα WiMAX σταθερής πρόσβασης

Το πρότυπο 802.16-2004 σχεδιάστηκε για σταθερή πρόσβαση(fixed) και είναι βασισμένο στην έκδοση του προτύπου IEEE 802.16. Αυτό το πρότυπο αναφέρεται επίσης ως "fixed Wireless" επειδή χρησιμοποιεί μια τοποθετημένη κεραία στον τόπο

του συνδρομητή. Η κεραία τοποθετείται σε μια στέγη παρόμοια με ένα δορυφορικό πιάτο τηλεόρασης. Το 802.16-2004 επίσης εξετάζει τις εσωτερικές εγκαταστάσεις, (indoor installations) οπότε σ 'αυτή την περίπτωση μπορεί να μην είναι τόσο σταθερό όσο στις υπαίθριες εφαρμογές. Το 802.16-2004 πρότυπο βελτιώνει την χρήση last-mile σε διάφορες βασικές πτυχές[2], [5]:

- Παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών (Multi-path interference)
- Καθυστέρηση διάδοσης (Delay spread)
- Στιβαρότητα (Robustness)

Η παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών και η καθυστέρηση διάδοσης βελτιώνουν την απόδοση σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή μεταξύ του σταθμού βάσεως και του σταθμού συνδρομητή.

Το αναπτυσσόμενο στρώμα MAC του πρωτοκόλλου 802.16-2004 βελτιστοποιείται για τις συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων επειδή έχει σχεδιαστεί να ανέχεται μεγαλύτερες καθυστερήσεις και μεταβολές καθυστέρησης. Ο WiMAX εξοπλισμός που λειτουργεί στις μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων θα χρησιμοποιεί TDD ενώ ο εξοπλισμός που λειτουργεί στις αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων θα χρησιμοποιεί είτε TDD είτε FDD.

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point-to-Multipoint (PTM) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath) ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί. Αρκετοί προμηθευτές που έχουν ασχοληθεί με εξοπλισμό για ευρείας ζώνης ασύρματη πρόσβαση, έχουν εκδηλώσει το ενδιαφέρον τους για το WiMAX και έτσι δραστηριοποιούνται στην κατασκευή προϊόντων συμβατών με το εν λόγω πρότυπο.

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του:

• **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας** : Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.

• **Broadband on Demand :** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.

• **Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας**: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

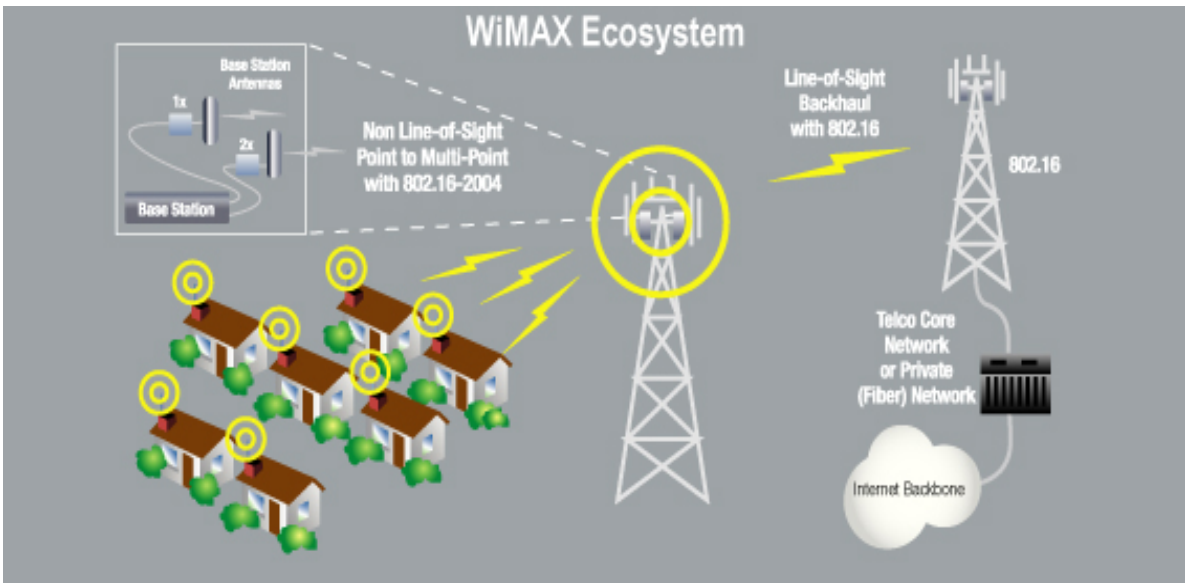
Οι ταχύτητες μετάδοσης του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort (καλύτερης δυνατής προσπάθειας) σε χρήστες που καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης, κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει.

Την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου ο Triple DES. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγόριθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit. Ο "κλασικός" αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple - DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά.

8. Αρχιτεκτονική του δικτύου WiMax

Οι βασικές δομικές μονάδες ενός συστήματος WiMAX είναι ο σταθμός βάσης (BS ή Base Station), οι κεραίες, που αναλαμβάνουν τη διανομή του σήματος ανά γεωγραφική περιοχή και ο σταθμός του συνδρομητή (SS ή Subscriber Station). Ο σταθμός βάσης διαχειρίζεται όλα τα αιτήματα των SS για πρόσβαση στο δίκτυο και είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση των δεδομένων σε άλλο BS ή στο κεντρικό δίκτυο του παροχέα (backbone), αλλά και για τον χρονοπρογραμματισμό της μετάδοσης των δεδομένων (scheduling). Δηλαδή ότι περίπου κάνει ο router σε ένα απλό δίκτυο, που είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία των κόμβων. Ένας SS μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς χρήστες και με κατάλληλους μηχανισμούς να αντιστοιχίζει τα αιτήματα και τις αποκρίσεις από το BS σε κάθε χρήστη[2], [8].

Η αποστολή δεδομένων από το σταθμό βάσης στο χρήστη γίνεται με μία Point-to-Multipoint (PMP) σύνδεση χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση της Point-to-Point, ανάλογα από το αν οι δύο σταθμοί έχουν οπτική επαφή ή από το πόσοι κόμβοι υπάρχουν. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένας σταθμός υπηρεσίας στο δίκτυο, ο σταθμός βάσης του WiMAX θα επικοινωνεί με το σταθμό υπηρεσίας με μία Point-to-Point σύνδεση. Ένας σταθμός βάσης που πραγματοποιεί Point-to-Point σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιεί κεραία στενότερης δέσμης ώστε να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις.



Εικόνα. 8.1 Συνδέσεις WiMax

Συνήθως ένας σταθμός βάσης επικοινωνεί με άλλους σταθμούς συνδρομητών, οι οποίοι προσφέρουν πρόσβαση σε κτίρια (γραφεία ή κατοικίες όπως φαίνεται και

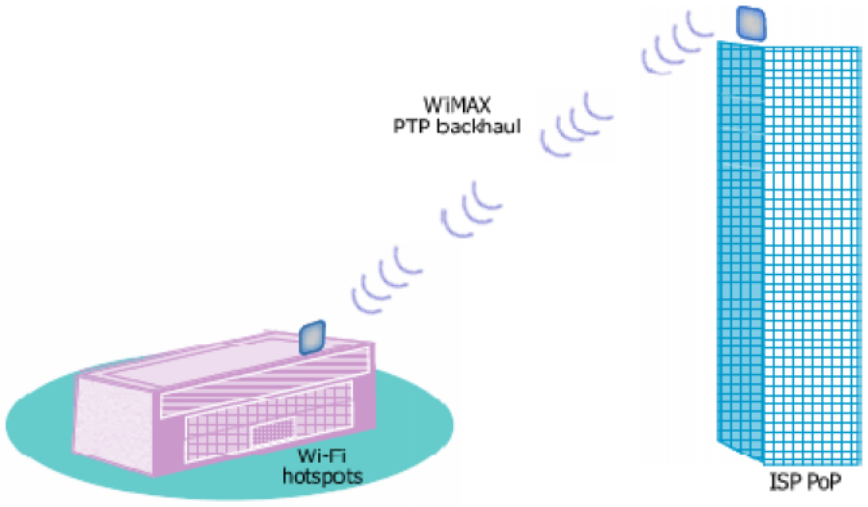
στην παραπάνω εικόνα). Μέσα στην ακτίνα εμβέλειας, η χωρίς οπτική επαφή επίδοση είναι βέλτιστη. Με διαμοιραζόμενους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 75 Mbps, ένας απλός σταθμός βάσης μπορεί να παρέχει επαρκές εύρος ζώνης για να καλύψει 60 επιχειρήσεις και εκατοντάδες σπίτια με ρυθμούς σύνδεσης ανάλογους με το DSL, χρησιμοποιώντας 20 MHz εύρους κανάλια.

Μπορεί να ακούγεται πολύπλοκο αλλά στην πράξη είναι απλό. Για να συνδεθεί ένας χρήστης σ' ένα δίκτυο WiMax αρκεί να εγκαταστήσει στο χώρο του τον απαραίτητο εξοπλισμό, ο οποίος μπορεί να είναι ένας απλός υπολογιστής με υποστήριξη WiMax ή ένας WiMax router όταν η σύνδεση θα μοιράζεται και σε άλλους υπολογιστές. Από κει και πέρα τα πράγματα είναι απλά και δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνονται κάθε φορά.

Ένας πάροχος internet εγκαθιστά ένα σταθμό βάσης WiMAX 10 χιλ. από το σπίτι του πελάτη. Ο χρήστης με την σειρά του ενεργοποιεί την ασύρματη σύνδεση WiMAX στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το διαθέσιμο δίκτυο εντοπίζεται και αναφέρεται ως εντός εμβέλειας. Ο χρήστης πληκτρολογεί ένα κλειδί εισόδου, το οποίο του έχει γνωστοποιηθεί από τον παροχέα υπηρεσιών διαδικτύου (ISP), το οποίο αποτελεί έναν κωδικό κρυπτογράφησης που δίνει πρόσβαση στο σταθμό βάσης. Η σύνδεση ολοκληρώνεται με επιτυχία και ο χρήστης είναι έτοιμος να πλοηγηθεί στο Internet. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει δεδομένα από το internet στον υπολογιστή με μηνιαία πληρωμή. Το κόστος όμως είναι πολύ χαμηλότερο από τα τρέχοντα δεδομένα, καθώς ο πάροχος δεν είχε τα έξοδα εγκατάστασης καλωδίων.

Ο χρήστης βέβαια μπορεί να επικοινωνεί με έναν ενδιάμεσο σταθμό ή με τον σταθμό βάσης και ανάλογα θα χρησιμοποιείται και η κατάλληλη σύνδεση όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Η Point-to-Point σύνδεση έχει πολύ απλή τοπολογία, τόσο που δεν χρειάζεται να αναλυθεί περαιτέρω καθώς υπάρχει άμεση επικοινωνία μεταξύ των δύο σημείων όπως φαίνεται και παρακάτω στην εικόνα(και σύμφωνα με τα [2], [8]) :



Εικόνα 8.2 point-to-point σύνδεση.

Όμως σε άλλες περιπτώσεις χρειάζονται να αναπτυχθούν ειδικές τοπολογίες. Εδώ αναφέρουμε δύο: την τοπολογία διανομής πολλαπλών σημείων και την τοπολογία πολυγωνικής δικτύωσης.[5]

8.1 Τοπολογία διανομής πολλαπλών σημείων(multipoint topology)

Η κατερχόμενη ζεύξη(δηλαδή το downlink) από το σταθμό βάσης (BS) στο χρήστη, στηρίζεται σε μια point-to-multipoint (PMP) σύνδεση. Για να μην υπάρχουν ασάφειες, η κατερχόμενη ζεύξη είναι η διαδρομή του σήματος από τον δορυφόρο προς τη γη, στη συγκεκριμένη περίπτωση από τον σταθμό βάσης προς τον ενδιάμεσο ή απευθείας προς τον χρήστη. Το πρότυπο 802.16 της ασύρματης σύνδεσης λειτουργεί με έναν κεντρικό σταθμό βάσης και ξεχωριστές κεραίες, οι οποίες μπορούν να χειριστούν πολλαπλούς ανεξάρτητους τομείς (sectors) ταυτόχρονα. Για συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και συγκεκριμένο τομέα κεραίας, όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την ίδια μετάδοση ή μέρος αυτής. Ο σταθμός βάσης είναι ο μοναδικός που εκπέμπει προς αυτήν την κατεύθυνση και στη συγκεκριμένη συχνότητα και επομένως μεταδίδει χωρίς να απαιτείται συντονισμός με τους υπόλοιπους σταθμούς. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει προς όλους τους σταθμούς του τομέα (και σε συγκεκριμένη συχνότητα), οι σταθμοί ελέγχουν τη διεύθυνση που λαμβάνουν μέσω μηνυμάτων και διατηρούν τη διεύθυνση αυτή για μελλοντική επικοινωνία.

Στην ανερχόμενη ζεύξη(uplink) όλοι οι σταθμοί των συνδρομητών (SS) μοιράζονται το δίαυλο επικοινωνίας με το σταθμό βάσης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Ανάλογα με την κλάση της υπηρεσίας που είναι προς μετάδοση, ο σταθμός του συνδρομητή μπορεί να έχει το δικαίωμα συνεχής μετάδοσης, ή το

δικαίωμα μετάδοσης μπορεί να χορηγηθεί από τον σταθμό βάσης κατόπιν λήψεως αίτησης από τον χρήστη. [5] [8].

Στην ανερχόμενη ζεύξη όλοι οι SSs μοιράζονται το μέσο και ανάλογα με την κλάση υπηρεσίας που χρησιμοποιούν -χορηγημένη υπηρεσία (provisioned service), επιτρεπόμενη υπηρεσία (admitted service), ενεργή υπηρεσία (active service)-, μπορεί να έχουν δικαίωμα για συνεχή μετάδοση ή να χρειάζεται να κάνουν αίτηση στον BS για να τους δοθεί άδεια να μεταδώσουν. Το πρότυπο 802.16 είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση “best effort” σε χρήστες που καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση “best effort”, κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό.

Άρα οι σταθμοί συνδρομητών εξυπηρετούνται από το σταθμό βάσης ανάλογα με την υπηρεσία που επιτελούν, αλλά η εξυπηρέτησή τους είναι η καλύτερη δυνατή σε κάθε περίπτωση. Οι περιπτώσεις τύπων υπηρεσίας που συνηθέστερα θα συναντήσουμε είναι τέσσερις[1], [2]:

Υπηρεσίες άμεσης μεταβίβασης (Unsolicited Grant Service ή UGS) : Το UGS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως Voice over IP.

Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Service ή rtPS) : Το rtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων με μεταβλητό μήκος που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως MPEG video.

Υπηρεσίες εκλογής μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Service ή nrtPS : Το nrtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροές δεδομένων που επιδέχονται καθυστέρηση και αποτελούνται από πακέτα δεδομένων μεταβλητού μεγέθους για τα οποία απαιτείται ελάχιστος ρυθμός δεδομένων, όπως FTP.

Υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας(Best effort service BES) : Η BES υπηρεσία σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει ροές δεδομένων για τις οποίες δεν απαιτείται κανένα ελάχιστο εμπόδιο υπηρεσίας και μπορούν να εξυπηρετηθούν σε μία βάση διαθέσιμου χώρου.

Σε κάθε τομέα, οι χρήστες εμμένουν σε ένα πρωτόκολλο μετάδοσης που ελέγχει τη προτεραιότητα μεταξύ των χρηστών για μετάδοση και επιτρέπει την προσαρμογή των υπηρεσιών στις απαιτήσεις καθυστέρησης και εύρους ζώνης κάθε

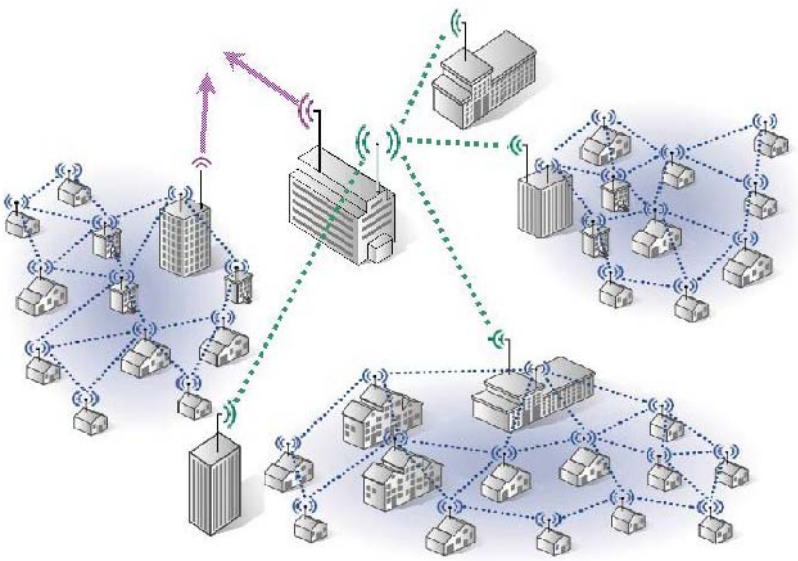
εφαρμογής του χρήστη. Ανάλογα ποια από τις υπηρεσίες θα κρίνει πιο επείγουσα ή συμφέρουσα ο σταθμός βάσης θα επιτρέψει, με απόλυτα σωστά κριτήρια, την μετάδοση.

Η ροή υπηρεσιών μπορεί να παρέχεται μόλις ένας συνδρομητικός σταθμός εγκαθίσταται στο σύστημα. Αμέσως μετά την εγκατάσταση, οι συνδέσεις σχετίζονται με αυτές τις ροές υπηρεσιών (μία σύνδεση ανά ροή). Η έννοια μιας ροής υπηρεσιών σε μια σύνδεση είναι κεντρική στη λειτουργία του πρωτοκόλλου του 802.16. Οι ροές υπηρεσιών παρέχουν έναν μηχανισμό για uplink και downlink συνδέσεων για τη διαχείριση QoS. Στην ανερχόμενη ζεύξη ένας SS ζητά το εύρος ζώνης ανά βάση σύνδεσης (σιωπηρά προσδιορίζει τη ροή υπηρεσιών). Το εύρος ζώνης χορηγείται από τις BS είτε ως σύνολο όλων των επιχορηγήσεων για ένα SS είτε σε μια βάση σύνδεσης.

8.2 Τοπολογία πολυγωνικής δικτύωσης ή πλεγματική(Mesh topology)

Η κύρια διαφορά μεταξύ της τοπολογίας πολυγωνικής δικτύωσης (Mesh) και της τοπολογίας διανομής πολλαπλών σημείων, έγκειται στο ότι στην PMP, η κίνηση δεδομένων συμβαίνει μόνο ανάμεσα σε BSs και SSs, ενώ στην Mesh η κίνηση μπορεί να δρομολογηθεί διαμέσου άλλων SSs και να μεταδοθεί ανάμεσα σε SSs. Κατά αυτόν τον τρόπο κάθε σταθμός μπορεί επίσης να ενεργήσει ως αποστολέας προκειμένου να αναμεταδοθεί ένα πακέτο όταν η άμεση επικοινωνία δεν είναι δυνατή ή όταν η αναμετάδοση είναι αποδοτικότερη. Ο κάθε σταθμός χρησιμοποιεί έξυπνες κεραίες που συντελούν στην αύξηση της εμβέλειας του σήματος.[5]

Εντούτοις πρέπει να διαπιστωθεί ότι στα πρακτικά σενάρια η ανάγκη για τις BS θα υπάρξει ακόμα ειδικά για τη σύνδεση σε ένα backhaul δίκτυο. Μέσα στο Mesh δίκτυο, ένα σύστημα που έχει ευθεία σύνδεση με backhaul υπηρεσίες έξω από αυτό, ορίζεται ως ο Mesh σταθμός βάσης, ενώ όλα τα άλλα συστήματα ορίζονται ως Mesh συνδρομητικοί σταθμοί. Γενικά, όλα τα Mesh συστήματα ονομάζονται κόμβοι. Σε ένα Mesh σύστημα ούτε ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να εκπέμψει χωρίς να συντονιστεί με τους άλλους κόμβους. Με τη χρήση κατανεμημένου προγραμματισμού, όλοι οι κόμβοι πρέπει να συντονίζουν την εκπομπή τους στην two-hop γειτονιά τους και να εκπέμπουν broadcast τα προγράμματα τους (διαθέσιμοι πόροι, αιτήσεις και παροχές) σε όλους τους γειτονικούς κόμβους.



Σχ.8.1 Αρχιτεκτονική πολυγωνικής δικτύωσης

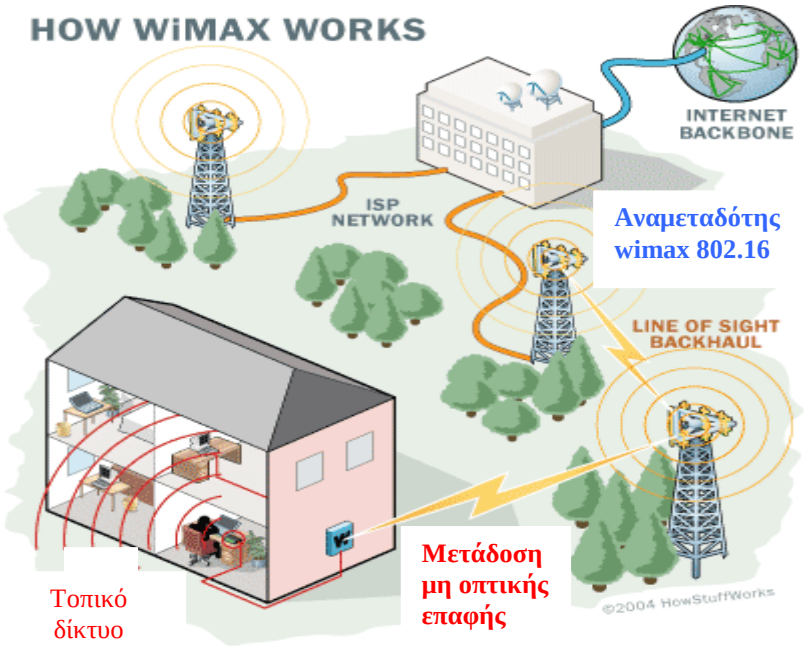
Στην ουσία είναι ένα δίκτυο το οποίο βασίζεται στην επικοινωνία με διαδρομή χωρίς οπτική επαφή, κάτι που καθιστά αυτήν την τοπολογία ιδιαίτερα χρήσιμη. Στα WiMax προσφέρει το βασικό εύρος ζώνης σε περιοχές που μπορεί να παρουσιάζουν γεωγραφικές ιδιαιτερότητες και θα εμπόδιζαν την επικοινωνία με διαδρομή οπτικής επαφής.

Επομένως, το WiMAX λειτουργεί στις ίδιες γενικές αρχές όπως το WiFi, στέλνει δεδομένα από τον έναν υπολογιστή στον άλλον μέσω ραδιοσημάτων. Ένας υπολογιστής εξοπλισμένος με WiMAX λαμβάνει τα δεδομένα από τον πομπό WiMAX, χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση για να αποτραπούν χρήστες χωρίς αδεια να κλέβουν την πρόσβαση. Το WiMAX μπορεί να χειριστεί ως κα 70 Mbps. Η μεγαλύτερη διαφορά δεν είναι η ταχύτητα, είναι η απόσταση. Ενώ η ακτίνα του WiFi είναι 30 μέτρα, η κάλυψη του WiMAX φτάνει τα 50 χιλιόμετρα. Η αυξημένη ακτίνα οφείλεται στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες και στην ισχύ του πομπού.

Συνοψίζοντας λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι αυτό που κάνει τα WiMax και υπερέχουν σε σχέση με όλες τις άλλες τεχνολογίες είναι ότι παρέχει ασύρματο internet σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό το επιτυγχάνει τοποθετώντας WiMax towers σε διάφορα σημεία, οι οποίοι μεταδίδουν αλλά και λαμβάνουν σήματα με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτός ο σταθμός βάσης WiMAX μπορεί να συνδεθεί άμεσα με το internet χρησιμοποιώντας μία καλωδιακή σύνδεση μεγάλου εύρους ζώνης ή να συνδεθεί με κάποιον άλλον σταθμό WiMAX ή χρησιμοποιώντας μια μικροκυματική ζεύξη οπτικής επαφής.

Αυτή η σύνδεση με ένα δεύτερο πομπό μαζί με την ικανότητα ενός απλού tower να καλύπτει μεγάλη ακτίνα, είναι τα στοιχεία που επιτρέπουν στο WiMAX να

παρέχει κάλυψη σε απομακρυσμένες περιοχές. Και έτσι ερχόμαστε σε δύο έννοιες που αναφέραμε λίγο πριν, τη διαδρομή μέσω οπτικής επαφής και την χωρίς οπτική επαφή. Αυτό που φαίνεται από το παρακάτω σχήμα είναι ότι το WiMAX μπορεί να παρέχει δύο τρόπους ασύρματης υπηρεσίας[5]:



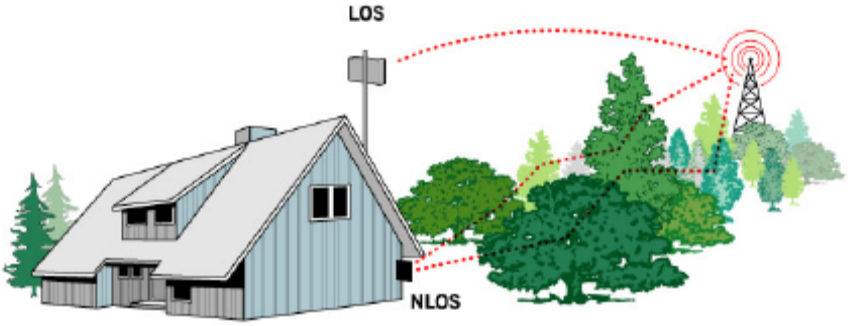
Εικόνα 8.3 Λειτουργία WiMax

8.3 Μη οπτικής επαφής(Non Light Of Sight NLOS)

Ένας τύπος υπηρεσίας, όπου μια μικρή κεραία στον υπολογιστή συνδέεται με τον tower. Σε αυτή τη μορφή, το WiMAX χρησιμοποιεί μια χαμηλότερη ακτίνα συχνοτήτων (2-11 GHz). Οι εκπομπές μικρότερου μήκους κύματος δε διακόπτονται τόσο εύκολα από φυσικά εμπόδια, είναι ικανά να διαθλαστούν ή να σκεδαστούν γύρω από αυτά[2].

Η προχωρημένη τεχνολογία WiMAX προσφέρει μεγάλες αποστάσεις κάλυψης ως και 50 χιλιόμετρα κάτω από συνθήκες LOS και τυπική κυψελωτή ακτίνα 8 χιλιομέτρων κάτω από συνθήκες NLOS.

Σε μία ζεύξη οπτικής επαφής, το σήμα ταξιδεύει σε ένα άμεσο και ανεμπόδιστο μονοπάτι από τον πομπό στο δέκτη. Σε μία ζεύξη μη οπτικής επαφής, το σήμα φτάνει στο δέκτη μέσω ανακλάσεων, σκεδάσεων και περιθλάσεων. Το σήμα που φτάνει στο δέκτη περιλαμβάνει στοιχεία από το απευθείας μονοπάτι και πολλαπλά στοιχεία από άλλα μονοπάτια λόγω ανάκλασης, περίθλασης και σκέδασης. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική διάδοση καθυστέρησης (delay spreads), εξασθένιση και πόλωση σχετικά με αυτό του απευθείας μονοπατιού.



Εικόνα 8.4 Μη Οπτική επαφή (NLOS) υπηρεσία

Υπάρχουν πολλαπλά πλεονεκτήματα που κάνουν τις εγκαταστάσεις NLOS επιθυμητές. Για παράδειγμα, οι αυστηρές σχεδιαστικές απαιτήσεις και οι περιορισμοί ύψους κεραιών συχνά δεν επιτρέπουν στην κεραία να εγκατασταθεί για LOS. Για μεγάλης κλίμακας γειτονικές κυψελωτές εφαρμογές, όπου η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας είναι σημαντικότατη, χαμηλώνοντας την κεραία είναι πλεονεκτικό ώστε να μειωθεί η ομοδιαυλική παρεμβολή ανάμεσα στις γειτονικές κυψέλες. Αυτό συχνά αναγκάζει το σταθμό βάσης να λειτουργεί σε συνθήκες NLOS. Τα συστήματα LOS δεν μπορούν να μειώσουν τα ύψη των κεραιών γιατί αν γίνει αυτό θα χειροτερεύσει η θέα από το άμεσο μονοπάτι από το σταθμό εργασίας στο σταθμό βάσης.

Η τεχνολογία NLOS επίσης μειώνει τα έξοδα εγκατάστασης κάνοντας την επίπονη συνήθως διαδικασία της εγκατάστασης πραγματικότητα και διευκολύνοντας την τοποθέτηση αρκετών σταθμών εργασίας. Η τεχνολογία NLOS και τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά του WiMAX κάνουν δυνατή τη χρήση εσωτερικών σταθμών εργασίας. Αυτό έχει δύο κύριες προκλήσεις. Πρώτον, ξεπερνάει τις απώλειες από διεισδύσεις στα κτίρια και δεύτερον, καλύπτονται λογικές αποστάσεις με τη μικρότερη ισχύ εκπομπής και κέρδος κεραίας που συνδέονται με τους εσωτερικούς σταθμούς εργασίας.

Η τεχνολογία WiMAX λύνει ή περιορίζει τα προβλήματα που δημιουργούνται από τις συνθήκες NLOS χρησιμοποιώντας:

Τεχνολογία OFDM

Sub-Channelization

Κατευθυντικές Κεραίες

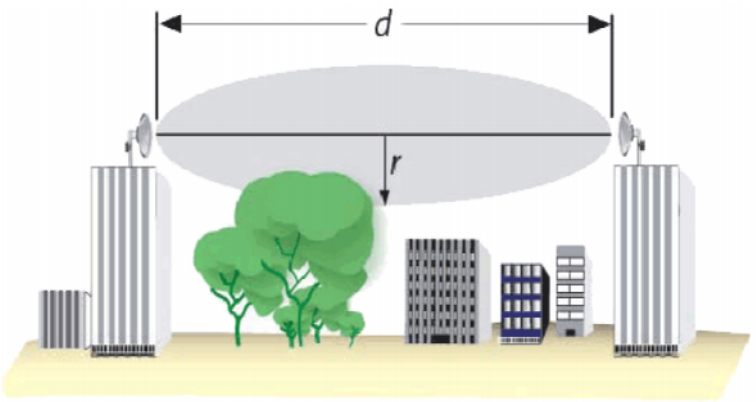
Ποικιλία εκπομπής και λήψης

Προσαρμόσιμη Διαμόρφωση

8.4 Οπτικής επαφής(Light Of Sight LOS)

Σε αυτήν την περίπτωση μια σταθερή κεραία τύπου πιάτου κοιτάζει άμεσα τον WiMAX tower από μια οροφή ή ένα ύψωμα. Δηλαδή το σήμα ταξιδεύει από τον πομπό στον δέκτη χωρίς κανένα εμπόδιο. Η σύνδεση οπτικής επαφής είναι δυνατότερη και πιο σταθερή, έτσι είναι δυνατό να σταλούν περισσότερα δεδομένα με λιγότερα λάθη. Οι εκπομπές οπτικής επαφής χρησιμοποιούν υψηλότερες συχνότητες, φτάνοντας τα 66 GHz. Σε υψηλότερες συχνότητες, υπάρχει μικρότερη παρεμβολή και περισσότερο εύρος ζώνης.

Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Frensel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτό τότε ο παράγοντας ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Γενικά, γνωρίζουμε ότι η ζώνη Frensel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Frensel zone clearance που αναφέρεται στο σχήμα, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Η ζώνη Fresnel είναι μια ελλειπτική περιοχή που περιβάλλει τη νοητή ευθεία της οπτικής επαφής του πομπού με το δέκτη. Η διάμετρος αυτής της περιοχής εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών[2].



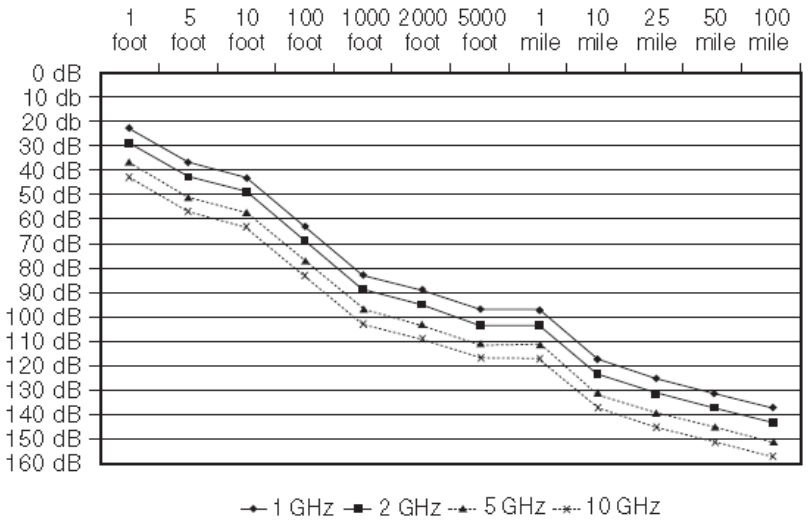
Εικόνα 8.5 Frensel zone clearance

Είναι σημαντικός ο υπολογισμός της μέγιστης ακτίνας αυτής της περιοχής γιατί ακόμα και αν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των δύο σημείων, ένα εμπόδιο (λόφος, δέντρα, κτίριο) που βρίσκεται μέσα στην ζώνη Fresnel επηρεάζει το σήμα και

δημιουργεί απώλειες. Οι απώλειες αυτές θεωρούνται αμελητέες όταν εξασφαλίζεται ότι τουλάχιστον το 80% της ζώνης Fresnel να είναι χωρίς εμπόδια.

8.5 Διάδοση στο ασύρματο κανάλι επικοινωνίας

Κατά τη διάδοση στο ασύρματο κανάλι επικοινωνίας, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το σήμα που εκπέμπεται από τον πομπό φτάνει τελικά στο δέκτη, έχοντας υποστεί μεταβολές οι οποίες οφείλονται σε τέσσερα βασικά και ανεξάρτητα μεταξύ τους φυσικά φαινόμενα : Εξασθένιση – απώλειες διαδρομής (path loss), Σκίαση (shadowing), Πολύοδη διάδοση (multipath) και Παρεμβολές (interference)[4]. Οι απώλειες διαδρομής φαίνεται κατ' ουσία να εξαρτώνται κύρια από την απόσταση πομπού και δέκτη. Όπως φαίνεται από το σχήμα, δεκαπλασιασμός της συχνότητας ή της απόστασης προκαλεί μείωση της ισχύς του σήματος κατά 20dB ενώ διπλασιασμός της συχνότητας ή της απόστασης θα επιφέρει μείωση κατά 6dB. Γίνεται αντιληπτό ότι μείωση της ισχύος του σήματος επιφέρει σημαντικές μεταβολές στην εμβέλεια του σήματος και κατά συνέπεια στην περιοχή κάλυψης του ασύρματου δικτύου[9],[10].



Σχ.8.2 Εξάρτηση της ισχύς του σήματος με την απόσταση και τη συχνότητα

Εκτός από τα εμπόδια που οδηγούν σε ανακλάσεις του σήματος, υπάρχουν και εμπόδια που φράσσουν εντελώς τη διαδρομή του με αποτέλεσμα σε μερικές περιπτώσεις το μοναδικό σήμα που λαμβάνει ο δέκτης να προέρχεται από ανακλάσεις του αρχικού. Η απόσβεση που υφίσταται το σήμα σε τέτοιες περιπτώσεις εξαρτάται από το μέγεθος του εμποδίου και το υλικό του. Η επίδραση τέτοιου είδους εμποδίων είναι γνωστή με τον όρο σκίαση. Η σκίαση λαμβάνεται πολύ σοβαρά

υπόψη κατά τη σχεδίαση συστημάτων ασύρματων επικοινωνιών αφού μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολές της ισχύς του σήματος της τάξης το 10–30dB ανάλογα με το περιβάλλον.

Στην περίπτωση ζεύξης οπτικής επαφής (LOS) δεν απαιτείται μόνο διαδρομή του σήματος χωρίς εμπόδια, αλλά και «καθαρή» πρώτη ζώνη Fresnel και αυτό γιατί τα Η/Μ κύματα ανακλώνται στα εμπόδια όπως το φως στον καθρέφτη. Τα ανακλώμενα σήματα κατευθύνονται μαζί με το απευθείας στον δέκτη με τη διαφορά ότι φτάνουν αργότερα (αφού διανύουν μεγαλύτερη απόσταση) και με διαφορετική φάση έτσι ώστε είτε να ακυρώνουν το αρχικό σήμα (διαφορά φάσης 180^{o}) είτε να του προκαλούν ισχυρή παραμόρφωση.

Οι παρεμβολές τώρα, συνίστανται από διάφορες παραμέτρους όπως : ο θόρυβος, η ομοδιαυλική παρεμβολή, οι παρεμβολές γειτονικών διαύλων και η διασυμβολική παρεμβολή.

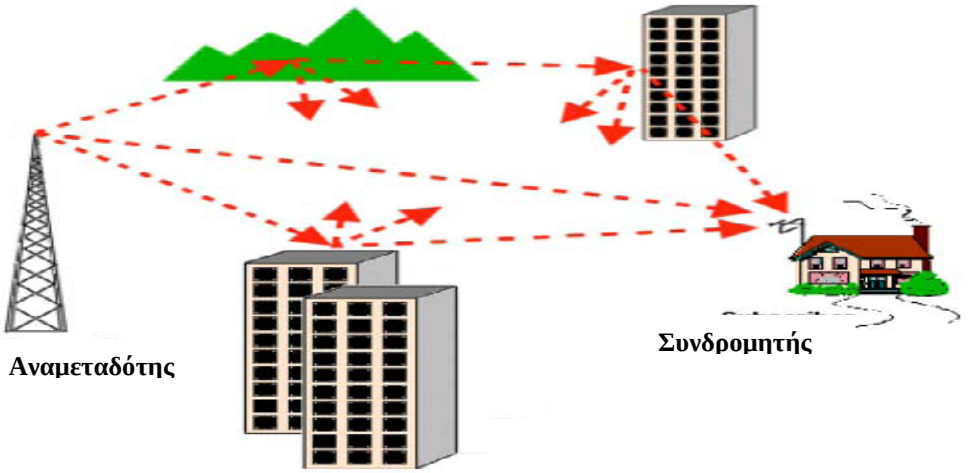
Θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητο σήμα που επηρεάζει και παραμορφώνει το χρήσιμο σήμα πληροφορίας. Οι κυριότερες πηγές θορύβου είναι: από ακτινοβολία άλλων μέσων μετάδοσης, από κεραίες εκπομπής, από οικιακές συσκευές, από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, από παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων καθώς και από άλλες γειτονικές πηγές.

Στην περιοχή κάλυψης ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών, για να επιτευχθεί καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος που διατίθεται, επαναχρησιμοποιούνται δίαυλοι της ίδιας συχνότητας σε διάφορες μη γειτονικές μεταξύ τους περιοχές. Αυτή η επαναχρησιμοποίηση διαύλων (συχνοτήτων) έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές κυψέλες στην περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος, οι οποίες χρησιμοποιούν την ίδια ομάδα συχνοτήτων. Οι κυψέλες αυτές ονομάζονται ομοδιαυλικές κυψέλες. Η παρεμβολή μεταξύ σημάτων που προέρχονται από τέτοιες κυψέλες ονομάζεται ομοδιαυλική παρεμβολή και είναι η αμοιβαία παρεμβολή διαύλων της ίδιας συχνότητας, οι οποίοι λειτουργούν σε διαφορετικές θέσεις στην περιοχή κάλυψης του συστήματος[9],[10].

Οι παρεμβολές από γειτονικούς διαύλους προέρχονται από τη μερική επικάλυψη της φασματικής πυκνότητας ισχύος του επιθυμητού από ανεπιθύμητα (συνήθως γειτνιάζοντα στο φάσμα) σήματα. Η επικάλυψη οφείλεται στην ατελή υλοποίηση των φίλτρων του δέκτη, που επιτρέπουν τη διαρροή φασματικής πυκνότητας ισχύος στο εύρος συχνοτήτων του διαύλου. Τέλος η διασυμβολική παρεμβολή οφείλεται είτε σε σχετικά μεγάλη εξάπλωση της χρονοκαθυστέρησης σε μέσο που υποφέρει από πολύοδη διάδοση είτε σε σχετικά υψηλό ρυθμό ψηφιακής μετάδοσης.

9. Ορθογωνική Πολυπλεξία Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Mulitplexing – OFDM

Η ορθογωνική πολυπλεξία συχνότητας (OFDM) είναι μια μορφή διαμόρφωσης στην οποία μεταδίδουμε περισσότερα του ενός φέροντα σε συχνότητες ορθογωνικές μεταξύ τους όπου μια ροή δεδομένων εκπέμπεται με έναν αριθμό υπό-φερόντων χαμηλότερου ρυθμού. Μεγάλο πλεονέκτημα της OFDM είναι ότι εμφανίζει μεγάλη αντοχή στο θόρυβο και σε λοιπές παρεμβολές καθώς και ότι αντιμετωπίζει ικανοποιητικά το φαινόμενο των πολλαπλών διοδεύσεων (multipath effect).

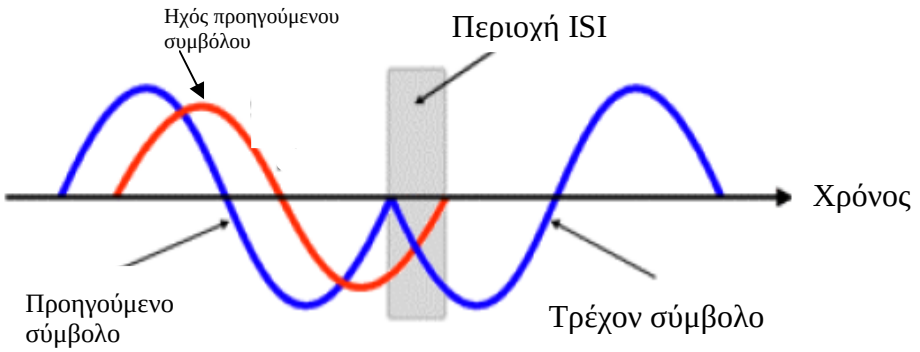


Σχ. 9.1 Φαινόμενο πολλαπλών διοδεύσεων (multipath effect)

Το OFDM είναι συνδυασμός διαμόρφωσης και πολυπλεξίας. Η πολυπλεξία γενικά αναφέρεται σε μεμονωμένα σήματα, που παράγονται από διαφορετικές πηγές. Έτσι, το πρόβλημα είναι πως θα μοιραστεί το φάσμα στους χρήστες. Στο OFDM το πρόβλημα της πολυπλεξίας εφαρμόζεται στα μεμονωμένα σήματα, αλλά αυτά τα μεμονωμένα σήματα είναι ένα υποσύνολο του κυρίως σήματος. Στο OFDM το ίδιο το σήμα χωρίζεται σε ανεξάρτητα κανάλια, διαμορφώνεται από τα δεδομένα και πολυπλέκεται ξανά για να δημιουργήσει το φέρον του OFDM.[1]

Το μεταδιδόμενο σήμα ανακλάται σε φυσικά εμπόδια και οι αντανακλάσεις του φτάνουν με χρονική διαφορά στο δέκτη. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η ενδοσυμβολική παρεμβολή (InterSymbol Interference - ISI) στο δέκτη.

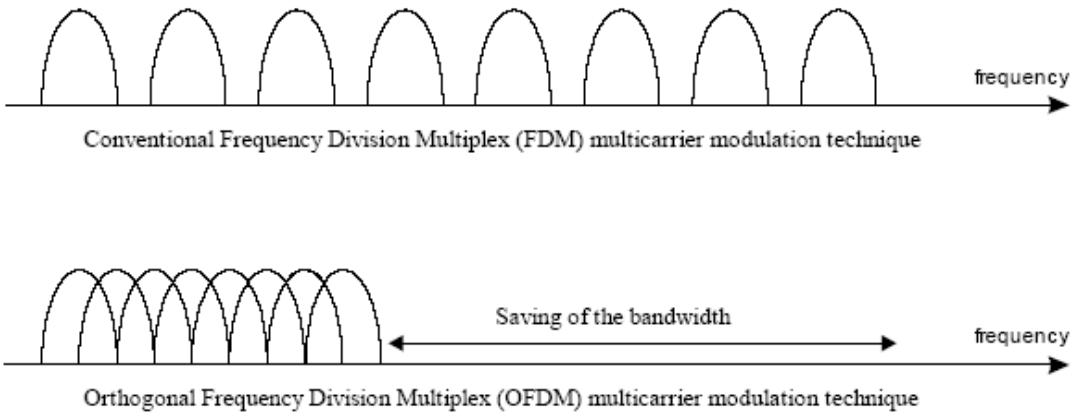
Ας δούμε αναλυτικότερα πως η τεχνική OFDM μειώνει την ενδοσυμβολική παρεμβολή σε σχέση με τη διαμόρφωση ενός φέροντος. Βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα πως η ηχώ του προηγουμένου συμβόλου παρεμβάλλεται στο τρέχον σύμβολο.



Σχ. 9.2 Ενδοσυμβολική καθυστέρηση διάδοσης

Η περιοχή ISI εκφράζει την καθυστέρηση διάδοσης (delay spread). Ισχύει προσεγγιστικά, ISI = τmax/Ts,sc όπου τmax η μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης και Ts,sc η περίοδος συμβόλου για διαμόρφωση με ένα φέρον. Για την OFDM, αν έχουμε N φέροντα τότε είναι Ts = N x Ts,sc. Είναι τότε ISI = τmax/ Ts = τmax/ N x Ts,sc[1], [2].

Συγκρίνοντας τις σχέσεις βλέπουμε τη μείωση στην ISI λόγω της OFDM. Και όλα αυτά επιτυγχάνονται με σαφώς αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος από ότι αν χρησιμοποιούσαμε απλή πολυπλεξία συχνότητας (FDM) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



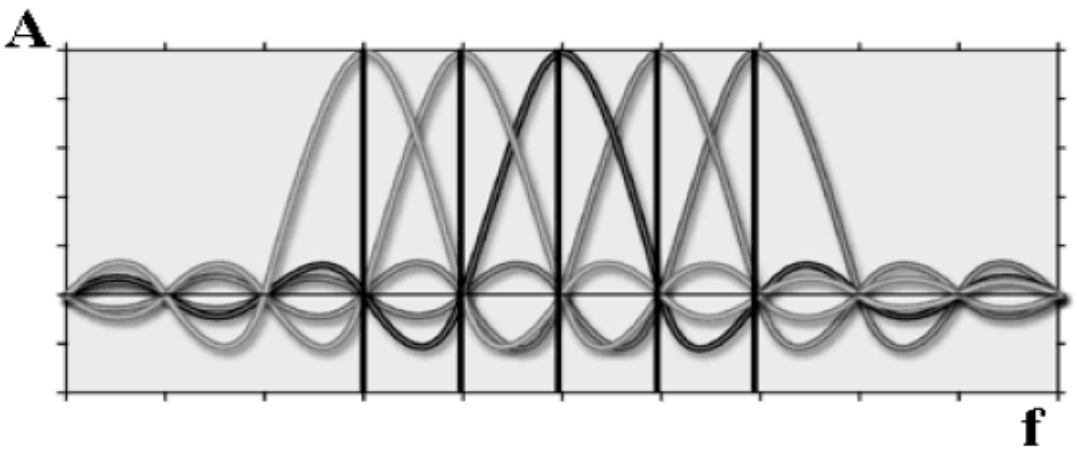
Σχ.9.3 Εξοικονόμηση φάσματος OFDM σε σχέση με FDM

Σε ένα συνηθισμένο σύστημα σειριακών δεδομένων, τα σύμβολα εκπέμπονται διαδοχικά, με το φάσμα συχνοτήτων καθενός συμβόλου δεδομένων να επιτρέπεται να καταλαμβάνει ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Σε ένα παράλληλο σύστημα εκπομπής δεδομένων πολλαπλά σύμβολα εκπέμπονται την ίδια στιγμή, το οποίο δίνει πιθανότητες για επίλυση πολλών προβλημάτων που

αντιμετωπίζονται με τα σειριακά συστήματα. Στην OFDM διαμόρφωση, τα δεδομένα διαιρούνται ανάμεσα σε μεγάλο αριθμό κοντινά χωριζόμενων φερόντων. Το ολικό εύρος ζώνης συμπληρώνεται με ένα ρεύμα δεδομένων. Αντί να εκπέμπονται με σειριακό τρόπο, τα δεδομένα μεταφέρονται με παράλληλο τρόπο. Μόνο ένα μικρό μέρος των δεδομένων μεταφέρεται σε κάθε φέρον και με αυτόν τον τρόπο η μείωση του ρυθμού μετάδοσης ανά φέρον (όχι ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης), μειώνεται σημαντικά η επίδραση της ενδοσυμβολική παρεμβολής.

Σύμφωνα με αυτήν την αρχή, πολλά σχήματα διαμόρφωσης μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να διαμορφώσουν τα δεδομένα με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης σε κάθε φέρον. Είναι ένα σημαντικό μέρος του σχεδιασμού του OFDM συστήματος το ότι το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί είναι μεγαλύτερο του εύρος ζώνης συνέλιξης του καναλιού εξασθένισης. Τότε, αν και μερικά από τα φέροντα υποβαθμίζονται από την εξασθένιση λόγω πολυδιόδευσης, η πλειονότητα των φερόντων μπορεί να ληφθούν επαρκώς. Το OFDM μπορεί να τυχαιοποιεί με επιτυχία τα λάθη burst(είναι τα γειτονικά λάθη τα οποία είναι δυσκολότερο να αντιμετωπιστούν και είναι επικίνδυνα για την ακεραιότητα των δεδομένων), που προκαλούνται από την εξασθένηση τύπου Rayleigh, τα οποία προκαλούνται από το interleaving(είναι μια μέθοδος τοποθέτησης των δεδομένων σε μία μη συνεχόμενη σειρά) λόγω της παραλληλοποίησης. Έτσι, αντί πολλαπλά γειτονικά σύμβολα να καταστρέφονται, πολλά σύμβολα παραμορφώνονται πολύ λίγο.

Το “μυστικό” της OFDM είναι η χρήση ορθογωνικών υποφερόντων (orthogonal subcarriers), η οποία επιτρέπει τη δυνατότητα αποδιαμόρφωσης των υποφερόντων στο δέκτη ακόμα και όταν υπάρχει επικάλυψη (overlapping) μεταξύ των φασμάτων τους. Δύο σήματα λέγονται ορθογωνικά όταν ένα υποφέρον εμφανίζει μέγιστο, τα υπόλοιπα έχουν μηδενική τιμή, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.9.4 Φασματική απεικόνιση OFDM

Το OFDM μπορεί απλά να καθοριστεί ως μια μορφή διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων όπου ο διαχωρισμός μεταξύ των φερόντων επιλέγεται προσεκτικά έτσι ώστε κάθε υπο-φέρον να είναι ορθογώνιο με τα άλλα υπό-φέροντα. Όπως είναι γνωστό, τα ορθογώνια σήματα μπορούν να διαχωριστούν στο δέκτη με συνελικτικές τεχνικές(μίξη διαφορετικών πηγών σήματος). Έτσι, η ενδοσυμβολική παρεμβολή ανάμεσα στα κανάλια μπορεί να εξαλειφθεί. Η ορθογωνιότητα μπορεί να επιτευχθεί με την προσεκτική επιλογή διαχωρισμού των υπό-φερόντων, όπως το να αφήνουμε το διάστημα μεταξύ των φερόντων να είναι ίσο με το αντίστροφο της χρήσιμης περιόδου συμβόλου.

Τα δεδομένα σε κάθε υποφέρον μεμονωμένα διαμορφώνονται είτε με PSK, είτε με QAM(βλέπε παράρτημα β) ανάλογα με το ρυθμό μετάδοσης και το BER που θέλουμε να έχουμε. Ο διαμορφωτής και ο αποδιαμορφωτής ενός OFDM συστήματος υλοποιούνται με τη χρήση ηλεκτρονικών φίλτρων που πραγματοποιούν Fast Fourier Transform (FFT).

Βασικό χαρακτηριστικό του OFDM είναι ότι προσαρμόζει τους ρυθμούς μετάδοσης σε κάθε κανάλι ανάλογα με το SNR, μεταδίδει δηλαδή με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης στα κανάλια με λιγότερο θόρυβο. Η χρήση OFDM σε συνδυασμό με τεχνικές FEC (Forward Error Correction) ονομάζεται COFDM (Coded – OFDM). Με τη μέθοδο αυτή εξασφαλίζεται η ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων στο δέκτη, με την μετάδοση bits διόρθωσης σφάλματος παράλληλα με τα bits δεδομένων. Ακόμα, έχουμε την VOFDM (Vector OFDM), η οποία είναι στην ουσία συνδυασμός OFDM με πολυπλεξία στο χώρο.

Η τεχνική OFDM εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα :

• Αύξηση της απόδοσης φάσματος σε σύγκριση με τεχνικές διαμόρφωσης ενός φέροντος

• Δυνατότητα για NLOS (Non-Line Of Sight) κάλυψη

• Αντοχή στο φαινόμενο πολλαπλών διοδεύσεων και περιορισμός ISI

• Αντοχή σε θόρυβο και λοιπές παρεμβολές

Αλλά και τα παρακάτω μειονεκτήματα :

• Μεγάλη ευαισθησία σε σφάλματα συγχρονισμού, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια της ορθογωνιότητας και σε δημιουργία παρεμβολών μεταξύ γειτονικών υποφερόντων.

• Μεγάλη πολυπλοκότητα και κόστος εφαρμογής

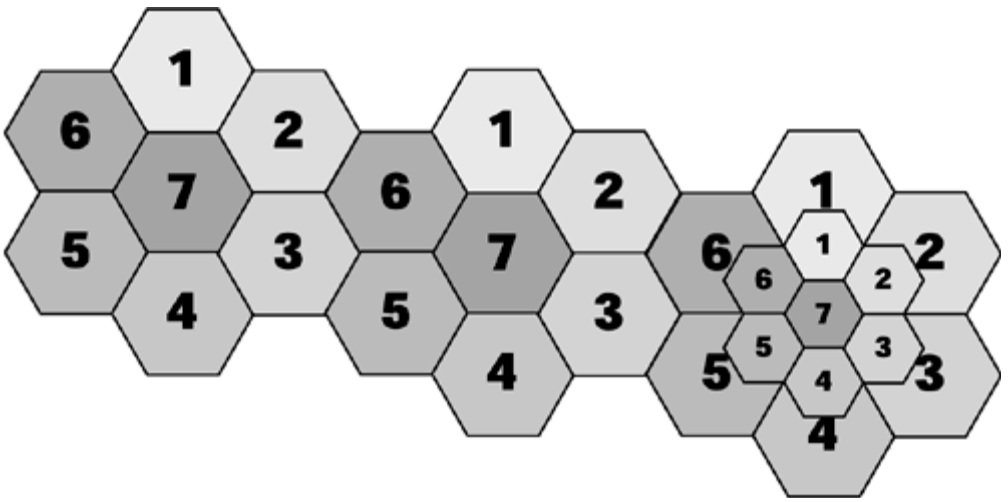
9.1 Επαναχρησιμοποίηση φάσματος

Το φάσμα στις ασύρματες επικοινωνίες είναι περιορισμένο – είναι σαν να έχουμε ένα αόρατο καλώδιο στον ουρανό που πρέπει να το μοιραστεί όλος ο

κόσμος. Αυτός είναι ένας από τους βασικούς περιορισμούς όσον αφορά την ασύρματη μετάδοση, με αποτέλεσμα να απαιτούνται τεχνικές για την αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος γνωστές και ως μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης φάσματος. Ένα πρώτο βήμα είναι να εφαρμόσουμε διαίρεση χώρου (space division). Έτσι μπορούμε να επαναχρησιμοποιήσουμε συχνότητες στις περιοχές κάλυψης, τις λεγόμενες κυψέλες(cells). Δεύτερο βήμα είναι να εφαρμόσουμε κάποια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, που επιτρέπει το μοίρασμα του φάσματος σε πολλούς χρήστες (βλέπε παράρτημα β)[2, 10].

9.1.1 Διαίρεση Χώρου (Space Division)

Εφαρμόζεται η γνωστή κυψελοειδής αρχιτεκτονική. Η βασική ιδέα είναι η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων από μη γειτονικές κυψέλες. Στο σχήμα βλέπουμε πως γίνεται επαναχρησιμοποίηση για n = 7 συχνότητες, που είναι το πιο συνηθισμένο πρότυπο επαναχρησιμοποίησης στα αναλογικά κυψελωτά δίκτυα.

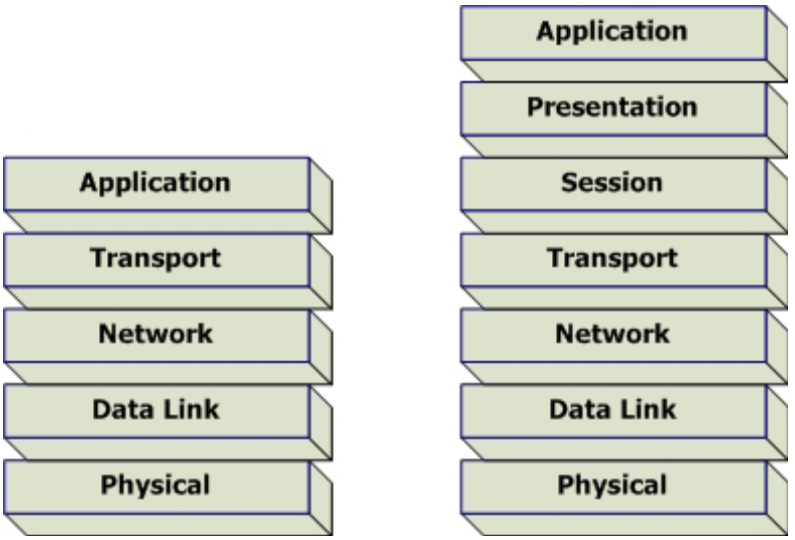


Εικόνα 9.1. Κυψελοποίηση

Όσο μεγαλώνουν οι απαιτήσεις σε φάσμα τόσο μειώνεται το μέγεθος της κυψέλης και κατ' επέκταση και η ισχύς των σταθμών βάσης. Ήδη έχουμε περάσει από το macrocell (13 km διάμετρος) των πρώτων αναλογικών κυψελωτών δικτύων στο microcell (1 km διάμετρος) και οδεύουμε προς το picocell (με ακτίνα κάλυψης μικρότερη των 50m).

10. Ανάλυση επιπέδων του WiMax

Το WiMax είναι ένα πρότυπο που αφορά τα κατώτερα επίπεδα της στοίβας του μοντέλου OSI ή της στοίβας του Internet. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιούνται το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link) και το φυσικό επίπεδο. Επειδή, το WiMax έχει προτυποποιηθεί για να μπορέσει να συνδέσει και να εξυπηρετήσει διαφορετικά δίκτυα, όπως για παράδειγμα IP και ATM δίκτυα, έχει δημιουργηθεί ένα επιπλέον επίπεδο στο εσωτερικό του data link[2], [8].



Εικόνα 10.1. Στοίβα πρωτοκόλλου Internet και μοντέλο OSI

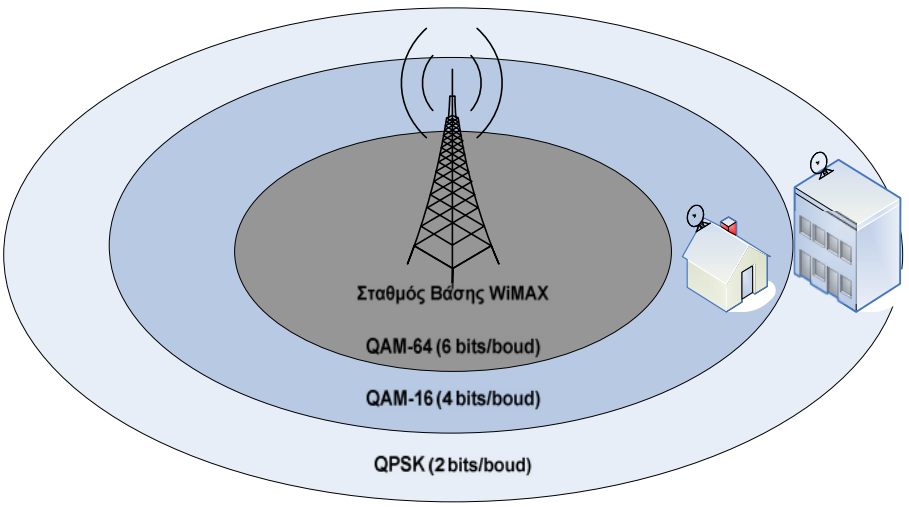
10.1 Διασύνδεση φυσικού στρώματος

Το φυσικό στρώμα είναι αρμόδιο για την φυσική μεταφορά των δεδομένων. Συγκεκριμένα ορίζει τη ζώνη συχνοτήτων, τη διαμόρφωση, τις τεχνικές διόρθωσης λαθών, το ρυθμό μετάδοσης και το συγχρονισμό ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Για να είναι αποτελεσματική και συνάμα ελαστική η χρησιμοποίηση των συχνοτήτων, το φυσικό στρώμα του 802.16 υποστηρίζει και αμφιδρόμηση με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing, TDD) και αμφιδρόμηση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplexing, FDD)[11].

Στην ανερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA) και της πολλαπλής πρόσβασης αίτησης εκχώρησης (Demand Assignment Multiple Access, DAMA).

- Η TDMA είναι μια τεχνική όπου χωρίζουμε τον χρόνο σε ένα φυσικό δίαυλο σε μία σειρά από πλαίσια, όπου το κάθε ένα αποτελείται από έναν αριθμό από θυρίδες. Μία ή περισσότερες θυρίδες ανατίθενται σε ένα λογικό κανάλι.
- Η DAMA είναι μια τεχνική ανάθεσης χωρητικότητας που προσαρμόζεται στις αλλαγές ζήτησης από τους σταθμούς. Στην DAMA-TDMA η ανάθεση των χρονοθυρίδων γίνεται δυναμικά.

Το κανάλι της ανερχόμενης ζεύξης διαιρείται σε έναν αριθμό χρονοσχισμών. Το υπόστρωμα MAC στον σταθμό βάσης ελέγχει τον αριθμό των χρονοσχισμών (ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται στο χρόνο για βέλτιστη αποδοτικότητα) που αναθέτονται για διάφορες χρήσεις όπως καταχώρηση (registration), αναμέτρηση (contention), φύλαξη (guard) ή κίνηση του χρήστη. Κάθε "έκρηξη" (burst) πληροφορίας μεταφέρει μεταβλητού μήκους MAC PDUs (Packet Data Units). Ακολουθεί κωδικοποίηση της πληροφορίας με αλγόριθμο FEC (Forward Error Correction) και διαμόρφωση QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ή 64 QAM(βλέπε παράρτημα β) ανάλογα με τη θέση του SS όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα[8]:



Εικόνα 10.2 Κωδικοποίηση στο περιβάλλον μετάδοσης

Στο μοντέλο αυτό ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα, χρονοπρογραμματίζει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση).

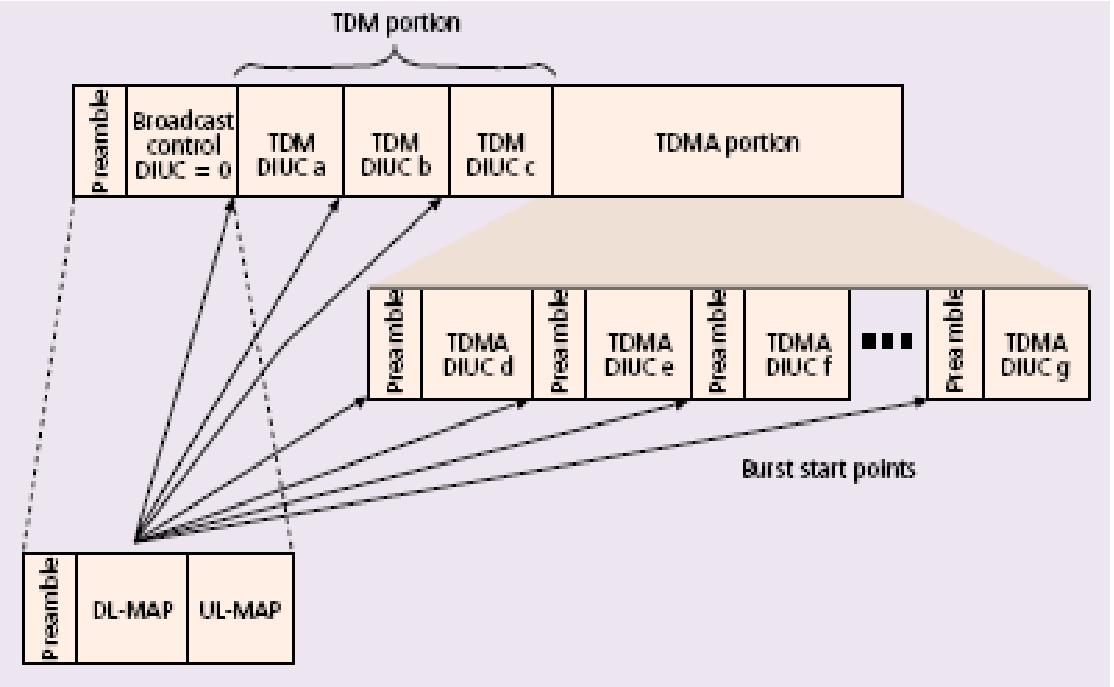
Στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνική πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM), όπου η πληροφορία για κάθε SS

(Subscriber Station) πολυπλέκεται σε μια ενιαία “ροή” δεδομένων και λαμβάνεται από όλους τους SSs που βρίσκονται στον ίδιο τομέα (sector). Στο φυσικό στρώμα, στην κατερχόμενη ζεύξη, υπάρχει το υπόστρωμα σύγκλισης της μετάδοσης (Transmission Convergence), το οποίο τοποθετεί ένα δείκτη σε byte, στην αρχή της μετάδοσης, για να βοηθήσει το δέκτη να καταλάβει την αρχή ενός MAC PDU. Τα bits των δεδομένων που έρχονται από αυτό το υπόστρωμα κωδικοποιούνται και πάλι με τον αλγόριθμο FEC και διαμορφώνονται με μια από τις τεχνικές QPSK, 16 QAM και 64 QAM(βλέπε παράρτημα β). Για υποστήριξη των SS με FDD half-duplex στην κατερχόμενη ζεύξη, έχει προβλεφθεί ένα κομμάτι της να χρησιμοποιεί TDMA τεχνική. [11], [12]

10.1.1 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας(Frequency Division Duplexing)

Η τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας, διαιρεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε δυο υπο-κανάλια μονού δρόμου διαχωρίζοντας με αυτό τον τρόπο την ανερχόμενη και την κατερχόμενη ζεύξη. Η ικανότητα για “εκρηκτικού” τύπου μετάδοση στην κατερχόμενη ζεύξη, διευκολύνει τη χρησιμοποίηση διαφορετικών τύπων διαμόρφωσης και επιτρέπει στο σύστημα να στηρίζει συγχρόνως full-duplex SSs (οι οποίοι μεταδίδουν και λαμβάνουν ταυτόχρονα) και half-duplex SSs.

Το υπό-πλαίσιο DL αρχίζει με ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει το DL-MAP για το συγκεκριμένο πλαίσιο DL καθώς και το UL-MAP για μια καθορισμένη στιγμή στο μέλλον. Το DL-MAP καθορίζει πότε γίνονται οι μεταβάσεις του Φυσικού Στρώματος (διαμόρφωσης και αλλαγές FEC) εντός του υπό-πλαισίου DL. Το υπό-πλαίσιο DL τυπικά περιέχει το τμήμα ελέγχου πλαισίου ακολουθούμενο από ένα κομμάτι TDM.

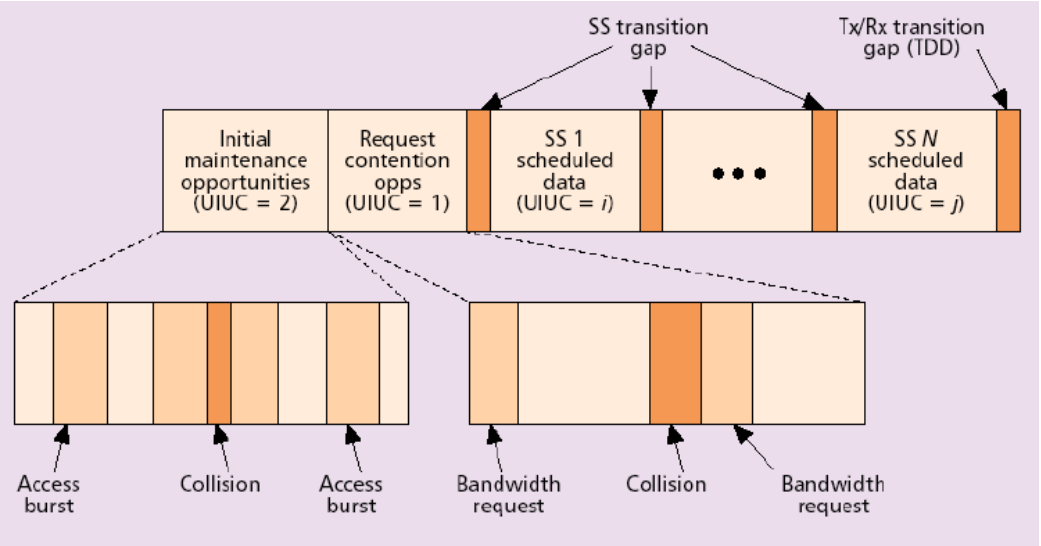


Σχ.10.1 Δομή πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης για ένα FDD σύστημα

Σε συστήματα FDD, ένα τεμάχιο TDMA που περιέχει ένα επιπλέον προοίμιο στην αρχή κάθε νέου προφίλ πλαισίων μπορεί να ακολουθεί το κομμάτι TDM. Αυτό το χαρακτηριστικό προσφέρει καλύτερη υποστήριξη για half-duplex σταθμούς συνδρομητών. Σε ένα αποδοτικά σχεδιασμένο σύστημα FDD με πολλούς half-duplex σταθμούς συνδρομητών, μερικοί σταθμοί συνδρομητών μπορεί να πρέπει να εκπέμψουν νωρίτερα στο πλαίσιο από όταν λαμβάνουν. Λόγω της ημιαμφίδρομης φύσης τους, αυτοί οι σταθμοί συνδρομητών χάνουν το συγχρονισμό τους με το DL. Το προοίμιο TDMA τους επιτρέπει να ανακτήσουν τον συγχρονισμό.[13]

Αναφέραμε πριν πως η κατερχόμενη ζεύξη περιλαμβάνει μετά το DL-MAP και ένα UL-MAP για μελλοντική χρήση. Στη συνεχόμενη FDD, το κανάλι ανοδικής ροής υφίσταται κατάτμηση σε μια σειρά μικρό-υποδοχών, και κάθε μικρό-υποδοχή αποτελείται από μια ομάδα φυσικών υποδοχών. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει περιοδικά το ανοδικής ροής μήνυμα MAP(UL-MAP) στο κανάλι κατερχόμενης ροής. Το ανοδικής ροής μήνυμα MAP ορίζει την επιτρεπτή χρήση κάθε μικρό-υποδοχής ανοδικής ροής εντός του χρονικού διαστήματος του μηνύματος MAP. Στην FDD παραλλαγή, τα υπό-πλαίσια UL και DL συμπίπτουν χρονικά αλλά φέρονται σε διαφορετικές συχνότητες.

Το υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης έχει την ίδια δομή και στις δύο λειτουργίες (FDD, TDD) και δίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Σχ. 10.2 Δομή υποπλαίσιο άνω ζεύξης

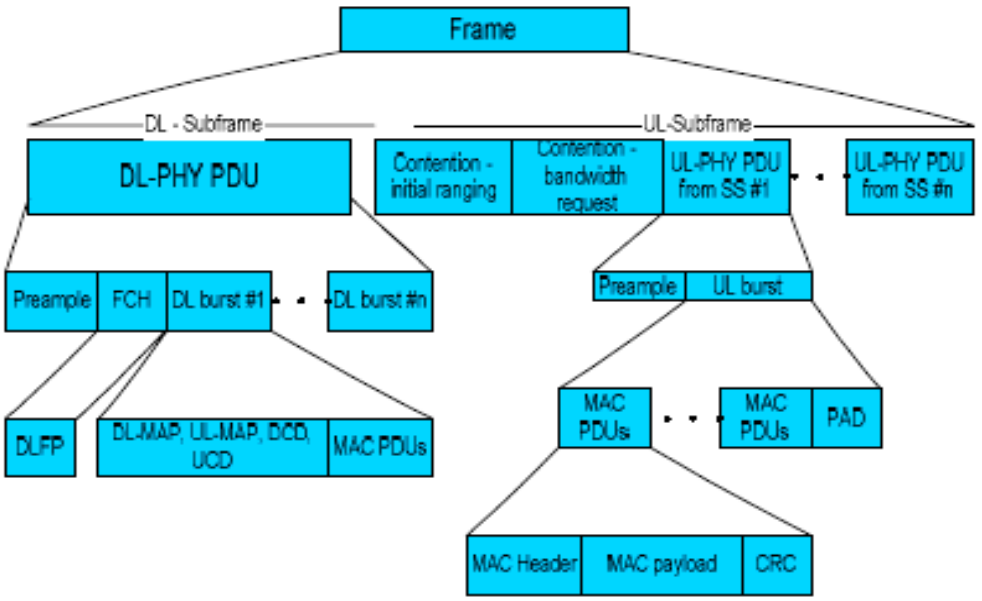
Οι καταιγισμοί άνω ζεύξης, περιέχουν τις PDUs που δημιουργούνται από κάθε σταθμό χωριστά. Υπάρχει και εδώ Preamble που προηγείται κάθε καταιγισμού και προαιρετικά, μεσολαβούν περιοδικά Midamble πεδία στο ενδιάμεσο του καταιγισμού που έχουν σαν στόχο τη διατήρηση του συγχρονισμού. Εδώ, κάθε UL-Burst προέρχεται από διαφορετικό σταθμό και ανήκει σε διαφορετική σύνδεση όπως έχει καθοριστεί κατά τη φάση του ανταγωνισμού και σύμφωνα με τα πρωτόκολλα πολλαπλής εκπομπής ανώτερου στρώματος. Συνεπώς, υπάρχουν αυστηρότερες απαιτήσεις συγχρονισμού για την αποφυγή συγκρούσεων.

10.1.2 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου(Time Division Duplexing)

Στην περίπτωση της τεχνικής αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου, η ανερχόμενη και η κατερχόμενη ζεύξη λειτουργούν στην ίδια συχνότητα αλλά διαχωρίζονται στο χρόνο, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, ορίζοντας χρονοθυρίδες εκπομπής και λήψης. Ένα πλαίσιο TDD έχει καθορισμένη διάρκεια και περιέχει ένα υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης και ένα της κατερχόμενης. Η πλαισιοποίηση στο TDD είναι προσαρμοσμένη στο ότι η χωρητικότητα που κατανέμεται στις δύο ζεύξεις μπορεί να ποικίλει, ενώ δεν είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της ζώνης συχνοτήτων[13].

Στην περίπτωση της TDD λειτουργίας το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης φτάνει πρώτα και ακολουθείται από το υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης. Το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης αρχίζει με ένα προοίμιο που αφορά πληροφορίες για συγχρονισμό. Το υπό-πλαίσιο UL περιέχει ένα διάστημα συναγωνισμού για σκοπούς εύρεσης αρχικού βελησνεκούς, εκχώρησης εύρους ζώνης και για μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου (Protocol Data Units) του Φυσικού

Στρώματος UL από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Το UL-MAP και το DL-MAP περιγράφουν εξ ολοκλήρου τα περιεχόμενα των υπό-πλαισίων UL και DL. Καθορίζουν τους σταθμούς συνδρομητών που λαμβάνουν ή/και εκπέμπουν σε κάθε πλαίσιο, τα υπό-κανάλια στα οποία κάθε σταθμός συνδρομητή εκπέμπει (στο UL), και την κωδικοποίηση και διαμόρφωση που χρησιμοποιείται σε κάθε πλαίσιο και σε κάθε υπό-κανάλι [14], [15].



Σχ.10.3 Δομή πλαισίου για ένα TDD σύστημα

Ανάμεσα στα υποπλαίσια της κατερχόμενης και της ανερχόμενης ζεύξης υπάρχει το κομμάτι TTG, το οποίο έχει ορισμένη διάρκεια και επιτρέπει στο σταθμό βάσης και στους SSs να αλλάξουν λειτουργία (από μετάδοση σε λήψη και αντίθετα). Κατά τη διάρκεια του TTG, ο BS και οι SSs δεν μεταδίδουν ούτε λαμβάνουν. Ένα ανάλογο κομμάτι υπάρχει και μετά από ένα υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης ακολουθούμενο από ένα υποπλαίσιο της κατερχόμενης που ονομάζεται RTG. [8]

10.1.3 Διαμόρφωση OFDM

OFDM είναι η διεργασία εκπομπής αρκετών καναλιών επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας μέσω μιας ζεύξης χρησιμοποιώντας ξεχωριστά υπό-φέροντα (συχνότητες) για κάθε κανάλι επικοινωνίας. Η χρήση του OFDM μειώνει τις επιδράσεις της πολύ-οδικής διάδοσης και καθυστέρησης η οποία είναι πολύ σημαντική για χαμηλότερες συχνότητες και εκπομπή χωρίς οπτική επαφή.

Το OFDM είναι αυτό που κάνει το WiMAX τόσο ελκυστικό. Το OFDM δεν είναι καινούριο. Το εφηύραν αρχικά το 1970, και ενσωματώθηκε αργότερα σε ποικίλες τεχνολογίες DSL (Digital Subscriber Line) καθώς και στο 802.11a. Το OFDM βασίζεται σε μια μαθηματική διεργασία που ονομάζεται γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform), η οποία επιτρέπει να επικαλύπτονται 52 κανάλια χωρίς να χάνουν τα προσωπικά χαρακτηριστικά τους (ορθογωνιότητα). Αυτή είναι μια πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος και δίνει την ευκαιρία στον δέκτη να επεξεργαστεί πιο αποτελεσματικά τα κανάλια. Το OFDM είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στις ασύρματες εφαρμογές εξαιτίας της ανθεκτικότητας που επιδεικνύει στις διάφορες μορφές παρεμβολών και ενεργειακής υποβάθμισης. Εν συντομία, το OFDM παραδίδει ένα σήμα πολύ πιο μακριά με λιγότερες παρεμβολές από ανταγωνιστικές τεχνολογίες.[16], [17]

10.1.4 Διαμόρφωση OFDMA

Το OFDMA(Orthogonical Frequency Division Multi-access) φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτο-διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα διαχωρισμού σε υπο-κανάλια.[17]

Το Φυσικό Στρώμα OFDMA υποστηρίζει λειτουργίες και TDD και FDD. Επίσης υποστηρίζονται τα ίδια επίπεδα διαμόρφωσης. Η MIMO(Multiple Input, Multiple Output), μέθοδος πολλαπλής εισόδου, πολλαπλής εξόδου περιλαμβάνει έναν αριθμό τεχνικών για την αξιοποίηση πολλαπλών κεραιών στον σταθμό βάσης και στο σταθμό συνδρομητή με σκοπό να αυξηθεί η χωρητικότητα και το βελησνεκές του καναλιού. Η δομή του πλαισίου στο Φυσικό Στρώμα OFDMA είναι όμοια με αυτήν του Φυσικού Στρώματος OFDM. Οι αξιοσημείωτες εξαιρέσεις είναι ότι η υπό-καναλοποίηση ορίζεται και στο DL και στο UL, έτσι μηνύματα μετάδοσης εκπέμπονται μερικές φορές ταυτόχρονα (σε διαφορετικά υπό-κανάλια) σαν δεδομένα. Ακόμη, επειδή ορίζεται ένα πλήθος διαφορετικών σχεδίων δόμησης της υπό-καναλοποίησης, το πλαίσιο διαιρείται σε κάποιες ζώνες που η κάθε μια χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό σχέδιο υπό-καναλοποίησης.

Συγκεκριμένα, αυτή η διαμόρφωση έχει πλεονεκτήματα στη ρυθμοαπόδοση, στη λανθάνουσα κατάσταση, τη φασματική αποδοτικότητα και την προηγμένη υποστήριξη κεραιών κάνοντάς το ικανό να παρέχει την υψηλότερη απόδοση από τις σημερινές ευρείες ασύρματες τεχνολογίες περιοχής.

10.2 Ανάλυση των air interfaces του WiMAX

Το WiMAX έχει πέντε παραλλαγές, οι οποίες ορίζονται από το Φυσικό Στρώμα τους. Οι παραλλαγές χωρίζονται ανάλογα αν είναι μονού φέροντος (Single Carrier) ή χρησιμοποιούν OFDM. Κατηγοριοποιούνται περαιτέρω ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων που καλύπτουν: 2- 11 GHz και 10-66 GHz. Στη συνέχεια ακολουθεί παρουσίαση της κάθε παραλλαγής. Ο Πίνακας 10.1 περιγράφει συνοπτικά αυτές τις παραλλαγές / διεπαφές[15]:

Ονομασία	**Λειτουργία**	**LOS/NLOS**	**Συχνότητα**	**Duplexing**
WirelessMAN-SC	**Point-to-Point**	**LOS**	**10-66 GHz**	**TDD, FDD**
WirelessMAN-SCa	**Point-to-Point**	**NLOS**	**2-11 GHZ**	**TDD, FDD**
WirelessMAN-OFDM	**Point-to-Multipoint**	**NLOS**	**2-11 GHZ**	**TDD, FDD**
WirelessMAN-OFDMA	**Point-to-Multipoint**	**NLOS**	**2-11 GHZ**	**TDD, FDD**
WirelessHUMAN	**Point-to-Multipoint**	**NLOS**	**2-11 GHZ**	**TDD**

Πίνακας 10.1 Παραλλαγές του Φυσικού Στρώματος

Οι παραλλαγές που είναι μονού φέροντος (Single Carrier) είναι WirelessMAN-SC και WirelessMAN-SCa, ενώ αυτές που χρησιμοποιούν OFDM είναι WirelessMAN-OFDM, WirelessMAN-OFDMA και WirelessHUMAN.

10.2.1 WirelessMAN-SC(Single carrier) PHY (10-66 GHz)

Οι προδιαγραφές του Φυσικού Στρώματος (PHY), που προορίζεται για χρήση στη ζώνη συχνοτήτων 10-66GHz, σχεδιάστηκε να έχει μεγάλο βαθμό ελαστικότητας, ώστε να δίνει στους παρόχους υπηρεσιών τη δυνατότητα να βελτιστοποιούν την ανάπτυξη των συστημάτων τους, όσον αφορά την τοποθέτηση των κυψελών, το κόστος και τις υπηρεσίες της ραδιομετάδοσης. Προκειμένου να επιτυγχάνεται ευέλικτη χρήση του φάσματος, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι TDD και FDD. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε μετάδοση με μορφή πακέτων, των οποίων ο μηχανισμός πλαισιοποίησης υποστηρίζει προσαρμόσιμα προφίλ πακέτων, στα οποία οι

παράμετροι της μετάδοσης, περιλαμβανομένων της διαμόρφωσης και των σχημάτων κωδικοποίησης, μπορούν να προσαρμοσθούν ξεχωριστά σε κάθε συνδρομητικό σταθμό, πλαίσιο προς πλαίσιο.

Το PHY άνω ζεύξης (uplink) χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό TDMA(βλέπε παράρτημα γ) και DAMA. Ειδικότερα, το uplink κανάλι χωρίζεται σε χρονοσχισμές. Ο αριθμός των χρονοσχισμών που διατίθενται για διάφορες χρήσεις ελέγχεται από το MAC του σταθμού βάσης και μπορεί να διαφοροποιείται, προκειμένου να επιτευχθεί βελτιστοποίηση. Το κανάλι κάτω ζεύξης (downlink) είναι TDM με την πληροφορία για κάθε συνδρομητικό σταθμό να πολυπλέκεται σε ένα μοναδικό συρμό δεδομένων και να λαμβάνεται από όλους τους συνδρομητές που βρίσκονται μέσα στον ίδιο τομέα. Το downlink PHY περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence) που παρεμβάλλει ένα byte-δείκτη (byte-pointer) στην αρχή του ωφέλιμου φορτίου για να βοηθήσει το δέκτη να αναγνωρίσει την αρχή του MAC PDU. Τα bits δεδομένων που έρχονται από το υπόστρωμα σύγκλισης μετάδοσης σε τυχαία σειρά, είναι κωδικοποιημένα με FEC και χρησιμοποιούν QPSK ή 16QAM ή 64-QAM. Το uplink PHY βασίζεται σε TDMA μετάδοση πακέτων. Κάθε πακέτο είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει MAC PDU μεταβλητού μήκους.

10.2.2 WirelessMAN SCa(Single Carrier access) PHY (<11GHz)

Το WirelessMAN-SCa PHY βασίζεται στην τεχνολογία απλού φέροντος και σχεδιάστηκε για NLOS λειτουργία σε ζώνες συχνοτήτων <11GHz. Τα στοιχεία μέσα στο PHY περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- TDD και FDD ορισμούς, με χρήση του ενός από τα δύο
- TDMA uplink
- TDM ή TDMA downlink
- FEC για uplink και για downlink
- Δομή πλαισίων που χρησιμοποιεί αυξημένο συγχρονισμό και εκτίμηση απόδοσης καναλιού σε NLOS και μεγάλης καθυστέρησης περιβάλλον
- Μη ύπαρξη δυνατότητας FEC με χρήση ARQ για ανίχνευση λαθών
- Μορφοποίηση παραμέτρων και MAC/PHY μηνύματα

10.2.3 WirelessMAN-OFDM PHY (<11GHz)

Αυτή η ασύρματη διεπαφή χρησιμοποιεί OFDM και η πρόσβαση είναι μέσω TDMA. Είναι υποχρεωτική για ζώνες απαλλαγμένες από άδειες. Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN – OFDM βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM. Αποσκοπεί κυρίως για σταθερής πρόσβασης κατασκευαστικές αναπτύξεις όπου οι σταθμοί συνδρομητών είναι οικιστικές πύλες φτιαγμένες μέσα σε σπίτια και επιχειρήσεις. Το Φυσικό Στρώμα

OFDM υποστηρίζει υπό-καναλοποίηση στην κατερχόμενη ζεύξη. Υπάρχουν 16 υπό-κανάλια στην κατερχόμενη ζεύξη. Το Φυσικό Στρώμα OFDM υποστηρίζει λειτουργίες TDD και FDD, με υποστήριξη και FDD και H-FDD σταθμών συνδρομητών. Το πρότυπο υποστηρίζει επίπεδα πολλαπλής διαμόρφωσης συμπεριλαμβάνοντας Binary Phase Shift Keying (BPSK), QPSK, 16-QAM, και 64-QAM.

Στο πεδίο της συχνότητας, η περιγραφή περιλαμβάνει τη βασική δομή ενός OFDM συμβόλου. Ένα OFDM σύμβολο αποτελείται από υπο-φέροντα (subcarriers), ο αριθμός των οποίων καθορίζει το μέγεθος του FFT που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα υπάρχουν τρείς τύποι subcarriers:

→ Data subcarriers , για μεταφορά δεδομένων

→ Pilot subcarriers , για διάφορους υπολογιστικούς σκοπούς

→ Null subcarriers, όπου δεν έχουμε καθόλου μετάδοση και χρησιμοποιούνται για τα guard bands, τα μη ενεργά subcarriers και το DC subcarrier.

Στο παρακάτω σχήμα περιγράφεται η δομή ενός OFDM συμβόλου στο πεδίο της συχνότητας.

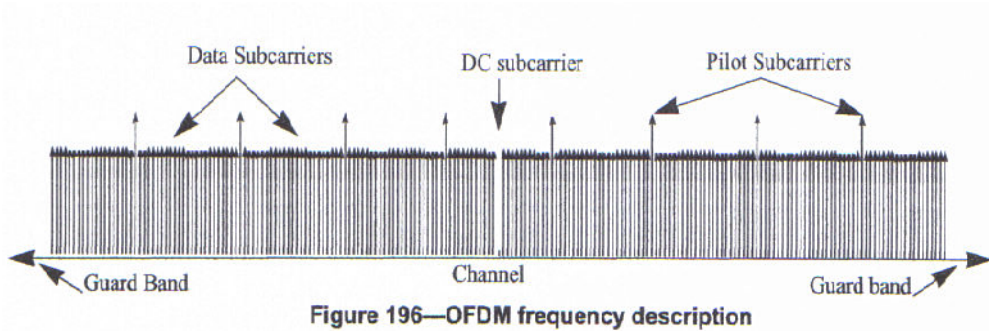


Figure 196—OFDM frequency description

Σχ.10.4 Δομή ενός OFDM συμβόλου στο πεδίο της συχνότητας

10.2.4 WirelessMAN-OFDMA PHY (<11GHz)

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Σε αυτό το σύστημα, η διευθυνσιοδότηση ενός υποσυνόλου των πολλαπλών φερόντων σε ανεξάρτητους δέκτες, παρέχει πολλαπλή πρόσβαση. Δηλαδή, το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN – OFDMA βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM.

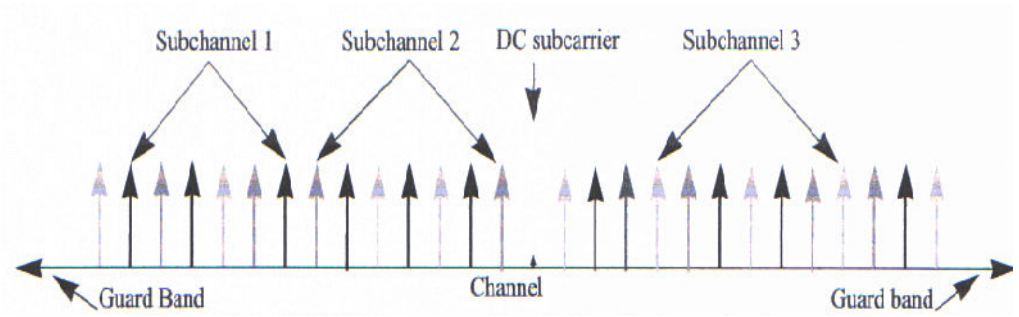
Στο πεδίο της συχνότητας περιλαμβάνει τη βασική δομή ενός OFDMA συμβόλου. Ένα OFDMA σύμβολο αποτελείται από υπο-φέροντα (subcarriers), ο αριθμός των οποίων καθορίζει το μέγεθος του FFT που χρησιμοποιείται. Υπάρχουν αρκετοί τύποι από υπό-φέροντα:

→ Data subcarriers, για μεταφορά δεδομένων

→ Pilot subcarriers, για διάφορους υπολογιστικούς σκοπούς

→ Null subcarriers, όπου δεν έχουμε καθόλου μετάδοση και χρησιμοποιούνται για τα guard bands

→ DC subcarrier



Σχ.10.5 Περιγραφή OFDMA στο πεδίο της συχνότητας

10.2.5 Wireless High Speed Unlicenced Metro Area Network (WirelessHUMAN)

Το WirelessHUMAN είναι όμοιο με τα προαναφερθέντα σχέδια δόμησης κατά OFDM και επικεντρώνεται σε συσκευές UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) και άλλες μη αδειοδοτημένες ζώνες.[15]

10.3 Υπόστρωμα MAC

Το IEEE 802.16 είναι σχεδιασμένο να προσφέρει στους χρήστες ασύρματη πρόσβαση και πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δίνοντας ταυτόχρονα μια πληθώρα από επίπεδα υπηρεσιών. Το πρότυπο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξυπηρετεί εκατοντάδες τερματικά ανά κανάλι όπως και εκατοντάδες χρήστες ανά τερματικό, με καθένα χρήστη να έχει τις δικές του απαιτήσεις σε σχέση με τις υπηρεσίες που θέλει να απολαμβάνει. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες είναι τέτοιες ώστε να είναι κατάλληλες για εφαρμογές TDM έως και εφαρμογές χωρίς καθόλου εγγυήσεις (Best Effort). Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στο πρότυπο, έχουν σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να διαχειρίζονται με τον αποτελεσματικότερο τρόπο το μέσο, όπως και να είναι απόλυτα ευσταθείς και κλιμακώσιμοι[2, 11].

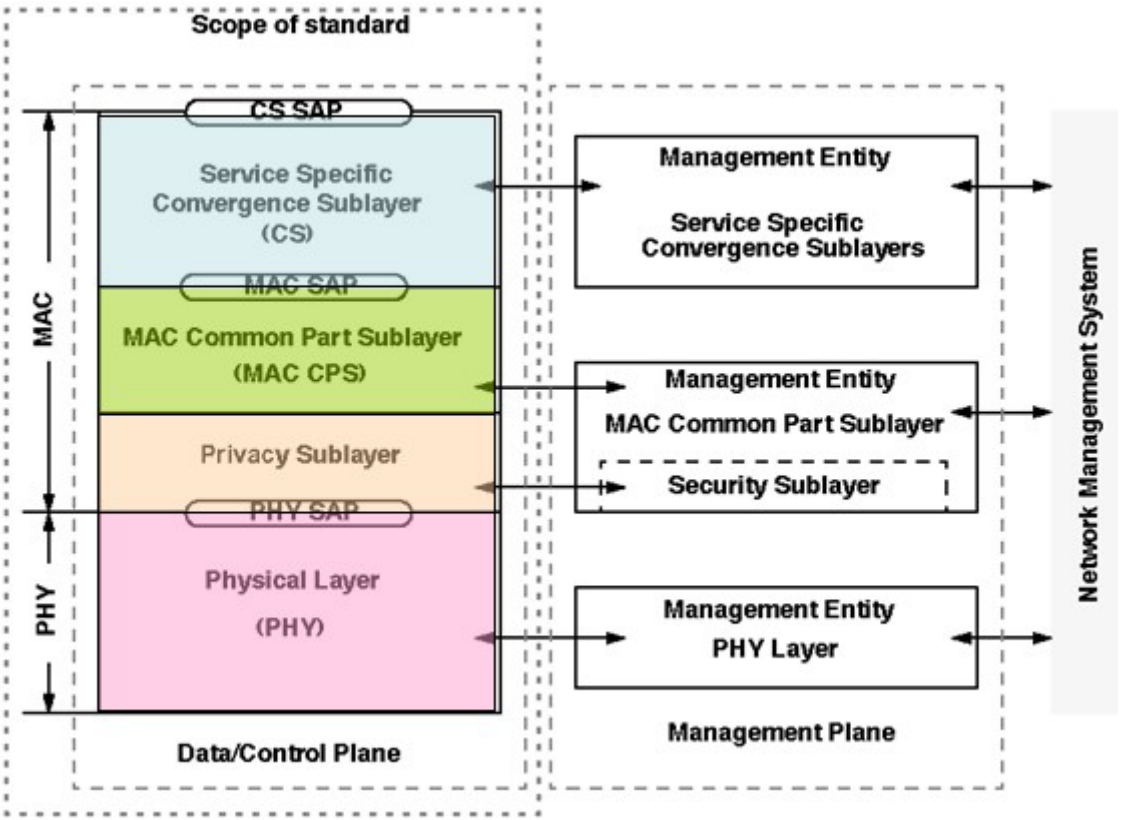
Το πρότυπο IEEE 802.16 καθορίζει, όπως είπαμε, τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI μοντέλου δηλαδή το φυσικό και το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (το οποίο περιλαμβάνει το MAC επίπεδο). Το WiMax αρχικά σχεδιάστηκε για να προσφέρει backhaul λύσεις και έτσι το 802.16 MAC αποτελείται από τρία επιμέρους υποεπίπεδα.

Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω παρατηρούμε : Το πρώτο από αυτά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS) ή διαφορετικά «υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία». Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δουλειά αυτού του υποεπιπέδου είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Μετατρέπει όλα τα εξωτερικά δεδομένα δικτύου που λαμβάνονται μέσω του CS service access point (SAP), σε MAC SDUs που λαμβάνονται από το υπόστρωμα κοινού μέσου (MAC Common Part Sublayer - MAC PS). Αυτό περιλαμβάνει την ταξινόμηση σε κλάσεις των μονάδων δεδομένων Υπηρεσίας (Service Data Units SDUs) και τη συσχέτισή τους με το αντίστοιχο Αναγνωριστικό Σύνδεσης (Connection Identifier CID) και ροή υπηρεσίας (service flow). Παρέχονται τόσες εξειδικεύσεις του υποστρώματος CS, όσα είναι και τα διάφορα πρωτόκολλα με τα οποία πρέπει να προσαρμοστεί μέσω των διεπαφών.

Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) ή διαφορετικά «κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC». Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα όπως η διαχείριση του καναλιού. Το μοντέλο είναι ότι ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα. Μπορεί δηλαδή να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Το MAC CPS παρέχει τις λειτουργίες πυρήνα του MAC υποστρώματος οι οποίες είναι: πρόσβαση στο σύστημα, εξασφάλιση απαιτούμενου εύρους ζώνης, εγκατάσταση, διαχείριση και διατήρηση συνδέσεων. Επιπλέον, λαμβάνει δεδομένα από τα διάφορα υποστρώματα CSs μέσω των MAC SAP τα οποία είναι ομαδοποιημένα στις αντίστοιχες συνδέσεις.

Την τριάδα των υποεπιπέδων του MAC κλείνει το Privacy Sublayer ή διαφορετικά «υποεπίπεδο ασφάλειας». Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση (authentication), ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφηση. Υπηρεσίες εξασφάλισης της απαιτούμενης ποιότητας (Quality of Service – QoS) εφαρμόζονται κατά τη μετάδοση των δεδομένων πάνω από το φυσικό στρώμα. Επιπλέον μηχανισμοί ασφαλείας παρέχονται και από το MAC υπόστρωμα.[12], [14]

Τέλος το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο (PHY) το οποίο ασχολείται και με τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης. Κάθε ένα από αυτά τα υποστρώματα προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες. Στο φυσικό στρώμα εισέρχονται από το ανώτερο υπόστρωμα MAC CPS, μέσω των PHY SAP, δεδομένα χρήστη, δεδομένα ελέγχου του φυσικού στρώματος καθώς και στατιστικά του συστήματος[8].



Σχ.10.6 Στοίβα πρωτοκόλλων 802.16

Η στοίβα πρωτοκόλλων του IEEE 802.16 πρότυπου παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα. Το SAP (service access point) αποτελεί το σημείο επικοινωνίας ενός υποεπιπέδου με το άλλο και είναι ουσιαστικά ότι είναι το port για το TCP/IP.

10.3.1 Υπόστρωμα Σύγκλισης Σχετικό με Υπηρεσίες(Service Specific Convergence Sublayer, CS)

Το υπόστρωμα σύγκλισης (Service Specific Convergence Sublayer, CS) βρίσκεται πάνω από το κοινό υπόστρωμα του MAC (MAC CPS) και παρέχει μια ενιαία διεπαφή με το ανώτερο στρώμα δικτύου, ανεξάρτητα από την κλάση ποιότητας υπηρεσίας που χρησιμοποιείται από το κατώτερο υποεπίπεδο MAC.

Το συγκεκριμένο επίπεδο έχει δύο βασικές λειτουργίες. Η πρώτη είναι να αντιστοιχίζει υπηρεσίες από και προς τις 802.16 MAC συνδέσεις. Η δεύτερη είναι η προετοιμασία των δεδομένων που προέρχονται από το υψηλότερο επίπεδο για την μεταβίβασή τους στο CPS. Αντιστρόφως, δεδομένα που προέρχονται από το CPS, μετατρέπονται έτσι ώστε να μεταβούν σε υψηλότερο επίπεδο. Στην πρώτη περίπτωση το CS μπορεί να συμπιέσει τις επικεφαλίδες, αν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία αυτή PHS (payload header suppression) και στη δεύτερη ανακατασκευάζει τα service data units (SDUs) που έλαβε από το CPS. [8]

Όταν η λειτουργία PHS είναι ενεργοποιημένη, πολύτιμο bandwidth κερδίζεται αφού συμπιέζοντας την επικεφαλίδα μειώνουμε το overhead. Η λειτουργία αυτή βρίσκει εφαρμογή και σε περιπτώσεις που το επίπεδο δικτύου είναι ATM και σε περιπτώσεις που είναι packet-switched.

Το υπόστρωμα CS είναι υπεύθυνο για τις εξής λειτουργίες:

- Παραλαμβάνει τα πακέτα PDUs (Packet Data Units) από τα ανώτερα στρώματα , μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών (SAP).
- Ταξινομεί τα PDUs που παίρνει από τα ανώτερα στρώματα έτσι ώστε τα πακέτα να παραδίδονται στην κατάλληλη σύνδεση για μετάδοση ανάμεσα στα υποστρώματα του MAC.
- Επεξεργάζεται (αν είναι απαραίτητο) τα PDUs, βασισμένο στην ταξινόμηση που έχει προβεί.
- Παραδίδει τα επεξεργασμένα PDUs στην κατάλληλη διεπαφή MAC SAP.
- Παραλαμβάνει CS SDUs από το CPS για να τα μεταδώσει στα ανώτερα στρώματα δικτύου.

Το υπόστρωμα σύγκλισης σχετικό με υπηρεσίες για τη μετάδοση στα ανώτερα στρώματα του πρωτοκόλλου παρέχει δύο προδιαγραφές: τον ασύγχρονο τύπο μετάδοσης CS (asynchronous transfer mode CS, ATM CS) για δίκτυα και υπηρεσίες ATM και το CS πακέτου (packet CS) για υπηρεσίες πακέτων δεδομένων όπως Ethernet, IP and VLAN.

10.3.1.1 ATM CS

Το ATM CS είναι μια λογική διεπαφή που συνδέει τις διαφορετικές υπηρεσίες που παρέχονται από τα MAC CP SAP και εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Αποδοχή των κελιών του ATM από το στρώμα του ATM,
- Εκτελεί την ταξινόμηση των κελιών του ATM,
- Επεξεργάζεται(αν είναι απαραίτητο) τα κελιά του ATM που εδρεύουν στην ταξινόμηση, και
- Παράδοση των επεξεργασμένων κελιών του ATM, δηλ., CS PDUs στο κατάλληλο MAC CP SAP.

Η ταξινόμηση των κελιών που εισέρχονται στο υπόστρωμα ATM CS, γίνεται με βάση ένα ζευγάρι τιμών που υπάρχει σε κάθε σύνδεση ATM. Κάθε τέτοια σύνδεση προσδιορίζεται από το αναγνωριστικό εικονικού μονοπατιού (virtual path identifier, VPI) και το αναγνωριστικό εικονικού καναλιού (virtual channel identifier, VCI) ως εικονικό μονοπάτι (VP) ή εικονικό κανάλι (VC) αντίστοιχα. [8], [13]

10.3.1.2 CS πακέτων

Το CS πακέτων βρίσκεται πάνω από το υπόστρωμα MAC CP και εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

α) Κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων PDUs από τα ανώτερα στρώματα στην κατάλληλη σύνδεση.

β) Συμπτύσσει (προαιρετικά) την επικεφαλίδα.

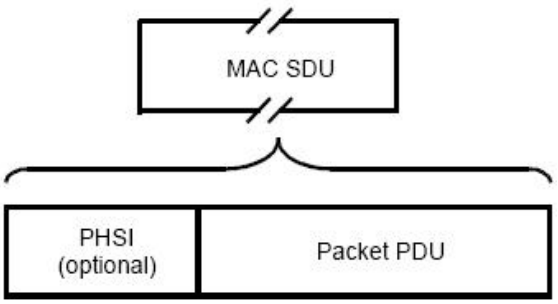
γ)Παράδοση του προκύπτοντος CS PDU στην διεπαφή MAC SAP συσχετίζοντας τα με την υπηρεσία στην ομότιμη οντότητα.

δ) Παραλαμβάνει CS PDUs από την ομότιμη οντότητα.

ε) Επαναφέρει (προαιρετικά) τις συμπτυγμένες επικεφαλίδες.

Το πακέτο CS χρησιμοποιείται για τη μετάδοση όλων των πακέτων βασισμένων σε πρωτόκολλα, όπως είναι αυτό του internet (IP), το IEEE 802.3 (Ethernet) και το IEEE 802.1Q (VLAN). Στην περίπτωση του IP πρωτοκόλλου ,τα πακέτα CS επιτρέπουν την απευθείας μετάδοση των IPv4 πακέτων μέσω του MAC IEEE 802.16.

Όταν τα PDUs κατηγοριοποιηθούν και συσχετιστούν με συγκεκριμένες συνδέσεις πακετάρονται μέσα σε μονάδες SDUs (Service Data Units). Ο δείκτης επικεφαλίδας συμπτυσσόμενου φορτίου (payload header suppression index, PHSI), πρέπει να συμπεριλαμβάνεται όταν μια PHS έχει καθοριστεί για τη συγκεκριμένη σύνδεση. Η δομή ενός SDU δίνεται πιο κάτω[2]:



Σχ.10.7 Δομή του MAC SDU

Η ταξινόμηση των πακέτων γίνεται με βάση μια ομάδα κριτηρίων που ζητείται από ένα πακέτο όταν εισέλθει στο δίκτυο 802.16. Αποτελείται από κάποια χαρακτηριστικά όπως είναι για παράδειγμα η διεύθυνση IP του παραλήπτη, ένας αριθμός προτεραιότητας και μια αναφορά σε μια διεύθυνση σύνδεσης (Connection ID, CID). Αν ένα πακέτο ικανοποιεί τα κριτήρια συσχέτισης τότε προωθείτε στη διεπαφή SAP για παράδοση στη σύνδεση που καθορίζεται από την CID.

10.3.2 Κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC (MAC CPS, Common Part Sublayer)

Το υπόστρωμα αυτό αποτελεί τον πυρήνα του στρώματος MAC και περιέχει τα πρωτόκολλα που είναι αρμόδια για την κατανομή του εύρους ζώνης, καθώς και για την καθιέρωση και διατήρηση μιας σύνδεσης. [17]

- Γίνεται κατηγοριοποίηση των Service Data Units (SDUs) και συσχετισμός τους στην κατάλληλη MAC ροή και στον Connection Identifier (CID).
- Μπορεί να περιλαμβάνει και λειτουργίες όπως η σύμπτυξη της επικεφαλίδας.
- Το εσωτερικό σχήμα του φορτίου του CS είναι μοναδικό για το CS, και το MAC CPS δεν απαιτείται να καταλαβαίνει αυτό το σχήμα ή να αναλύει κάποια πληροφορία που περικλείει αυτό.
- Παρέχει τον πυρήνα της λειτουργικότητας του MAC επιπέδου, την ανάθεση του εύρους, την εγκαθίδρυση συνδέσεων και την συντήρηση τους.
- Λαμβάνει δεδομένα από τα διάφορα CSs, και κάνει την κατηγοριοποίηση σε συγκεκριμένες MAC συνδέσεις.
- Εφαρμόζεται Quality of Service (QoS) στην εκπομπή και στον προγραμματισμό των δεδομένων πάνω από το φυσικό επίπεδο

10.3.3 Υπόστρωμα Ασφαλείας

Η ασφάλεια στο πρότυπο IEEE 802.16 παρέχεται από το υπόστρωμα ασφάλειας (Security Sublayer) που είναι το κατώτερο στρώμα του MAC και είναι υπεύθυνο για την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση των δεδομένων που προέρχονται από το φυσικό στρώμα.

Το υπόστρωμα ασφάλειας εγγυάται την ασφαλή μετάδοση δεδομένων με τη χρήση προτύπου κρυπτογράφησης της πληροφορίας ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στους συνδρομητές. Η κρυπτογράφηση της πληροφορίας παρέχει στους χρήστες την απαραίτητη μυστικότητα και ασφάλεια πέρα από την ευρυζωνική ασύρματη διεπαφή (interface). Ο σταθμός βάσης παρέχει στους χειριστές την ισχυρή προστασία ενάντια στην κλοπή της υπηρεσίας.

Το υπόστρωμα ασφάλειας χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο κρυπτογράφησης που παρέχει μέσα για τη κρυπτογράφηση δεδομένων και ένα βασικό διοικητικό πρωτόκολλο που παρέχει μέσα για τον συγχρονισμό ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τους συνδρομητές. Το IEEE 802.16 χρησιμοποιεί την έννοια μιας σύνδεσης ασφαλείας (security associations ή SAs) για να καθορίσει τις παραμέτρους ασφάλειας που σχετίζονται με τη σύνδεση. Ένα SA είναι ένα σύνολο παραμέτρων

ασφάλειας που μοιράζονται από το BS με ένα ή περισσότερα SSs για να επιτραπεί η ασφαλή ροή επικοινωνίας μέσω του δικτύου 802.16.

10.3.3.1 Κρυπτογράφηση (Encryption)

Το πρωτόκολλο κρυπτογράφησης καθορίζει το σύνολο των ακολουθιών και αλγορίθμων κρυπτογράφησης, και τους κανόνες για να εναποτίθενται αυτοί οι αλγόριθμοι σε ένα MAC PDU. Το Πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει δύο διαφορετικούς αλγορίθμους για την κρυπτογράφηση δεδομένων: το DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κρυπτογράφησης Δεδομένων) και το AES (Advanced Encryption Standard, Προχωρημένο Πρότυπο Κρυπτογράφησης)[16].

Το DES έγινε ευρέως αποδεκτό από τη βιομηχανία για χρήση σε προϊόντα ασφαλείας. Ο αλγόριθμος DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και χρησιμοποιεί ένα κλειδί 64 bits από τα οποία τα 56 χρησιμοποιούνται απευθείας για την κρυπτογράφηση. Τα υπόλοιπα 8 bits χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση λαθών. Τα 8 αυτά bits κάνουν κάθε byte του κλειδιού να έχει μονή ισοτιμία. Ο αλγόριθμος τρέχει 16 φορές για να παράγει μια κρυπτογραφημένη πληροφορία. Έχει αποδειχθεί ότι ο αριθμός των τρεξιμάτων είναι εκθετικά ανάλογος με το χρόνο που χρειάζεται για να αποκρυπτογραφηθεί η πληροφορία. Κάθε νόμιμος χρήστης πρέπει να κατέχει το κλειδί για να μπορεί να αποκρυπτογραφήσει τα δεδομένα. Η επικεφαλίδα κάθε MAC PDU δεν κρυπτογραφείται. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά κατά συνέπεια αυτό το πρότυπο αυξάνει την ασφάλεια του DES, καθώς χρησιμοποιεί τρία κλειδιά κρυπτογράφησης.

Το πρωτόκολλο IEEE 802.16e υιοθέτησε τον αλγόριθμος AES για να αναπτύξει ένα δυνατό αλγόριθμο κρυπτογράφησης. Υπάρχουν τρία διαφορετικά κλειδιά των 128 bits,192 bits και 256 bits που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος AES. Τα 128 bits είναι ικανοποιητικά για τη «μυστική» ταξινόμηση πληροφοριών ενώ τα 256 bits εφαρμόσθηκαν για «άκρως απόρρητες» πληροφορίες. Κάθε κλειδί οδηγεί τον αλγόριθμο να συμπεριφέρεται διαφορετικά και κατά συνέπεια στην πολυπλοκότητα αλλά και στη δύσκολη αποκρυπτογράφηση των δεδομένων. Αυτή η μέθοδος εξασφαλίζει τον έλεγχο ακεραιότητας μηνυμάτων, και παρέχει την προστασία επανάληψης χρησιμοποιώντας τους αριθμούς πακέτων (PN, Packet Number).

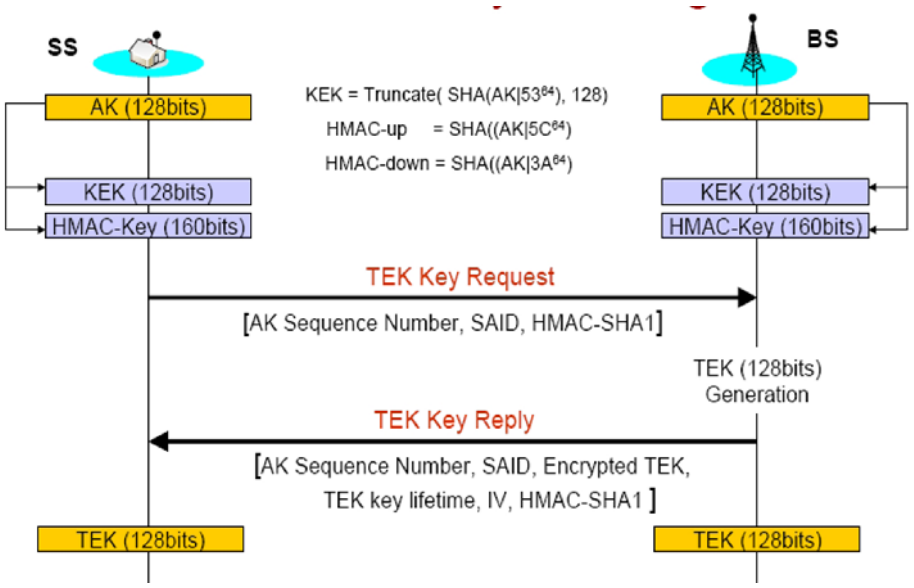
Ανάμεσα στο σταθμό βάσης και στους SSs υπάρχουν συνδέσεις ασφαλείας (Security Associations, SA) για να παρέχουν τις υπηρεσίες της επικύρωσης (authentication), αν δηλαδή ένας SS είναι εξουσιοδοτημένος για να έχει πρόσβαση στα δεδομένα. Υπάρχουν τρεις τύποι τέτοιων συνδέσεων: η αρχική (primary), η

οποία δημιουργείται από έναν SSs στην φάση αρχικοποίησης του, η στατική (static) που λειτουργεί στο σταθμό βάσης και η δυναμική (dynamic) η οποία δημιουργείται και εξαλείφεται στο ασύρματο μέσο για την αρχικοποίηση και τη λήξη συγκεκριμένων υπηρεσιών. Στις συνδέσεις αυτές υπάρχει και η πληροφορία αν χρησιμοποιείται αποκρυπτογράφηση των δεδομένων, για το ποιος αλγόριθμος χρησιμοποιείται αλλά και ο τύπος επικύρωσης.

Οι αρνητικές πτυχές επισήμαναν ότι όταν οι λειτουργίες κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης είναι διαφορετικές, οδηγούν σε ένα αυξανόμενο μέγεθος κώδικα, και ότι η λειτουργία αποκρυπτογράφησης θα ήταν περίπου δύο φορές πιο αργή από τη λειτουργία κρυπτογράφησης. Εντούτοις ακόμα κι αν η λειτουργία αποκρυπτογράφησης είναι πιο αργή από τη λειτουργία κρυπτογράφησης, ο αλγόριθμος είναι πολύ ανταγωνιστικός έναντι των άλλων προτάσεων AES.

10.3.3.2 Πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού

Το πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού (Key Management Protocol ή PKM) εξασφαλίζει την ασφαλή διανομή, τον συγχρονισμό και την ανανέωση των πληροφοριών που σχετίζονται με το κλειδί ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στον SS. Ο σταθμός βάσης επιβάλλει την επικύρωση (authenticate) και την υπό όρους έγκριση των υπηρεσιών δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρωτόκολλο ο κάθε SS που συνδέεται στο δίκτυο αποκτά εξουσιοδότηση (authorization) και δεδομένα που αφορούν το κλειδί αλλά και περιοδικά ζητά επανεξουσιοδότηση (reauthorization) και ανανέωση των πληροφοριών που έχει για το κλειδί. [18]



Σχ.10.8 TEK κρυπτογράφηση ανάμεσα στο SS και BS

Ο σταθμός του συνδρομητή στέλνει αρχικά μια “αίτηση” (Authorization Request, AR) σε ένα επιλεγμένο BS, και αφού εγκριθεί ο SS αποκτά εξουσιοδότηση (authorization). Στην αίτηση αυτή περιλαμβάνεται η ταυτότητα του SS και οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που ο συνδρομητικός σταθμός υποστηρίζει[19].

Ο σταθμός βάσης ελέγχει τα πιστοποιητικά που παρουσιάζει ο SS και καθορίζει τις κοινές ακολουθίες και τις παραμέτρους ασφάλειας. Ο σταθμός βάσης απαντά με μια αίτηση έγκρισης (Authorization Replay). Η απάντηση περιλαμβάνει ένα κλειδί εξουσιοδότησης (Authorization Key, ή AK) που κρυπτογραφείται με το δημόσιο κλειδί του SS, από τις ταυτότητες (SAIDs) των συνδέσεων ασφαλείας (security associations ή SAs) για τις οποίες ο SS είναι εξουσιοδοτημένος να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με τα κλειδιά. Το κλειδί εξουσιοδότησης (Authorization Key, AK) περιλαμβάνει το κλειδί αποκρυπτογράφησης (Key Encryption Key, KEK) και δύο κλειδιά αυθεντικότητας (authentication) μηνύματος (HMACs), ένα για την ανερχόμενη και ένα για την κατερχόμενη ζεύξη.

Οι συνδέσεις δεδομένων ανάμεσα στον BS και στον SS κρυπτογραφούνται, οι BS και οι SS απαιτούν την κοινή πληροφορία του κλειδιού για τις συνδέσεις ασφαλείας που σχετίζονται με εκείνες τις υπηρεσίες/ συνδέσεις. Ένας SS μπορεί να ζητήσει την πληροφορία του κλειδιού γνωστό ως κλειδί κρυπτογράφησης κυκλοφορίας (TEK) από το BS για μια συγκεκριμένη σύνδεση ασφαλείας. Για την απόκτηση του TEK από μια συγκεκριμένη σύνδεση ασφαλείας, θα πρέπει πρώτα να σταλεί ένα αίτημα για TEK από το SS, το οποίο αίτημα περιέχει την ταυτότητα (SAID) της επιθυμητής SA. Εάν ο SS εξουσιοδοτηθεί για τη ζητούμενη SA, ο BS θα δώσει απάντηση.

Η απάντηση του BS θα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:

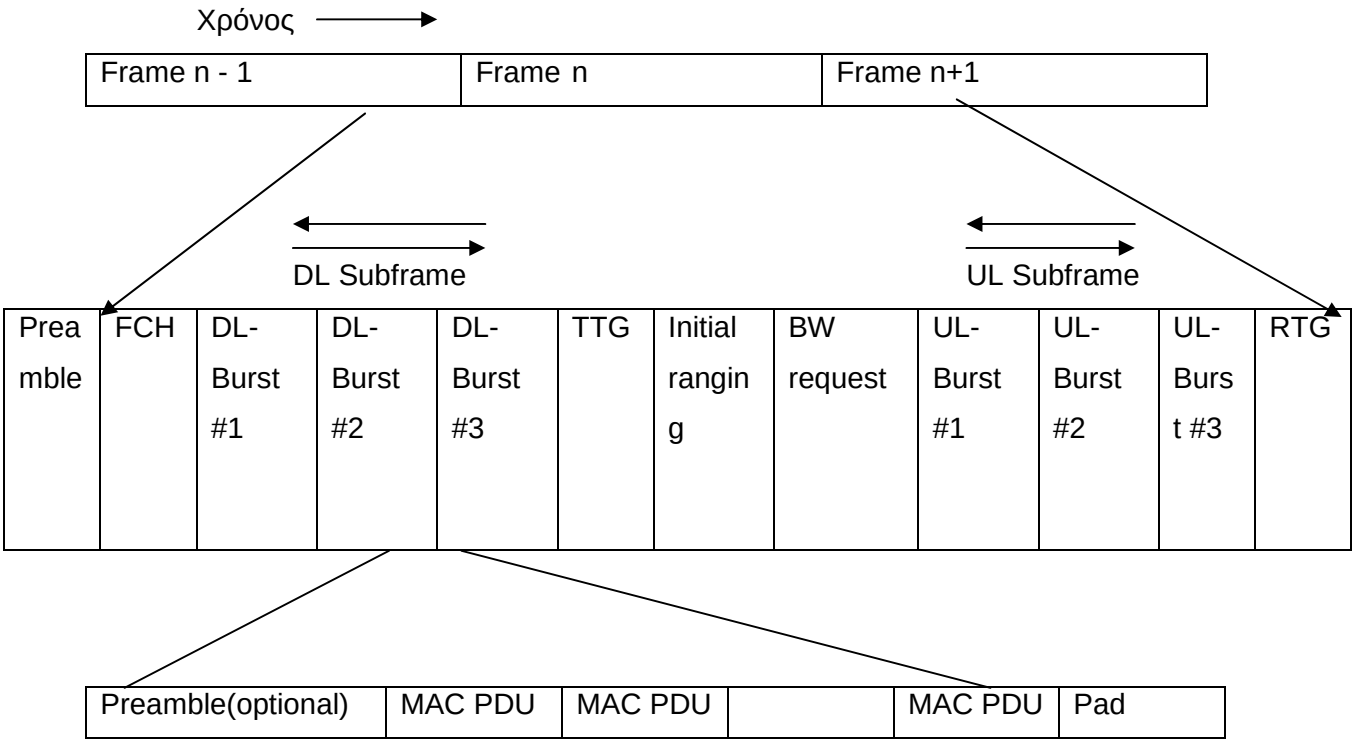
- Το κρυπτογραφημένο TEK για τη ζητούμενη σύνδεση ασφαλείας (SA). Η κρυπτογράφηση του TEK πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το KEK ή το RSA δημόσιο κλειδί της αίτησης SS.
- Ο αριθμός ακολουθίας του AK που θα χρησιμοποιηθεί για την περιοδική ανανέωση των πληροφοριών που σχετίζονται με το κλειδί AK.
- Το IV (Initialization Vector) που θα χρησιμοποιηθεί από το πρωτόκολλο κρυπτογράφησης για την κρυπτογράφηση δεδομένων.

Μετά την αρχική εξουσιοδότηση ο SS ζητά περιοδικά ξανά εξουσιοδότηση η οποία λαμβάνει χώρα και αυτή στη μηχανή καταστάσεων εξουσιοδότησης.

10.4 Υπόστρωμα MAC – Δομή πλαισίου

Στην ανάλυση που ακολουθεί υποθέτουμε ότι έχουμε διαμόρφωση φυσικού στρώματος OFDM και αμφίδρομη διαίρεση χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι η άνω και η κάτω ζεύξη είναι χρονικά πολυπλεγμένες στο ίδιο κανάλι εξασφαλίζοντας έτσι χαμηλό κόστος και αποδοτικότερη χρήση της διατιθέμενης ισχύος. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε να διατηρήσουμε ένα μόνο κύκλωμα αποδιαμόρφωσης και όχι ένα για κάθε ζεύξη. Η έννοια της αμφίδρομης ροής αναφέρεται στην ύπαρξη εντός κάθε μονάδας πληροφορίας, δεδομένων τόσο από την άνω όσο και από την κάτω ζεύξη. Η πολυπλεγμένη, όμως, ροή των δεδομένων από τις δύο ζεύξεις εισάγει συνθετότερες λειτουργίες MAC στρώματος, αφού η επίτευξη και η διατήρηση συγχρονισμού, κρίνεται αναγκαία σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσης.

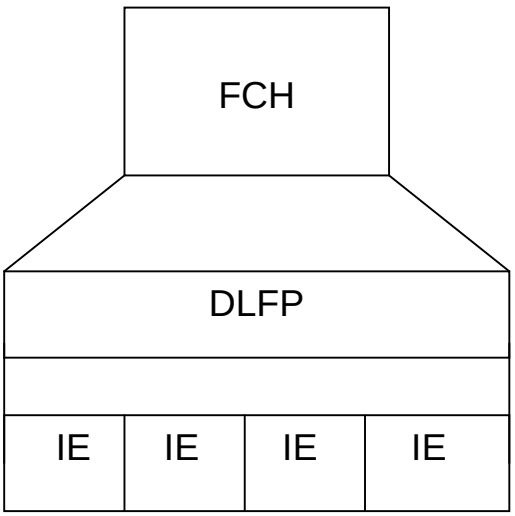
Το MAC υπόστρωμα στέλνει προς το φυσικό στρώμα ένα πλαίσιο το οποίο προκύπτει προσθέτοντας τις απαραίτητες επικεφαλίδες στις μονάδες πληροφορίας του MAC υποστρώματος (MAC PDUs). Στις επικεφαλίδες αυτές περιέχεται όλη η απαιτούμενη πληροφορία που χρειάζεται το αντίστοιχο στρώμα στο δέκτη για να κάνει ανασύνθεση της αρχικής πληροφορίας. Η δομή του πλαισίου MAC που στέλνεται προς το φυσικό στρώμα εικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί[18, 19].



Σχ.10.9 Δομή πλαισίου MAC

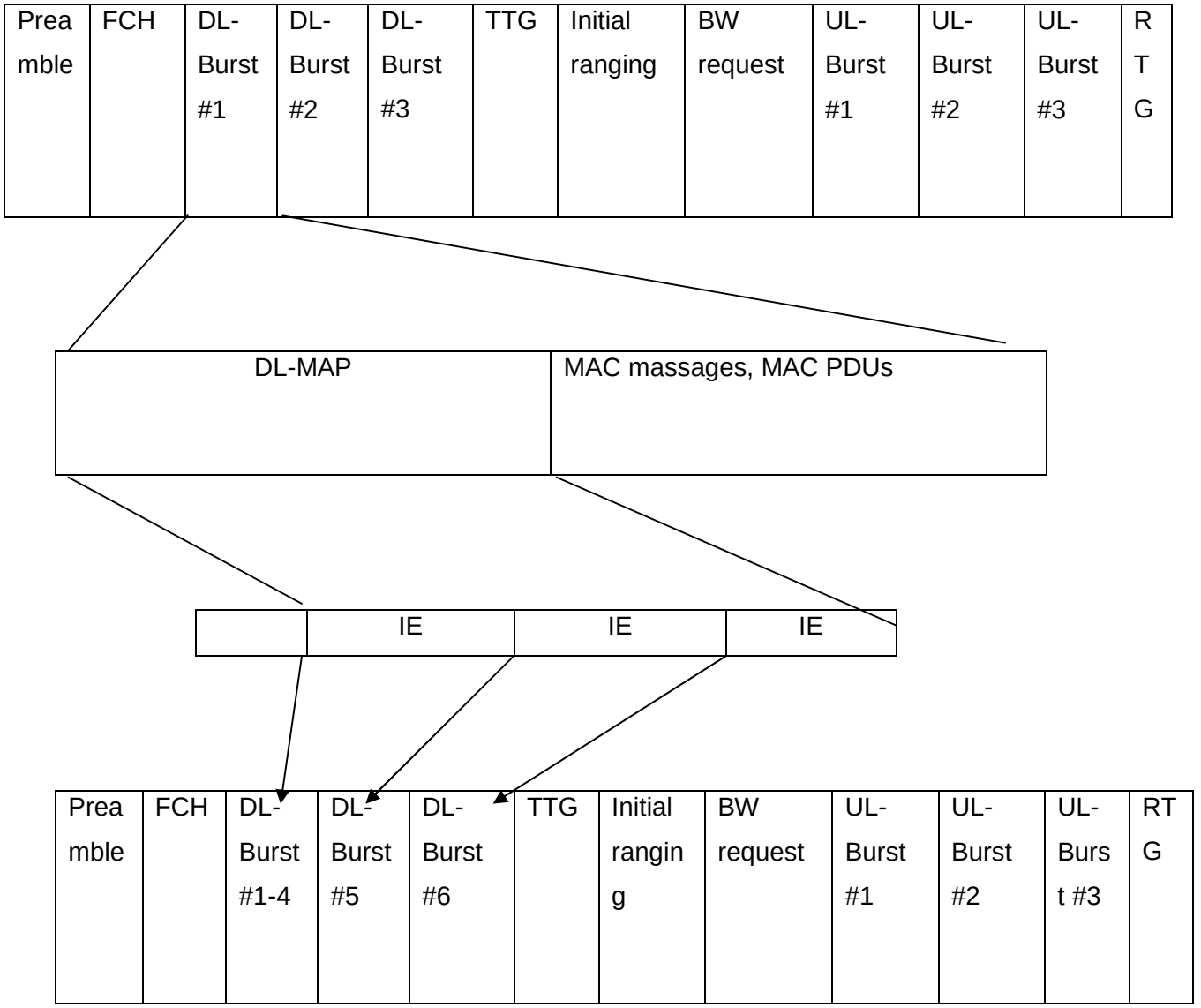
Από το παραπάνω σχήμα, προκύπτει ότι τα υποπλαίσια της άνω και της κάτω ζεύξης είναι διαχωρισμένα από τα πεδία TTG και RTG (transmit / receive transition gap), τα οποία συναντιούνται στην αμφίδρομη διαίρεση χρόνου και εκφράζουν το κενό μετάδοσης κατά την εκπομπή και τη λήψη αντίστοιχα (πολύπλεξη στο πεδίο του χρόνου). Τα παραπάνω πεδία απουσιάζουν κατά την αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας, όπου τα δεδομένα της άνω και της κάτω ζεύξης μεταφέρονται σε διαφορετικές συχνότητες (πολύπλεξη στο πεδίο της συχνότητας).

Το μέγεθος των δύο υποπλαισίων είναι μεταβλητό αφού εξαρτάται κάθε φορά από το μέγεθος της προς μετάδοση πληροφορίας. Σημειώνεται, ότι το κανάλι είναι ασύμμετρο, δηλαδή η κάτω ζεύξη χρειάζεται πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα καναλιού από την άνω ζεύξη, αφού περιέχει τις πληροφορίες από τον κεντρικό σταθμό βάσης προς τους συνδρομητές. Παίζει δηλαδή το ρόλο του εξυπηρετητή. Ξεκινώντας την ανάλυση των στοιχείων του πλαισίου συναντάτε το πεδίο Preamble (Εισαγωγικό πεδίο). Το πεδίο αυτό της επικεφαλίδας χρησιμοποιείται αποκλειστικά για λόγους συγχρονισμού του φυσικού στρώματος. Έχει μήκος δύο συμβόλων και βοηθά στο συγχρονισμό της φάσης και της επικεφαλίδας. Στη συνέχεια, το πεδίο Frame Control Header (FCH) αποτελεί την επικεφαλίδα ελέγχου του πλαισίου και περιέχει τον ενδείκτη πλαισίου κάτω ζεύξης (DL frame prefix – DLFP) ο οποίος ορίζει μέχρι και τέσσερις καταιγισμούς κάτω ζεύξης. Το DLFP έχει μήκος ενός συμβόλου. Περιλαμβάνει τέσσερα Στοιχεία Πληροφορίας (Information Elements, IEs) κάθε ένα από τα οποία ορίζει ένα DL-Burst. Η σημασία των DL-Burst θα αναλυθεί στη συνέχεια. Τα πεδία IE περιλαμβάνουν πληροφορίες για το μήκος και το προφίλ της έκρηξης καθώς και ένα προαιρετικό Preamble για συγχρονισμό.



Σχ. 10.10 Πεδίο FCH επικεφαλίδας

Στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερες εκρήξεις κάτω ζεύξης, αυτές ορίζονται από ένα DL-MAP που ακολουθεί το πεδίο FCH. Ο DL-MAP περιλαμβάνει τους δείκτες IE που δείχνουν στα DL-Bursts που υπολείπονται, τα οποία είναι τοποθετημένα σε κάποιο επόμενο πλαίσιο.



Σχ.10.11 Δομή πλαισίου MAC με χάρτη DL-MAP

Είναι δυνατόν ακριβώς μετά το DL-MAP να ακολουθεί ένας UL-MAP ο οποίος περιέχει αντίστοιχα στοιχεία πληροφορίας IE. Οι δείκτες IE επισημαίνουν την αρχή και το τέλος των UL-Burst καθώς και την έναρξη των χρονοθυρίδων ανταγωνισμού Initial ranging και BW request. Προχωρώντας, συναντιούνται οι καταιγισμοί κάτω ζεύξης (DL-Burst). Κύρια λειτουργία των DL-Burst είναι η μεταφορά των MAC PDUs

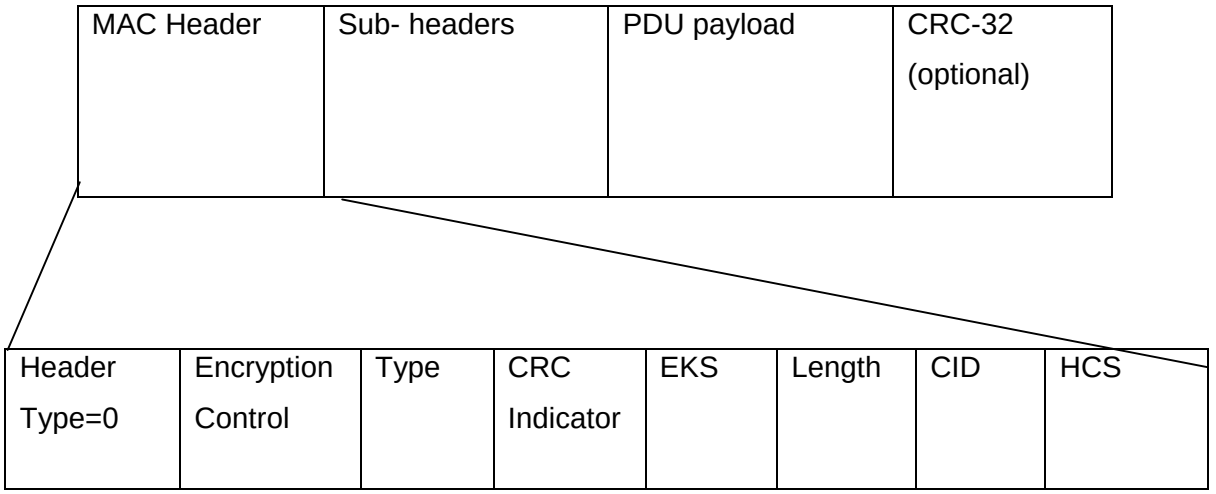
με ίδιο προφίλ εκρηκτικότητας για να απλοποιηθούν οι λειτουργίες του φυσικού στρώματος. Σε κάθε MAC PDU υπάρχει αναγνωριστική ένδειξη της σύνδεσης στην οποία αυτό ανήκει. Παράλληλα, υπάρχει η επιλογή της προσθήκης μιας επιπλέον επικεφαλίδας, του Preamble, το οποίο διαδέχεται κάθε DL-Burst και βοηθάει στο διαχωρισμό τους. Το Preamble σε αυτό το σημείο της επικεφαλίδας έχει μήκος ενός συμβόλου. Το πεδίο Pad αναφέρεται στο «παραγέμισμα» της επικεφαλίδας με επιπλέον ψηφία έως ότου να συμπληρωθεί ακέραιος αριθμός συμβόλων. Αίτηση για αποστολή DL-Burst γίνεται κάθε φορά που οι λειτουργίες του φυσικού στρώματος αδυνατούν να διατηρήσουν το συγχρονισμό.

Στο υποπλαίσιο άνω ζεύξης, υπάρχουν οι χρονοθυρίδες ανταγωνισμού που αντιστοιχούν στα πεδία της επικεφαλίδας Initial ranging και Bandwidth request. Το πρώτο πεδίο περιέχει τα απαραίτητα στοιχεία για την αρχικοποίηση του δικτύου κατά την είσοδο μιας νέας σύνδεσης στο δίκτυο. Το πεδίο BW request είναι ένδειξη της ύπαρξης δεδομένων προς μετάδοση και περιέχει τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης της νέας σύνδεσης[19].

Οι καταιγισμοί άνω ζεύξης, περιέχουν τις MAC PDUs που δημιουργούνται από κάθε σταθμό χωριστά. Υπάρχει και εδώ Preamble που προηγείται κάθε καταιγισμού και, προαιρετικά, μεσολαβούν περιοδικά Midamble πεδία στο ενδιάμεσο του καταιγισμού που έχουν σαν στόχο τη διατήρηση του συγχρονισμού. Εδώ, κάθε UL-Burst προέρχεται από διαφορετικό σταθμό και ανήκει σε διαφορετική σύνδεση όπως έχει καθοριστεί κατά τη φάση του ανταγωνισμού και σύμφωνα με τα πρωτόκολλα πολλαπλής εκπομπής ανώτερου στρώματος. Τέλος, κάθε UL-Burst τελειώνει με το πεδίο Pad για τη συμπλήρωση ακέραιου αριθμού συμβόλων.

10.4.1 Ανάλυση της Μονάδας δεδομένων Πακέτου MAC

Η MAC PDU στο στάδιο αυτό δεν αναφέρεται στη συνολική PDU του στρώματος δύο αλλά στην Μονάδα Πληροφορίας PDU που έχει προκύψει από το στρώμα δικτύου και είναι οργανωμένη σε πακέτα. Για αυτόν τον λόγο, στη συντακτική δομή της επικεφαλίδας υπάρχουν πεδία σχετικά με διόρθωση λαθών (CRC), η οποία είναι μια λειτουργία του στρώματος τρία. Η συντακτική της δομή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχ.10.12 Συντακτική δομή της MAC Packet Data Unit

Αρχικά, η επικεφαλίδα του στρώματος MAC αποτελείται από 6 οκτάδες και υπάρχει ανεξαρτήτως αν μεταφέρονται δεδομένα διαχείρισης ή ελέγχου. Η λειτουργία του κάθε πεδίου είναι η ακόλουθη:

• Header type = 0

• Encryption control. Αποτελεί ένδειξη του αν η πληροφορία που ακολουθεί είναι κρυπτογραφημένη ή όχι.

• Type. Κάθε bit του συγκεκριμένου πεδίου ελέγχει την ύπαρξη ή όχι κάποιας ιδιότητας. Τέτοιες ιδιότητες είναι η ύπαρξη επικεφαλίδας Mesh, σύστημα αυτόματης Απάντησης ARQ, ύπαρξη επικεφαλίδας κατάτμησης ή επανένωσης, ειδική ένδειξη εκτεταμένου τύπου ή όχι, επικεφαλίδα διαχείρισης.

• Cyclic redundancy check (CRC). Ένδειξη του αν χρησιμοποιείται κώδικας ελέγχου κυκλικού πλεονασμού για τον έλεγχο της επικεφαλίδας.

• Encryption key sequence (EKS). Περιέχεται η ακολουθία κλειδιού της κρυπτογράφησης.

• Length. Το μήκος της συνολικής MAC PDU.

• Connection ID. Αντιστοιχεί στον αναγνωριστικό αριθμό της σύνδεσης.

• Header Check Sequence. Έλεγχος λαθών στη MAC Header.

Στο πεδίο Subheader τοποθετούνται τεσσάρων ειδών επικεφαλίδες. Η επικεφαλίδα Mesh αποτελεί ένδειξη της χρησιμοποιούμενης τοπολογίας, η οποία σε περίπτωση που υπάρχει μπαίνει πριν από όλες τις άλλες. Ακολουθεί η επικεφαλίδα

διαχείρισης και οι επικεφαλίδες κατάτμησης και επανένωσης, λειτουργίες οι οποίες θα αναλυθούν στην παράγραφο που ακολουθεί.

Τα υπόλοιπα στοιχεία της MAC PDU είναι το Payload το οποίο περιέχει τη μεταφερόμενη πληροφορία και το πεδίο CRC. Η παρουσία του CRC είναι υποχρεωτική σε πλαίσια διαχείρισης, ενώ σε πλαίσια δεδομένων είναι προαιρετική και καθορίζεται στη φάση σηματοδοσίας ανάλογα με τη ζητούμενη ποιότητα υπηρεσιών.

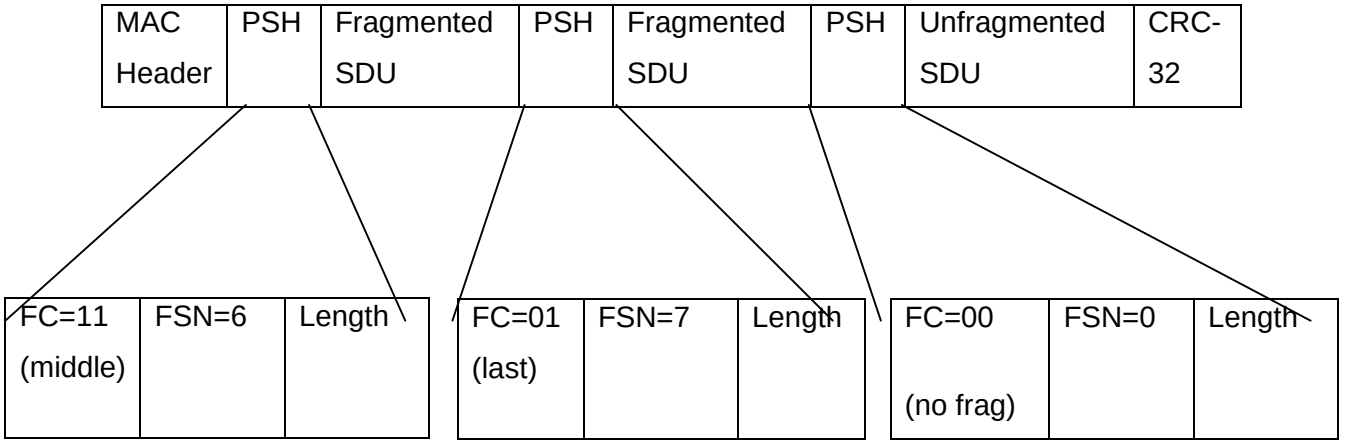
10.4.1.1 Λειτουργίες κατάτμησης – επανένωσης

Με τον όρο κατάτμηση εννοούμε το διαχωρισμό της SDU σε περισσότερες PDUs όταν αυτή ξεπερνά σε μέγεθος τη μέγιστη μονάδα μεταφοράς του εκάστοτε πρωτοκόλλου. Με αυτόν τον τρόπο κερδίζουμε ευελιξία στη διαχείριση μικρών PDUs σταθερού μεγέθους, οι οποίες δεν χρειάζονται ξεχωριστή ένδειξη μήκους ή μεταβλητού μήκους. Λειτουργίες κατάτμησης και επανένωσης συμβαίνουν συνεχώς στο δίκτυο όταν επίκειται η συνεργασία διαφορετικών πρωτοκόλλων και μέσων μετάδοσης.

Απαραίτητη είναι η χρήση επικεφαλίδας κατάτμησης (Fragmentation subheader, FSH) που περιέχει τον αναγνωριστικό αριθμό του κάθε νέου πλαισίου έτσι ώστε να διατηρείται η σωστή σειρά των πακέτων κατά την επανένωση. Παράλληλα, στην επικεφαλίδα περιέχεται και ένας ενδείκτης ελέγχου κατάτμησης (Fragmentation Control, FC) μήκους 2 ψηφίων που δείχνει σε ποιο σημείο του κατατμημένου πλαισίου αντιστοιχεί το τρέχον πλαίσιο. Πακέτα που δεν έχουν υποστεί κατάτμηση έχουν μηδενισμένα τα πεδία FC και FSN.

- FC=10 → first
- FC=01 → last
- FC=11 → middle
- FC=00 → no fragmentation

Η αντίστροφη λειτουργία της κατάτμησης είναι η επανένωση η οποία λαμβάνει χώρα στο δέκτη. Πρόκειται για την ανασύνθεση του αρχικού πλαισίου σε μια PDU, επανενώνοντας τα SDUs θραύσματα. Το PSH (Packing Subheader) περιλαμβάνει συνδεδεμένα αλυσιδωτά SDUs που έχουν υποστεί κατάτμηση, με σκοπό να δημιουργηθούν περισσότερα PDUs[11], [13].



Σχ.10.13 Λειτουργία επανένωσης

10.5 Μηχανισμός Αίτησης Αυτόματης Απάντησης

Ο Μηχανισμός Αίτησης Αυτόματης Απάντησης (Automatic Repeat Request, ARQ) είναι ένας επιπλέον προαιρετικός μηχανισμός ελέγχου σωστής λειτουργίας, που η ύπαρξή του ή όχι διαπραγματεύεται ξεχωριστά για κάθε σύνδεση κατά τη φάση της σηματοδοσίας. Οι SDUs διαχωρίζονται σε blocks σταθερού μεγέθους. Το τελευταίο block μπορεί να είναι πιο μικρό από τα υπόλοιπα εφόσον δεν υπάρχουν άλλα SDU προς αποστολή. Κάθε πλαίσιο αριθμείται με τον αντίστοιχο ακολουθιακό αριθμό (Block Sequence Number, BSN) ο οποίος αντιστοιχεί στο πρώτο block του πλαισίου. Δύο διαδοχικά πλαίσια διαφέρουν στον αναγνωριστικό αριθμό τους κατά το πλήθος τον block που μεταφέρονται σε ένα πλαίσιο. Το πλήθος αυτών των block δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό αφού καθορίζεται κάθε φορά από το πλήθος των SDUs που χώρεσαν στο καθορισμένου μήκους πλαίσιο. Κατάτμηση επομένως γίνεται μόνο στα όρια του ARQ block, εφόσον μια SDU δεν χωράει ακριβώς στον υπολειπόμενο κενό χώρο του block.

Τα αναγνωριστικά ARQ μεταφέρονται είτε στο τέλος κάποιου πλαισίου είτε μόνα τους ως πολύ μικρού μήκους πακέτα. Τα πακέτα ARQ δεν υφίστανται κατάτμηση, λόγω του μικρού μήκους τους. Υπάρχουν τέσσερα είδη πακέτων ανατροφοδότησης ARQ :

• Επιλεκτικής Επαλήθευσης (Selective Acknowledgement, ACK). Εδώ στέλνεται επαλήθευση για κάθε σωστό block που έλαβε ο δέκτης. Η επαλήθευση αυτή περιέχει τον ακολουθιακό αριθμό του επόμενου block.

• Σωρευτικής Επαλήθευσης (Cumulative ACK). Στέλνεται μόνο ένα ACK για κάθε σωστό λαμβανόμενο πλαίσιο. Η επαλήθευση περιέχει τον αριθμό του τελευταίου block του πλαισίου, αυξημένο κατά ένα. Αυτός ο τύπος ARQ είναι περισσότερο ευαίσθητος σε λάθη.
• Σωρευτική και Επιλεκτικές Επαληθεύσεις. Πρόκειται για συνδυασμό των δύο παραπάνω τύπων. Εφόσον εντοπιστεί λανθασμένο πλαίσιο στέλνονται ξεχωριστές ACK για κάθε block έως ότου αποκατασταθεί ο συγχρονισμός. Στη συνέχεια, στέλνονται ξανά σωρευτικές επαληθεύσεις.
• Σωρευτική Επαλήθευση με προσθήκη ACK επόμενου block. Σε περίπτωση που ληφθεί κάποιο εσφαλμένο πλαίσιο τότε στέλνεται ACK που υποδηλώνει το λανθασμένο block.

10.6 Αρχικοποίηση δικτύου και εγκατάσταση σύνδεσης

Πριν την εγκατάσταση μιας σύνδεσης προηγείται η φάση της σηματοδοσίας. Στο δίκτυο ρέουν πακέτα που ανήκουν τόσο σε ανεξάρτητα δεδομένα, όσο και σε συνδέσεις διαχείρισης. Μια σύνδεση διαχείρισης μπορεί να μεταφέρει στοιχεία για περισσότερες συνδέσεις δεδομένων. Υπάρχουν τριών ειδών συνδέσεις διαχείρισης οι οποίες ορίζουν τρεις διαφορετικές ποιότητες προσφερόμενων υπηρεσιών:
• Βασική σύνδεση διαχείρισης. Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση σύντομων και επειγόντων μηνυμάτων. Εξασφαλίζει πολύ γρήγορη και ασφαλή μεταφορά, παρέχοντας το ανώτερο επίπεδο ποιότητας, κατάλληλη για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου.
• Πρωτεύουσα σύνδεση διαχείρισης. Χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερα μηνύματα με μεγαλύτερη ανοχή στην καθυστέρηση.
• Δευτερεύουσα σύνδεση διαχείρισης. Αναφέρεται σε μηνύματα με ανοχή στην καθυστέρηση ακολουθώντας νοοτροπία βέλτιστης προσπάθειας ως προς την πολιτική παράδοσης.

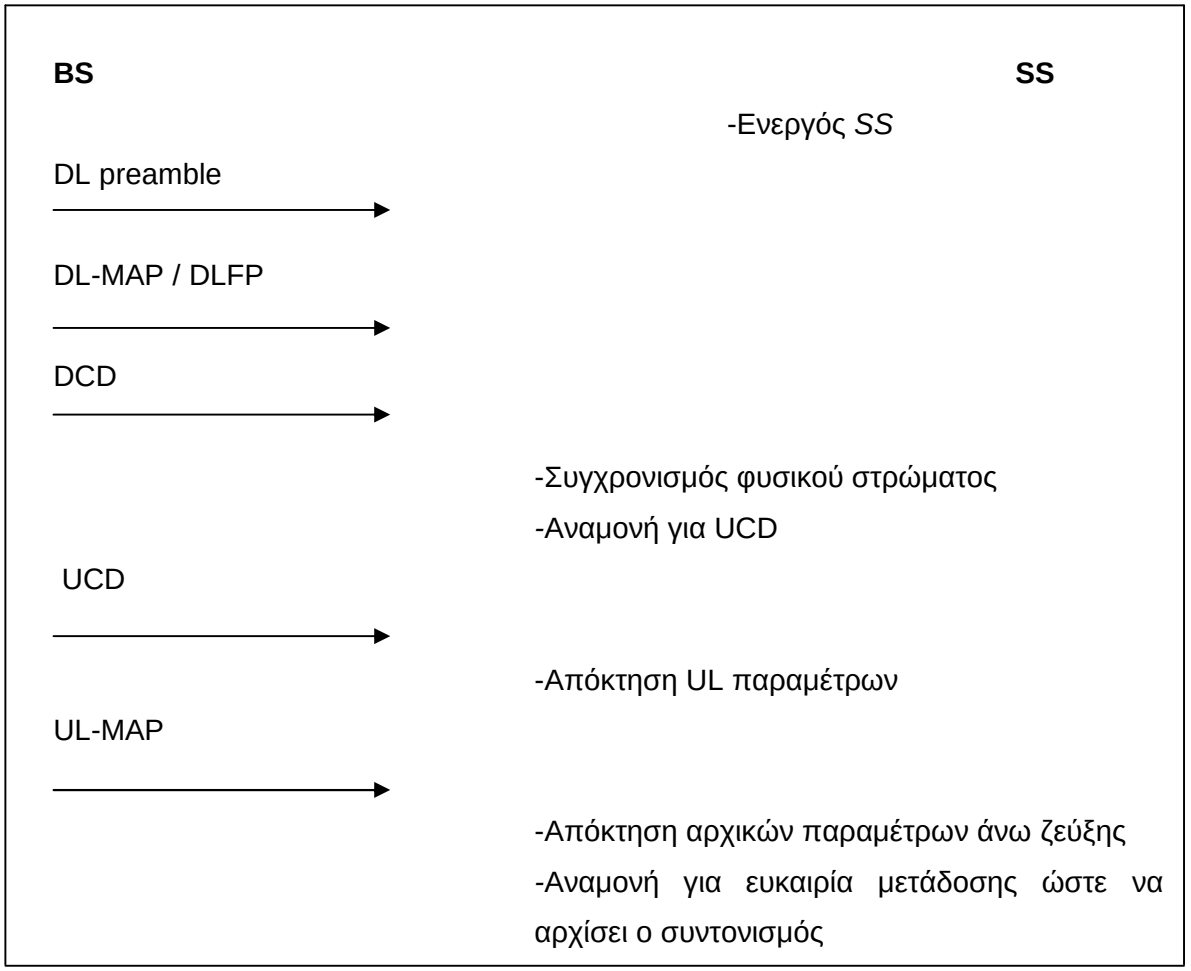
Οι συνδέσεις διαχείρισης εγκαθίστανται σαν ζευγάρι άνω και κάτω ζεύξης με έναν ενιαίο αναγνωριστικό αριθμό (Connection ID, CID). Το CID έχει μήκος 16 ψηφίων και μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 65278 διαφορετικές συνδέσεις. Επίσης, υποστηρίζεται η ύπαρξη δεσμευμένων CID που υποστηρίζουν λειτουργίες πολλαπλής εκπομπής και αρχικοποίησης δικτύου. Μόλις ολοκληρωθεί η φάση της σηματοδοσίας αρχίζουν οι διαδικασίες για την εγκατάσταση της σύνδεσης. Το πρώτο στάδιο για την αρχικοποίηση της σύνδεσης είναι να βρεθεί ένα ελεύθερο κανάλι κάτω ζεύξης και να επιτευχθεί συγχρονισμός με τον BS. Αρχικά, ο SS ελέγχει αν είναι διαθέσιμο το τελευταίο κανάλι κάτω ζεύξης που χρησιμοποίησε σε προηγούμενη σύνδεση. Αν αυτό δεν συμβαίνει ελέγχει διαδοχικά όλα τα κανάλια κάτω ζεύξης μέχρι

τη στιγμή που θα λάβει ένα έγκυρο σήμα κάτω ζεύξης. Μόλις το φυσικό στρώμα επιτύχει συγχρονισμό το υπόστρωμα MAC ξεκινά τις προσπάθειες για τον καθορισμό των παραμέτρων μετάδοσης για τα δύο κανάλια, άνω και κάτω ζεύξης.

Για την απόκτηση των παραμέτρων κίνησης της κάτω ζεύξης, αναζητείται από το υπόστρωμα MAC η ύπαρξη ενός DL-MAP μηνύματος διαχείρισης. Μόλις ληφθεί τουλάχιστον ένα DL-MAP, ο SS έχει έρθει σε συγχρονισμό με τον BS. Στη συνέχεια, ακολουθούν μηνύματα τόσο DL-MAP, όσο και μηνύματα περιγραφείς κάτω ζεύξης (Downlink Channel Descriptor, DCD). Ο SS παραμένει συγχρονισμένος μόνο για όσο διάστημα λαμβάνει αυτούς τους τύπους μηνυμάτων.

Διακοπή των μηνυμάτων DL-MAP και DCD σημαίνει αποσυγχρονισμό και έναρξη των διαδικασιών για εκ νέου αποκατάσταση του συγχρονισμού. Το γεγονός ότι η προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσίας καθορίζεται από τους περιγραφείς κίνησης που ανταλλάσσονται σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσης δείχνει ότι είναι εφικτή η αλλαγή της ποιότητας μέσω της σύνδεσης καθώς και η διαφοροποίηση της ποιότητας μεταξύ χρηστών που χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους.

Για την απόκτηση όλων των παραμέτρων μετάδοσης απαραίτητη είναι η απόκτηση και των παραμέτρων άνω ζεύξης. Έτσι, μετά τη φάση του συγχρονισμού, ο SS περιμένει για περιγραφείς κίνησης UDC και UL-MAP. Μόλις βρεθεί κάποιο ελεύθερο κανάλι άνω ζεύξης και ελεγχθούν από τον SS τα πεδία Initial ranging και Bandwidth request που περιγράφουν την κίνηση το κανάλι δεσμεύεται από τον SS, εφόσον βέβαια τηρούνται οι απαιτήσεις ποιότητας του σταθμού. Παράλληλα, ενημερώνεται και ο SS MAC με τα στοιχεία της ζεύξης. Η ζεύξη αυτή παραμένει στο SS MAC μόνο για όσο διάστημα λαμβάνονται μηνύματα UDC και UL-MAP. Μόλις αυτά διακοπούν το συγκεκριμένο κανάλι άνω ζεύξης δε χρησιμοποιείται πλέον για μετάδοση[4]. Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



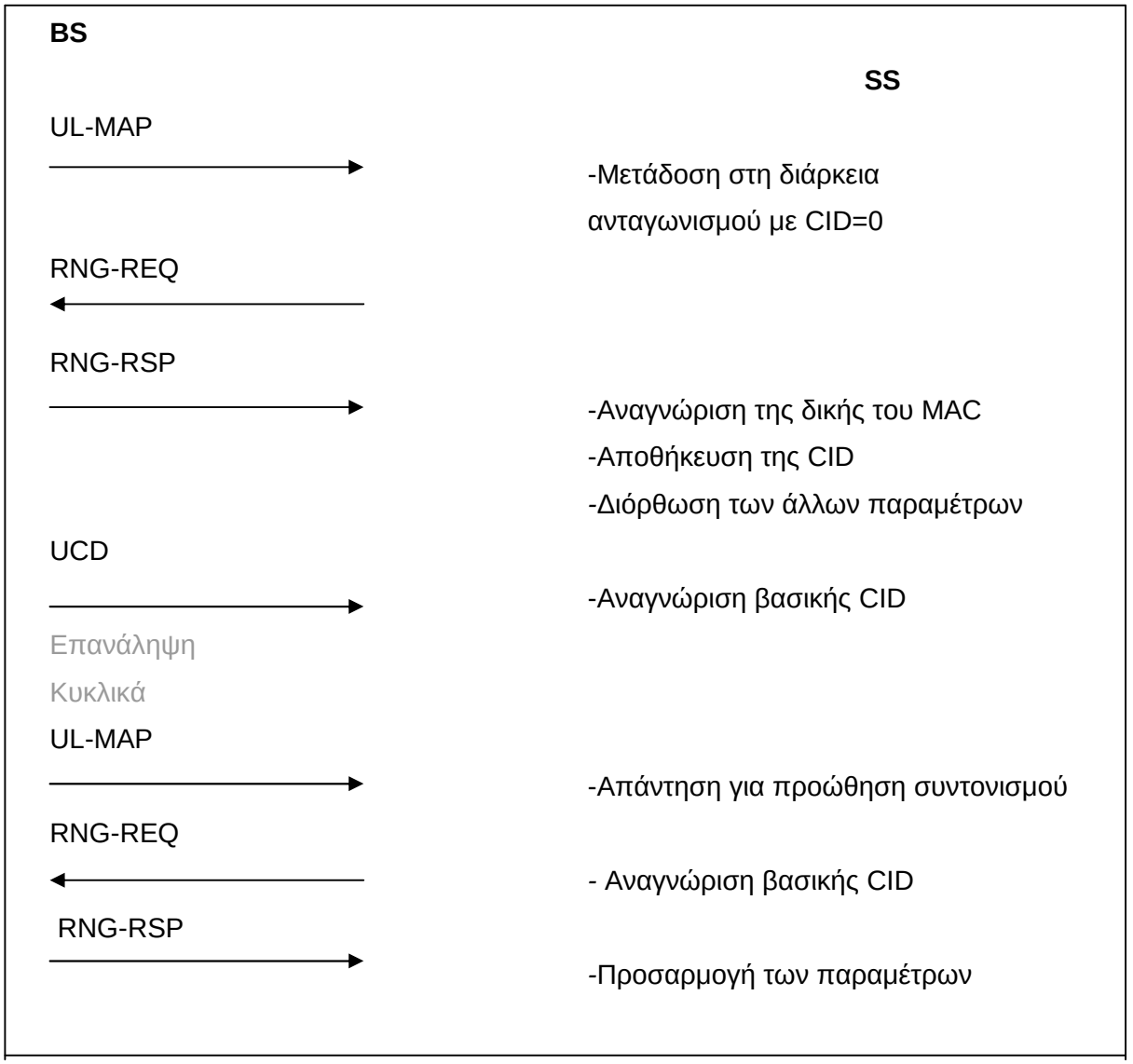
Σχ.10.14 Εύρεση καναλιού και απόκτηση παραμέτρων άνω ζεύξης

Το επόμενο βήμα είναι η εξασφάλιση του συντονισμού SS και BS. Η έννοια του συντονισμού (ranging) αναφέρεται στην απόκτηση της σωστής χρονικής απόστασης στον SS έτσι ώστε κάθε μετάδοση από τον SS να είναι ευθυγραμμισμένη με το σύμβολο έναρξης της χρονοθυρίδας. Ο SS στέλνει αίτηση συντονισμού στον BS (RNG-REQ). Μόλις η ισχύς εκπομπής φτάσει στο επιθυμητό σημείο ο BS απαντά με μήνυμα RNG-RSP που περιέχει απαραίτητα τα εξής στοιχεία:

• Βασικό και Πρωτεύων αναγνωριστικό αριθμό διαχείρισης (management CID)
• Επιτρεπόμενο επίπεδο ισχύος RF και συχνότητα εκπομπής
• Διόρθωση της χρονικής απόστασης συντονισμού
• Πληροφορίες για την εξέλιξη του συντονισμού

Μηνύματα RNG-RSP στέλνονται μέχρι ο SS να ενημερωθεί για επιτυχής εξέλιξη του συντονισμού. Σημειώνουμε ότι σε περίπτωση που ζητηθεί από τον BS μια στάθμη ισχύος υψηλότερη από αυτήν που ο SS μπορεί να παρέχει, τότε ο BS προσαρμόζει τα επίπεδα ισχύων των γειτονικών σταθμών συνδρομητών, ώστε να

δοθεί στον SS το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας εκτελείται περιοδικά έλεγχος συντονισμού και αυτόματη προσαρμογή όταν επίκειται αποσυγχρονισμός[11].



Σχ.10.15 Διαδικασία συντονισμού και αυτόματης προσαρμογής

Την επίτευξη συντονισμού ακολουθεί η διαπραγμάτευση των βασικών ιδιοτήτων της σύνδεσης (Basic Capabilities). Αυτό συμβαίνει με ανταλλαγή μηνυμάτων SBC-REQ και SBC-RSP. Η απάντηση που στέλνει ο BS περιέχει μια ένωση των κοινών ιδιοτήτων SS και BS. Είναι ουσιαστικά το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης χαρακτηριστικών της σύνδεσης, όπως είναι τα εξής:

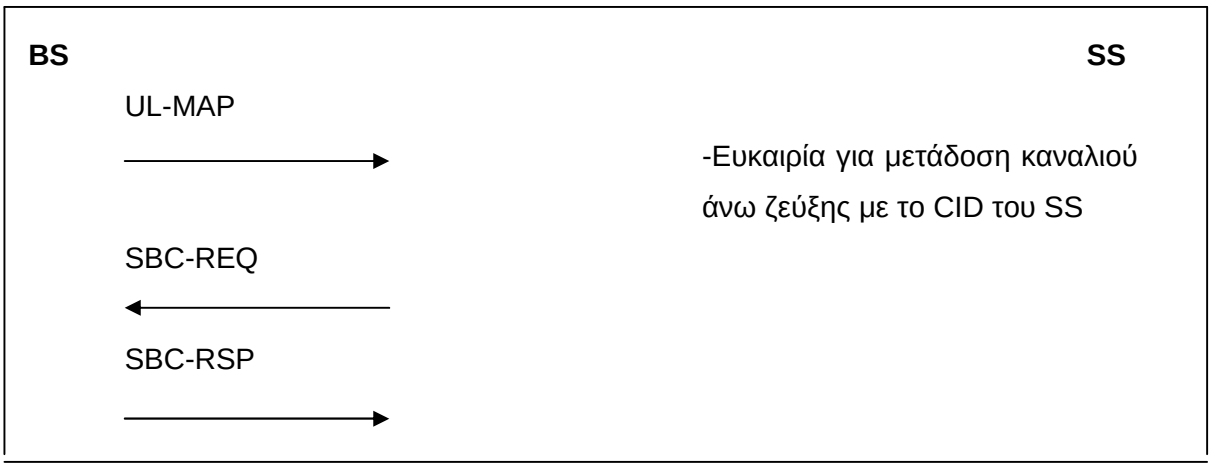
• Είδος πολύπλεξης FDD ή HFDD
• Μήκος πεδίων TTG και RTG (από 0 έως 100μs)
• Ισχύ μετάδοσης

Στην περίπτωση που η χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση φυσικού στρώματος είναι OFDM, οι μεταβλητές υπό διαπραγμάτευση είναι:

• Χαρακτηριστικά διαμόρφωσης / αποδιαμόρφωσης (64QAM, χρησιμοποιούμενη κωδικοποίηση, αριθμός πολυπλεγμένων φερόντων)

• Προτεραιότητα σε περιόδους ανταγωνισμού

• Μήκος πεδίου FSN (3 ή 8 bit)



Σχ.10.16 Διαπραγμάτευση χαρακτηριστικών σύνδεσης

Ακολουθούν ενέργειες εξουσιοδότησης και αποδοχής του SS καθώς και η ανταλλαγή κλειδιού ώστε να μπορεί να πραγματοποιήσει ο SS μια ασφαλή σύνδεση. Ο BS, παίζοντας το ρόλο του εξυπηρετητή υπηρεσιών, εφοδιάζει το νέο σταθμό συνδρομητή με ένα αναγνωριστικό πελάτη και του παρέχει ένα κλειδί εξουσιοδότησης για να χρησιμοποιεί κατά την διεξαγωγή των συνδέσεων. Τέλος, ο BS εξασφαλίζει στον SS τη χρήση όλων των βασικών μηχανισμών ασφαλείας και πιστοποίησης αυθεντικότητας.

Έχοντας ολοκληρώσει τις ενέργειες για εξασφάλιση αυθεντικότητας, μένει πλέον η εγγραφή (Registration) του SS στο δίκτυο. Πρόκειται για μια διαδικασία διαχείρισης κατά την οποία ο SS αποκτά όλες τις ιδιότητες του MAC στρώματος καθώς και υπηρεσίες ARQ και CRC για τον έλεγχο λαθών.

11. Mobile WiMax

Το κινητό WiMAX αναβαθμίζει τις ασύρματες επικοινωνίες ένα βήμα πιο μπροστά και καθιστά ικανή την λειτουργία των εφαρμογών, βασισμένες σε κυψέλες, σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα. Για παράδειγμα, το κινητό WiMAX επιτρέπει την εκπομπή ενός streaming video από ένα επιταχυνόμενο αστυνομικό ή άλλο όχημα ειδικής ανάγκης, με ταχύτητες που μπορούν να ξεπεράσουν τα 100km/h. Ενδεχομένως λοιπόν στην συγκεκριμένη περίπτωση, αντικαθιστά τα κινητά τηλέφωνα και την μεταφορά δεδομένων μέσω τηλεπικοινωνιακών standard. Εκτός του ότι το WiMAX είναι ικανό να υποστηρίξει τέσσερεις μορφές επικοινωνίας προσφέρει επίσης ανώτερη διαπεραστικότητα κτιρίων και βελτιωμένα μέσα ασφάλειας σε σχέση με το σταθερό WiMAX. Το κινητό WiMAX θα είναι κατάλληλο για ανερχόμενες υπηρεσίες όπως το mobile TV και gaming[9], [10],[13] .

11.1 Δίκτυα WiMAX φορητής πρόσβασης

Το πρότυπο IEEE 802.16e και το IEEE 802.16e-2005 είναι τροποποιήσεις της βασικής προδιαγραφής 802.16-2004 και στοχεύει στην κινητή αγορά με την προσθήκη της φορητότητας και της δυνατότητας για τους κινητούς πελάτες να συνδέονται άμεσα με το δίκτυο WiMAX. Είναι βελτιστοποιημένη για τα δυναμικά κινητά ραδιοκανάλια και παρέχει υποστήριξη για διαπομπές (handoffs) και περιαγωγή. Χρησιμοποιεί Scalable Orthogonal Frequency Division Mult - Access (SOFDMA), μια τεχνική διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων που χρησιμοποιεί sub-channelization. Με την SOFDMA ένας μόνο πελάτης ή σταθμός συνδρομητών μπορεί να μεταδώσει χρησιμοποιώντας όλα τα υποκανάλια ή οι πολλαπλοί πελάτες μπορούν να μεταδώσουν με το κάθε ένα να χρησιμοποιεί ένα μέρος του συνολικού αριθμού υπο-καναλιών ταυτόχρονα. Οι πάροχοι υπηρεσιών που αναπτύσσουν το 802.16e μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο για να παρέχουν σταθερή υπηρεσία.

Η ομάδα εργασίας του WiMAX Forum αναπτύσσει τα προφίλ του συστήματος που θα καθορίζουν τα υποχρεωτικά και προαιρετικά χαρακτηριστικά ενός προϊόντος Mobile WiMAX που είναι απαραίτητα για να μπορέσει αυτό να πιστοποιηθεί από το WiMAX Forum. Η πρώτη έκδοση (Release 1) για προφίλ συστημάτων Mobile WiMAX καλύπτει εύρος ζώνης διαύλου 5,7,8.75 και 10MHz για συχνότητες 2.3, 2.5 και 3.5GHz.

11.2 Γενικά Χαρακτηριστικά Mobile WiMAX

Τα συστήματα Mobile WiMAX προσφέρουν κλιμάκωση (scalability) τόσο στην τεχνολογία πρόσβασης του μέσου όσο και στην αρχιτεκτονική του δικτύου, παρέχοντας έτσι μεγάλη ευελιξία στις επιλογές ανάπτυξης του δικτύου και στις προσφερόμενες υπηρεσίες. Μερικά από τα γενικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος Mobile WiMAX είναι:

- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης**: Η χρήση κεραιών MIMO καθώς και ευέλικτων σχημάτων sub-channelization, εξελιγμένης κωδικοποίησης και διαμόρφωσης επιτρέπουν στην τεχνολογία Mobile WiMAX να υποστηρίζει μέγιστους ρυθμούς κάτω ζεύξης έως 63Mbps ανά τομέα και άνω ζεύξης έως 28Mbps ανά τομέα για δίαυλο εύρους 10MHz.
- **Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS)**: Η sub-channelization και τα σχήματα σηματοδοσίας που βασίζονται στο MAC παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για βέλτιστη κατανομή του διατιθέμενου χώρου, χρόνου και φάσματος στη βάση του εκάστοτε πλαισίου για αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών.
- **Κλιμάκωση (Scalability)**: Το Mobile WiMAX είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε διάφορα εύρη διαύλου (1.25–20MHz) προκειμένου να είναι πάντα σε συμμόρφωση με τις διαφορετικές προδιαγραφές που συναντώνται σε διαφορετικές χώρες του κόσμου.
- **Ασφάλεια**: Τα χαρακτηριστικά του Mobile WiMAX που αφορούν τα θέματα της ασφάλειας είναι τα καλύτερα της αγοράς και συμπεριλαμβάνουν: Πιστοποίηση με βάση το πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol), Κρυπτογράφηση με χρήση του κώδικα AES-CCM (Advanced Encryption Std–Counter with Cipher-block chaining Message authentication code), Σχήματα προστασίας μηνυμάτων ελέγχου που βασίζονται στους κώδικες CMAC (Cipher-based Message Authentication Code) και HMAC (Hash Message Authentication Code).
- **Κινητικότητα:** Υποστηρίζει βέλτιστα σχήματα διαπομπής με καθυστερήσεις μικρότερες των 50msec για να εξασφαλίσει εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time) όπως VoIP χωρίς μείωση της ποιότητας, ενώ ευέλικτα σχήματα διαχείρισης διασφαλίζουν την ασφάλεια κατά τη διάρκεια της διαπομπής.

11.3 Περιγραφή Φυσικού Στρώματος (PHY)

11.3.1 Κλιμακωτή OFDMA (SOFDMA)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα από τα χαρακτηριστικά του IEEE 802.16e είναι η υιοθέτηση της κλιμακωτής OFDMA (SOFDMA). Η SOFDMA υποστηρίζει μία ευρεία γκάμα από εύρη ζώνης ώστε ένα σύστημα Mobile WiMAX να μπορεί εύκολα να προσαρμόζεται στις ανάγκες για διαφορετική κατανομή του φάσματος. Η κλιμάκωση επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του μεγέθους του FFT και με τον καθορισμό της απόστασης των sub-carriers στα 10.94KHz. Από τη στιγμή που το εύρος ζώνης του sub-carrier και η διάρκεια των συμβόλων είναι σταθερή, η επίδραση της κλιμάκωσης του εύρους ζώνης στα ανώτερα στρώματα είναι μηδαμινή.

11.3.2 Δομή πλαισίου TDD

Το φυσικό στρώμα, με βάση το 802.16, υποστηρίζει λειτουργίες TDD, FDD και Half-Duplex FDD. Ωστόσο, η αρχική έκδοση του προφίλ πιστοποίησης για συστήματα Mobile WiMAX θα περιλαμβάνει μόνο την TDD. Σε επόμενες εκδόσεις θα συμπεριληφθεί και η λειτουργία FDD για να καλυφθούν περιπτώσεις όπου οι τοπικές (κρατικές) ρυθμίσεις για προδιαγραφές που αφορούν το χρησιμοποιούμενο φάσμα είτε απαγορεύουν την TDD είτε είναι πιο ευνοϊκές για χρήση FDD.

Για να αντιμετωπίσει ικανοποιητικά τα θέματα παρεμβολής, η TDD απαιτεί υψηλό συγχρονισμό του συστήματος. Εξακολουθεί να είναι όμως η προτεινόμενη λειτουργία duplexing για τους εξής λόγους:

- Επιτρέπει την προσαρμογή του λόγου κάτω ζεύξης/άνω ζεύξης (DL/UL) ώστε να υποστηρίζει επαρκώς ασύμμετρη κίνηση μεταξύ κάτω και άνω ζεύξης, αντίθετα με την FDD όπου τόσο η κάτω όσο και η άνω ζεύξη έχουν σταθερό και γενικώς το ίδιο εύρος ζώνης
- Καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος και μικρότερο κόστος, καθώς χρειάζεται μόνο ένα κανάλι αποδιαμόρφωσης και όχι ένα για κάθε ζεύξη.
- Απαιτεί ένα μόνο κανάλι για την κάτω και την άνω ζεύξη, αντίθετα από την FDD, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία στην προσαρμογή στους διαφορετικούς κανόνες ανά χώρα για κατανομή του φάσματος
- Οι πομποδέκτες που υποστηρίζουν λειτουργία TDD είναι λιγότερο πολύπλοκοι και επομένως λιγότερο ακριβοί.

11.3.3 Εξελιγμένα χαρακτηριστικά φυσικού στρώματος

Η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, η υβριδική αίτηση αυτόματης επανάληψης (HARQ) και η ταχεία ένδειξη της κατάστασης του διαύλου (CQICH) είναι χαρακτηριστικά που υιοθετούνται στο πρότυπο 802.16e προκειμένου να αυξηθεί η εμβέλεια και η χωρητικότητα των συστημάτων Mobile WiMAX.

Η υποστήριξη των σχημάτων διαμόρφωσης QPSK, 16QAM, 64QAM είναι υποχρεωτική για την κάτω ζεύξη ενώ στην άνω ζεύξη η 64QAM(βλέπε παράρτημα β) είναι προαιρετική. Για την κωδικοποίηση υποστηρίζονται τα σχήματα Convolutional Code (CC) και Convolutional Turbo Code (CTC) με μεταβλητούς ρυθμούς κωδικοποίησης ή με συνεχή κωδικοποίηση (variable code rate and repetition coding). Τα σχήματα Block Turbo Code (BTC) και Low Density Parity Check Code (LDPC) αποτελούν προαιρετικά χαρακτηριστικά.[15]

11.4 Περιγραφή στρώματος ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC)

Το πρότυπο 802.16 αναπτύχθηκε από την αρχή για να προσφέρει ευρυζωνικές υπηρεσίες συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών φωνής, δεδομένων, video. Το στρώμα MAC μπορεί να υποστηρίξει εκρηκτική κίνηση δεδομένων με απαίτηση υψηλού peak στο ρυθμό μετάδοσης, ενώ ταυτόχρονα να παρέχει υπηρεσίες φωνής και video που είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση, πάνω στον ίδιο δίαυλο.

Η κατανομή πόρων που γίνεται από τον προγραμματιστή του MAC σε ένα τερματικό μπορεί να ποικίλει από μία χρονοσχισμή μέχρι την ανάθεση ολόκληρου του πλαισίου παρέχοντας έτσι δυναμικά υψηλή ρυθμοαπόδοση σε έναν χρήστη σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Επιπλέον, από τη στιγμή που η πληροφορία για την κατανομή των πόρων μεταβιβάζεται με τα μηνύματα MAP στην αρχή κάθε πλαισίου, ο προγραμματιστής μπορεί να αλλάξει την κατανομή στη βάση του κάθε πλαισίου (frame-by-frame basis) για να προσαρμοστεί στην εκρηκτική φύση της κίνησης.

Το 802.16e υποστηρίζει διαπομπή με υποχρεωτική την Hard Hand Off (HHO) που είναι η μεταφορά μιας ροής δεδομένων από ένα κανάλι που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο, σε ένα άλλο. Όσον αφορά το υποεπίπεδο ασφαλείας του MAC στο 802.16e χρησιμοποιούνται σύγχρονες τεχνολογίες ασφαλείας όπως είναι οι : Key Management Protocol, Πιστοποίηση συσκευής και χρήστη, Υποστήριξη γρήγορης διαπομπής και άλλες.

11.5 Σύγκριση fixed και mobile wimax

Οι δύο εκδόσεις του WiMAX θα συνυπάρξουν και θα καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στις σταθερές και κινητές αγορές. Εκτός από τον προβληματισμό εάν θέλουν να εγκαταστήσουν ένα κινητό ή σταθερό δίκτυο,

κατά επιλογή μιας λύσης WiMAX οι πάροχοι πρέπει να αξιολογήσουν πρόσθετους παράγοντες όπως οι αγορές-στόχοι, η διαθεσιμότητα του φάσματος, οποιοιδήποτε ρυθμιστικοί περιορισμοί και χρονικούς περιορισμούς της επέκτασης. Τα προϊόντα 802.16-2004 είναι λιγότερο σύνθετα από τα 802.16e αντίστοιχα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύτερο φάσμα των μη αδειοδοτημένων ζωνών, και προσφέρουν σε μερικές περιπτώσεις, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από τον εξοπλισμό 802.16e. Αφετέρου, καλύτερο περιθώριο συνδέσεων (link margin), υποστήριξη κινητικότητας, βελτιωμένη κάλυψη εσωτερικών χώρων και η εύκαμπτη διαχείριση του φάσματος είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από τα 802.16e προϊόντα.

Οι περισσότεροι πάροχοι θα αναπτύξουν μόνο μια έκδοση WiMAX στα δίκτυά τους. Υπάρχουν διάφορες επιλογές «μετανάστευσης» (migration) διαθέσιμες σε εκείνους τους operators που επιλέγουν να κινηθούν από ένα 802.16-2004 δίκτυο προς ένα 802.16e δίκτυο. Αυτές περιλαμβάνουν τα δίκτυα επικαλύψεων (overlay),συσκευές χρηστών διπλής λειτουργίας (dual-mode), σταθμούς βάσεως με λογισμικό που επιδέχεται βελτίωση και σταθμούς βάσεως διπλής λειτουργίας (dual-mode).

12. Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of Service, QoS)

Ο διεθνής οργανισμός προτύπων (International Organizations of Standardization - ISO) καθορίζει την ποιότητα μιας υπηρεσίας, η οποία διεθνώς συμβολίζεται με τα αρχικά QoS (από την αγγλική ορολογία Quality of Service), σαν μια έννοια που χρησιμοποιείται για την ποσοτική μέτρηση του πόσο καλή είναι μια προσφερόμενη υπηρεσία πάνω από ένα συγκεκριμένο δίκτυο. Το QoS σημαίνει τη συνεπή και προβλέψιμη παράδοση των δεδομένων μιας υπηρεσίας, υπό την έννοια ότι παρέχεται ένα επίπεδο διαβεβαίωσης ότι οι απαιτήσεις της κίνησης μπορούν να ικανοποιηθούν. Η εγγύηση του QoS μιας υπηρεσίας απαιτεί τη συνεργασία όλων των στρωμάτων της στοίβας πρωτοκόλλων. Η έννοια του QoS δε δημιουργεί το εύρος ζώνης, αλλά μόνο διαχειρίζεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις ρυθμίσεις για τη διαχείριση των δικτύων. Ως εκ τούτου, το QoS, με εγγυημένο το επίπεδο υπηρεσιών, απαιτεί την κατανομή των πόρων στις μεμονωμένες ροές[12], [20].

Η ποιότητα υπηρεσιών υλοποιείται με απόδοση προτεραιοτήτων στις διαφορετικές συνδέσεις ενός δικτύου, έτσι ώστε όσες χρειάζονται σταθερούς πόρους (π.χ. εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως βιντεοδιάσκεψη ή άλλες υπηρεσίες πολυμέσων) να είναι βέβαιο ότι τους διαθέτουν. Οι εν λόγω πόροι διασφαλίζουν χαρακτηριστικά της σύνδεσης όπως τον απαιτούμενο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, την απαιτούμενη καθυστέρηση, μεταβολή της καθυστέρησης, πιθανότητα απώλειας πακέτων κλπ. Οι μηχανισμοί ποιότητας υπηρεσιών παρέχουν εγγυήσεις για τη σταθερότητα ενός ή περισσότερων από αυτά τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης υπό συνθήκες συμφόρησης και περιορισμένης χωρητικότητας του τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Επίσης η ποιότητα υπηρεσιών είναι απαραίτητη μόνο σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων , αφού σε δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος ο τύπος και τα χαρακτηριστικά κάθε σύνδεσης γίνονται αντικείμενο διαπραγμάτευσης κατά την εγκαθίδρυση της τελευταίας και παραμένουν σταθερά μέχρι τον τερματισμό της. Οπότε το QoS έρχεται να εξασφαλίσει τις προτεραιότητες που θα δίνονται σε αυτή την επικοινωνία, έτσι ώστε οι πραγματικά σπουδαίες επικοινωνίες να εξυπηρετούνται πριν τις δευτερεύουσες.

Πολλά προβλήματα μπορεί να συναντήσουν τα πακέτα καθώς ταξιδεύουν από τον πομπό στον δέκτη. Προβλήματα όπως : Διαθεσιμότητα(availability) , Χωρητικότητα κυκλώματος(bandwidth), Υστέρηση(latency), Διακύμανση καθυστέρησης(Jitter) και Απώλειες.

12.1 Προβλήματα στη μετάδοση

12.1.1 Διαθεσιμότητα

Πολλοί μπορεί να πουν ότι το δίκτυο είναι διαθέσιμο 24 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα, 12 μήνες τον χρόνο. Δηλαδή είναι διαθέσιμο 100 % . Αυτό είναι πολύ καλό αλλά τις περισσότερες φορές απέχει πολύ από την αλήθεια. Στην πραγματικότητα υπάρχουν διακοπές είτε προγραμματισμένες για τεχνικούς λόγους, είτε τυχαίες από προβλήματα. Είναι πολύ δύσκολο να έχει κανείς μια μορφή μέτρησης της διαθεσιμότητας. Μια συνήθης μορφή μέτρησης της διαθεσιμότητας είναι ότι πχ για την περασμένη χρονιά, η διαθεσιμότητα του δικτύου ήταν 98 %. Για να δούμε τι σημαίνει αυτό: 24 ώρες X 365 ημέρες τον χρόνο X 0.02 (το ποσοστό που ήταν το δίκτυο εκτός λειτουργίας) = 175.2 ώρες. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπήρχε δίκτυο για συνολικά 175 ώρες μέσα στην χρονιά, και παρόλο που μπορεί να ήταν πχ σε ώρες που δεν υπήρχε ανάγκη και χρήση δικτύου, όταν κάποιο διάστημα από αυτό ήταν μέσα σε ώρες που υπήρχε ανάγκη, τότε υπήρχε πρόβλημα (μπορεί και πολύ σοβαρό ανάλογα με την χρήση και το συνολικό διάστημα διακοπής).

12.1.2 Χωρητικότητα κυκλώματος (Bandwidth)

Αυτό είναι το πιο πολυσυζητημένο θέμα και στο οποίο γίνονται και οι περισσότερες παρανοήσεις. Και αυτό γιατί βασίζεται σε μια υπόσχεση. Και για να το κάνουμε πιο σαφές. Ας υποθέσουμε ότι έχει κάποιος μια σύνδεση με τον ISP τύπου ADSL 512/128. Αυτό σημαίνει ότι περιμένει να έχει μια ταχύτητα downloading περίπου στα 52-55 KBps. Έτσι κάποια στιγμή, που κατεβάζει ένα μεγάλο iso αρχείο, βλέπει ότι ο υπολογιστής κατεβάζει με την μισή ταχύτητα ή και πολύ μικρότερη από αυτή. Άλλες φορές πάλι πιάνει τα 50 KBps, άλλες φορές 40, άλλες φορές 30 και πάει λέγοντας. Ο πάροχος εγγυάται μόνο από την γραμμή του συνδρομητή μέχρι τον δικό του εξοπλισμό. Από εκεί και πέρα όμως παίζει και η ταχύτητα που συνδέονται τα άλλα sites με τους δικούς τους παρόχους και μπορεί να μην στέλνουν με την μέγιστη ταχύτητα την οποία μπορεί ο πελάτης να κατεβάζει και γι αυτό οι διαφορές στην ταχύτητα.

Υπάρχει δηλαδή μια αλυσίδα παρόχων, από τον πάροχο του πελάτη, τον πάροχο του παρόχου που τον συνδέει με το διεθνές backbone, και από εκεί άλλοι πάροχοι, πολλοί πάροχοι στην σειρά, μέχρι το επιθυμητό site, και με υλοποιήσεις διαφορετικών τεχνολογιών, όπως καλώδια, οπτικές ίνες, μικροκυματικά, δορυφορικά, switches, routers κλπ. Στις συνδέσεις τύπου PSTN/ISDN η ταχύτητα είναι απευθείας από τον πάροχο.

12.1.3 Υστέρηση(latency)

Όταν το δίκτυο δεν είναι φορτωμένο, δηλαδή η χωρητικότητα του κυκλώματος είναι μεγαλύτερη(αρκετά) από την διακινούμενη κυκλοφορία, τότε η καθυστέρηση είναι μικρή. Αλλά όταν το δίκτυο είναι "φορτωμένο", δηλαδή η χωρητικότητα του κυκλώματος είναι μικρότερη από τα δεδομένα που πρέπει να περάσουν, τότε τα δεδομένα πρέπει να περιμένουν στην ουρά και υπάρχει καθυστέρηση. Η καθυστέρηση μετριέται σε ms. Συνήθως σε επίπεδο τοπικού δικτύου, ή κατευθείαν στον πάροχο, ο χρόνος είναι κάτω από 50 ms, και ουσιαστικά η καθυστέρηση αυτή δημιουργείται από την ταχύτητα μετάδοσης, το μέγεθος του πακέτου, και την ταχύτητα του εξοπλισμού στην διαμεταγωγή (switches / routers κλπ). Όταν λοιπόν αρχίσει η καθυστέρηση, τότε ο χρόνος γίνεται 100, 200, 500 και μπορεί να φτάσει και ακόμη μεγαλύτερους χρόνους.

Όταν συμβαίνει αυτό, τότε αρκετές εφαρμογές, και ειδικά αυτές που είναι Playback δηλαδή παίζουν ήχο ή βίντεο, έχουν σοβαρό πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει γιατί, η εφαρμογή πρέπει να "παίζει" το ίδιο - ταυτόχρονα με τον αποστολέα. Κάποιες εφαρμογές δεν επηρεάζονται από την υστέρηση. Πχ εάν κατεβάζει κάποιος ένα μεγάλο αρχείο από το Internet, δεν παίζει ρόλο εάν κάποια πακέτα κάνουν 100ms και κάποια άλλα 200ms να έρθουν. Ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εμφανισθεί είναι το timeout. Εάν κάποια εφαρμογή περιμένει απάντηση, και έχει προκαθορισμένο τον μέγιστο χρόνο που μπορεί να περιμένει, και αυτός ο χρόνος υπερβεί, τότε η εφαρμογή νομίζει ότι έχει χάσει την σύνδεση με το δίκτυο (δεν υπάρχει δίκτυο).

12.1.4 Διακύμανση καθυστέρησης (Jitter)

Το jitter είναι η διακύμανση της καθυστέρησης. Όταν λοιπόν υπάρχει σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στα πακέτα (latency), πολλές εφαρμογές (που είναι ευαίσθητες σε αυτό) μπορούν να το πάρουν αυτό υπόψη τους και να προσαρμοστούν ανάλογα. Αλλά όταν όμως το latency διαφέρει και αλλάζει συνεχώς, τότε το πρόβλημα γίνεται πολύπλοκο και δεν μπορεί η εφαρμογή να ανταποκριθεί. Έτσι λοιπόν γίνεται κατανοητό, ότι όταν έχουμε φαινόμενο jitter έχουμε ακόμη μεγαλύτερο πρόβλημα από όταν έχουμε μόνο latency. Το jitter παρουσιάζεται όταν έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις υπερφόρτωσης των κυκλωμάτων.

12.1.5 Απώλειες

Όπως είπαμε και πριν οι συσκευές διαμεταγωγής μπορεί να διαγράψουν πακέτα. Όταν λοιπόν γίνεται διαγραφή πακέτων, λόγω υπερφόρτωσης των κυκλωμάτων, τότε συμβαίνουν απώλειες. Κάποια πρωτόκολλα το αντιμετωπίζουν αυτό και έτσι όταν υπάρχουν απώλειες ο αποδέκτης μπορεί να ζητήσει από τον

αποστολέα να του ξαναστείλει τα χαμένα πακέτα και να χαμηλώσει τον ρυθμό μετάδοσης. Κάποια άλλα πρωτόκολλα δεν είναι τόσο έξυπνα όπως το TCP, για να είναι όσο το δυνατόν πιο γρήγορα (μικρότερο latency, μικρότερο overhead πακέτου κλπ) και να τα χρησιμοποιούν εφαρμογές που συνήθως θέλουν συγκεκριμένο σταθερό bandwidth [21].

12.2 Η ανάγκη για QoS

Από την αρχή της δημιουργίας του, στο Διαδίκτυο υιοθετήθηκε η έννοια της «best – effort » υπηρεσίας (υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας). Οι βασικές αρχές που την διέπουν είναι :

- Σε όλη την κίνηση επιτρέπεται να εισαχθεί στο δίκτυο.
- Όλη η κίνηση αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο.
- Η μόνη εγγύηση που δίνεται από το δίκτυο είναι ότι η κίνηση θα μεταδοθεί όσο το δυνατόν καλύτερα, βάσει των διαθέσιμων πόρων.

Πράγματι, στα πρώτα χρόνια του Διαδικτύου, η στρατηγική αυτή λειτούργησε αρκετά καλά. Αυτό όμως οφειλόταν κυρίως στο ότι οι επικρατούσες εφαρμογές της εποχής δεν είχαν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε παράγοντες όπως απώλειες, καθυστέρηση ή τρέμουλο (π.χ. το e-mail), όπως και στη μειωμένη συνολική κίνηση στο δίκτυο. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, οι χρήστες του δικτύου αυξήθηκαν εντυπωσιακά και νέες, πιο απαιτητικές, εφαρμογές έκαναν την εμφάνιση τους. Η απλή χρήση του TCP για τη μεταφορά των δεδομένων, μπορεί αφενός να εγγυάται την αποστολή των πακέτων μέσω του μηχανισμού αναμεταδόσεων, όμως για πολλές σύγχρονες εφαρμογές δεν είναι αποδεκτή. Κι αυτό γιατί, ορισμένες φορές , σε εφαρμογές βίντεο για παράδειγμα, ένα ορισμένο ποσοστό απωλειών μπορεί να είναι ανεκτό, αν όμως η τιμή της καθυστέρησης ή, ακόμα περισσότερο αυτή του τρέμουλου, υπερβαίνει κάποιο όριο, η υπηρεσία πλέον δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα, στην υπηρεσία VoIP (Voice over IP), το delay δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 250 ms, ενώ το τρέμουλο τα 20 ms.

Σ’ αυτό το σημείο θα μπορούσαμε συνεπώς, με βάση όσα έχουν αναφερθεί να δώσουμε έναν νέο ορισμό στο QoS, ως εξής: Η προσφορά εγγυήσεων σε έναν πελάτη, με άλλα λόγια ορίων για συγκεκριμένες παραμέτρους της υπηρεσίας που του παρέχεται, όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω (π.χ. καθυστέρηση, τρέμουλο).

Το QoS, όπως το ορίσαμε νωρίτερα, απαιτεί προφανώς έναν διαχωρισμό μεταξύ υπηρεσιών, ώστε κάθε μία να υπόκειται σε διαφορετική μεταχείριση. Διάφορες λύσεις έχουν εμφανιστεί για αυτό το πρόβλημα. Αρχικά ακολουθήθηκε η «αρχιτεκτονική ενοποιημένων υπηρεσιών» (Integrated Services – IntServ), την οποία περιγράφουμε στην επόμενη παράγραφο.[22]

12.3 IntServ

Η λογική πίσω από την IntServ αρχιτεκτονική είναι ότι σε κάθε ροή (flow) δίνονται απόλυτες εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας, για την πιθανότητα απωλειών (καθόλου απώλειες) καθώς και για την καθυστέρηση (συγκεκριμένο άνω όριο), εφόσον η κίνηση για κάθε ροή υπακούει σε προκαθορισμένες παραμέτρους. Οι ροές αναφέρονται σε μία κατεύθυνση μόνο. Κάθε ροή λοιπόν μπορεί να σχετιστεί μια τιμή ToS (Type Of Service), η οποία αναφέρεται στην ποιότητα υπηρεσίας που απαιτεί.

Πιο συγκεκριμένα, προτού κάποια εφαρμογή αρχίσει να στέλνει δεδομένα, στέλνει μία αίτηση στο δίκτυο αναφέροντας το προφίλ της κίνησής της, καθώς και τις απαιτήσεις που έχει σε χωρητικότητα και καθυστέρηση. Αν το δίκτυο αποφασίσει ότι διαθέτει τους απαραίτητους πόρους για την εξυπηρέτηση της εφαρμογής, απαντά ότι αποδέχεται την αίτηση και τότε μόνο μπορεί η εφαρμογή να αρχίσει να στέλνει.

Η δέσμευση των πόρων μπορεί να γίνει με ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεδιασμένο γι' αυτό το σκοπό, όπως το RSVP (Resource ReSerVation Protocol). Απλώς αναφέρουμε ότι με τη χρήση του RSVP έχουμε τη δυνατότητα για τρεις διαφορετικούς τύπους λειτουργίας : Εγγυημένο (Guaranteed), Ελεγχόμενου Φορτίου (Controlled Load) και Βέλτιστης Προσπάθειας (Best – Effort).

Ο πρώτος, ουσιαστικά εξομοιώνει τη λειτουργία ενός νοητού κυκλώματος και παρέχει αυστηρά καθορισμένα όρια καθυστέρησης. Είναι κατάλληλος για υπηρεσίες πολυμέσων (μεταφορά ήχου ή εικόνας) όπου οι ενταμιευτές στους αποκωδικοποιητές είναι μικροί και έτσι τα καθυστερημένα πακέτα απορρίπτονται. Ο δεύτερος, ισοδυναμεί με best – effort σε συνθήκες μη φορτωμένου δικτύου. Ωστόσο, όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο, η ποιότητα υπηρεσίας των ροών αυτού του τύπου δεν επιδεινώνεται. Είναι κατάλληλος για εφαρμογές όπου είναι ανεκτή κάποια καθυστέρηση ή και απώλεια πακέτων, π.χ. η εφαρμογή Video on Demand, αρκεί ο δέκτης να διαθέτει ενταμιευτή με αρκετά μεγάλο μέγεθος. Υπηρεσίες αυτού του είδους ονομάζονται προσαρμοζόμενες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (adaptive real – time applications).

Η σχετική με το RSVP πληροφορία στέλνεται χωριστά από τα δεδομένα ή ενσωματώνεται σε πακέτα UDP (UDP – encapsulated). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου είναι η υποστήριξη δυναμικής μεταβολής της ποιότητας υπηρεσίας μίας συγκεκριμένης ροής πακέτων, χωρίς να χρειάζεται κατάργηση και επανεκκίνηση της. Επίσης, ενδιαφέρον είναι το ότι η δέσμευση πόρων γίνεται από την πλευρά του δέκτη και όχι αυτή του πομπού. Οι δεσμεύσεις αυτές είναι "soft", δηλαδή πρέπει να ανανεώνονται περιοδικά από το δέκτη. Τέλος, να σημειώσουμε ότι, παρόλο που συνδέεται άμεσα με το IntServ μοντέλο, το RSVP μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες αρχιτεκτονικές.

Η IntServ αρχιτεκτονική παρέχει τις ισχυρότερες δυνατές εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας. Ωστόσο, είναι φανερή η μεγάλη πολυπλοκότητα που εισάγει, καθώς όλοι οι ενδιάμεσοι δρομολογητές θα πρέπει να αποθηκεύουν πληροφορίες για κάθε ροή. Αυτό λοιπόν εγείρει αμφιβολίες για την δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) τη συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής σε περίπτωση πολλών ροών. Εκτός αυτού, σημαντικό μειονέκτημα φαίνεται να είναι το επιπλέον φορτίο που εισάγουν στο δίκτυο οι μηχανισμοί δέσμευσης πόρων, όπως το RSVP. Για ροές μικρής χρονικής διάρκειας που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας, η IntServ προσέγγιση είναι ασύμφορη. [12], [18]

12.4 DiffServ

Η αρχιτεκτονική που προτάθηκε στα μέσα της δεκαετίας του ’90 αντί της IntServ, ονομάστηκε DiffServ (Differentiated Services – αρχιτεκτονική διαφοροποιημένων υπηρεσιών). Βασίζεται στην παρατήρηση ότι η μεγάλη κίνηση στον πυρήνα του δικτύου δε αφήνει μεγάλα περιθώρια για πολύπλοκους μηχανισμούς QoS εκεί. Αντίθετα, αυτοί μπορούν να υλοποιηθούν στα άκρα του δικτύου, όπου η κίνηση είναι σαφώς μικρότερη. Έτσι, στα άκρα του δικτύου (δίκτυα πρόσβασης / συγκέντρωσης), ροές με παρόμοιες απαιτήσεις σε QoS ενοποιούνται σε λίγες, ευρύτερες κλάσεις (classes) κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο, στον πυρήνα του δικτύου ο υπολογιστικός φόρτος μειώνεται. Στον πρώτο δρομολογητή εμπιστοσύνης που συναντούν τα πακέτα (access router ή δρομολογητής πρόσβασης), γίνεται η αστυνόμευση (policing) και το σημάδεμα της κίνησης, ενώ στη συνέχεια οι ροές με παρόμοιες απαιτήσεις (βάσει δηλαδή του σημαδέματος που έχει προηγηθεί) αναμιγνύονται για τη δημιουργία κλάσεων. Πλέον, όλες οι διαδικασίες προώθησης και αστυνόμευσης γίνονται στο επίπεδο των κλάσεων. Οι διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης των διαφορετικών κλάσεων κίνησης στους κόμβους του δικτύου ονομάζονται PHB’s (Per Hop Behavior). Πιο συγκεκριμένα, ο όρος PHB αναφέρεται στη χρονοδρομολόγηση πακέτων, τη διαχείριση ουρών, την αστυνόμευση ή τη μορφοποίηση κίνησης που μπορεί να εφαρμόσει ένας κόμβος σε μία κλάση κίνησης.

Να πούμε εδώ ότι η DiffServ αρχιτεκτονική προϋποθέτει την ύπαρξη των λεγόμενων SLAs (Service Level Agreements). Αυτές είναι συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας μεταξύ προμηθευτών γειτονικών δικτύων που καθορίζουν το επίπεδο διαθεσιμότητας, επίδοσης κ.λ.π. της παρεχόμενης υπηρεσίας καθώς και το προφίλ κίνησης. Κίνηση επιπλέον από αυτή που καθορίζεται μέσω του SLA, είτε παύει να έχει εγγυήσεις, είτε προσθέτει επιπλέον κόστος, ανάλογα με όσα προδιαγράφονται στη συμφωνία. Το τεχνικό μέρος του SLA ονομάζεται SLS και περιλαμβάνει ένα σύνολο παραμέτρων και τις τιμές τους.

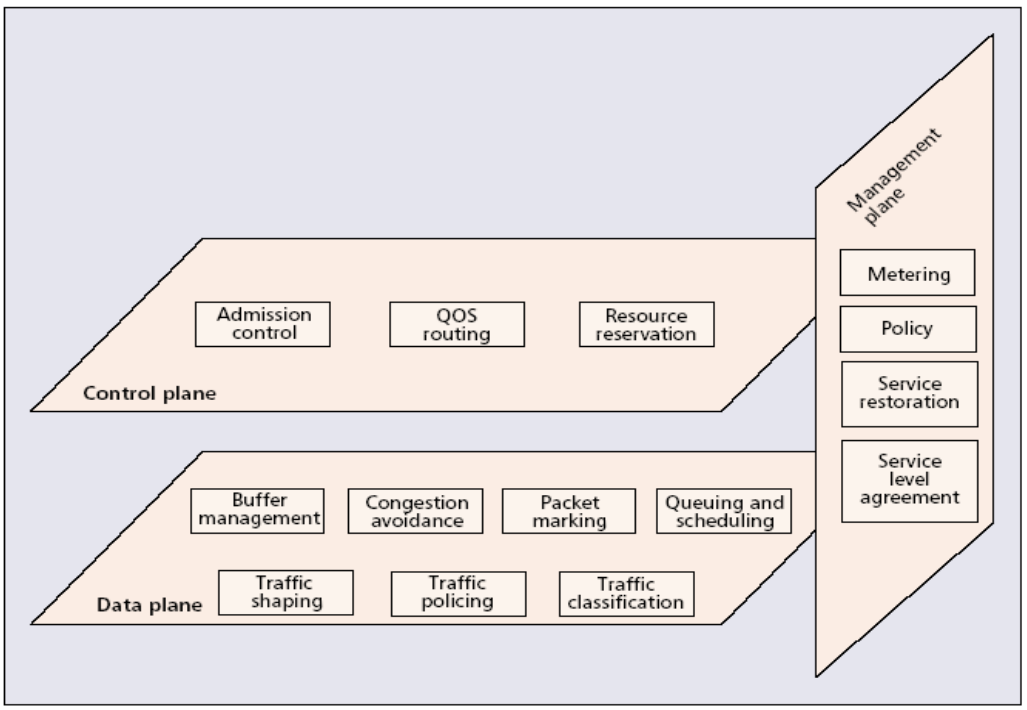
12.5 Γενικό σχήμα μίας QoS αρχιτεκτονικής

Σε αυτή την ενότητα, θα προσπαθήσουμε να εντάξουμε όσα έχουν αναφερθεί ως τώρα, σε ένα γενικότερο πλαίσιο. Μία αρχιτεκτονική που προσφέρει ποιότητα υπηρεσίας (όπως αυτές που έχουν αναφερθεί νωρίτερα) μπορεί να χωριστεί σε τρία λογικά επίπεδα (planes), καθένα από τα οποία αναλύεται σε επιμέρους δομικά στοιχεία (building blocks). Κάθε δομικό στοιχείο μπορεί να αναφέρεται σε έναν και μόνο κόμβο (π.χ. η διαχείριση των ενταμιευτών) ή σε ένα τμήμα του δικτύου (π.χ. η QoS δρομολόγηση). Τα τρία επίπεδα είναι τα εξής :

Επίπεδο ελέγχου (Control plane) : Περιλαμβάνει μηχανισμούς που σχετίζονται με τη διαδρομή που ακολουθεί η κίνηση δεδομένων.

Επίπεδο δεδομένων (Data plane) : Περιλαμβάνει μηχανισμούς που σχετίζονται απευθείας με τα δεδομένα των χρηστών.

Επίπεδο διαχείρισης (Management plane) : Περιλαμβάνει μηχανισμούς που έχουν να κάνουν με τη λειτουργία, την επόπτευση και τη διαχείριση των δεδομένων των χρηστών.



Σχ.12.1 Τα τρία λογικά επίπεδα μίας QoS αρχιτεκτονικής και τα δομικά στοιχεία τους.

Στη συνέχεια αναφέρουμε εν συντομία τα επιμέρους δομικά στοιχεία των τριών επιπέδων και τη χρησιμότητα του καθενός[5]:

12.5.1 Μηχανισμοί του επιπέδου ελέγχου

Έλεγχος πρόσβασης (admission control) : Αυτός ο μηχανισμός ελέγχει τον τρόπο που η κίνηση εισέρχεται στο δίκτυο. Αυτό γίνεται κατά προτίμηση με τέτοιο τρόπο, ώστε η νεοεισαχθείσα κίνηση να μην οδηγεί σε υπερφόρτωση του δικτύου ή υποβάθμιση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσίας για την ήδη υπάρχουσα κίνηση. Επίσης, θα πρέπει κατά κάποιο τρόπο να ελέγχεται αν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι που μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις υπηρεσίας της κίνησης που πρόκειται να εισαχθεί. Γενικά υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για τον έλεγχο πρόσβασης : Η βασισμένη σε παραμέτρους (parameter – based) και η βασισμένη σε μετρήσεις (measurement – based). Στην πρώτη, λαμβάνονται υπόψη τα χειρότερα ανεκτά όρια για ένα σύνολο παραμέτρων (ποσοστό απωλειών, καθυστέρηση, τρέμουλο) και έτσι έχουμε τη λεγόμενη παροχή «hard» QoS, κατάλληλη για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Αντίθετα, στην δεύτερη προσέγγιση η απόφαση για την εισαγωγή της νέας κίνησης γίνεται βάσει μετρήσεων της ήδη υπάρχουσας. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε «soft» QoS, αλλά γενικά οδηγούμαστε σε υψηλότερη χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου.

QoS δρομολόγηση (QoS routing): Αφορά την επιλογή ενός μονοπατιού το οποίο μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας μίας ροής. Συνήθως, αυτό το μονοπάτι δεν είναι και το συντομότερο. Επειδή οι υπολογισμοί για την εύρεση του μονοπατιού αυτού μπορούν να γίνουν εξαιρετικά πολύπλοκοι, πρακτικά λαμβάνεται υπόψη μόνο μία QoS παράμετρος (π.χ. χωρητικότητα ή καθυστέρηση), ή ο συνδυασμός δύο παραμέτρων. Να σημειώσουμε ότι η QoS δρομολόγηση απλά βρίσκει ένα μονοπάτι που μπορεί πιθανώς να ικανοποιήσει τη ζητούμενη απόδοση. Για εξασφαλισμένη απόδοση, η QoS δρομολόγηση πρέπει να συνδυαστεί με τη δέσμευση πόρων.

Δέσμευση πόρων (Resource reservation) : Αυτός ο μηχανισμός «βάζει στην άκρη» πόρους του δικτύου για την παροχή της επιθυμητής απόδοσης. Συνήθως, η δέσμευση πόρων γίνεται με χρήση του πρωτοκόλλου RSVP (που έχει ήδη αναφερθεί). Ωστόσο, μέχρι σήμερα κανένα πρωτόκολλο δέσμευσης πόρων δε θεωρείται κατάλληλο για εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα.

12.5.2 Μηχανισμοί του επιπέδου δεδομένων

Διαχείριση ουρών (ή ενταμιευτών) (Buffer management) : Η διαχείριση ουρών έχει να κάνει με τα πακέτα που βρίσκονται σε αναμονή για μετάδοση και αποφασίζει για την αποθήκευση ή την απόρριψή τους. Ο κύριος στόχος είναι οι ουρές να διατηρούνται κατά το δυνατόν σε ένα σταθερό μήκος, αλλά χωρίς να έχουμε χαμηλή χρησιμοποίηση των συνδέσεων.

Αποφυγή συμφόρησης (Congestion avoidance) : Η αποφυγή συμφόρησης έχει να κάνει με μηχανισμούς που διατηρούν το φορτίο του δικτύου κάτω από τη μέγιστη χωρητικότητά του, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται αποδεκτή απόδοση. Ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό είναι το TCP πρωτόκολλο στρώματος μεταφοράς, ενώ για αποφυγή υπερβολικής καθυστέρησης λόγω αναμεταδόσεων έχει προταθεί το ECN (Explicit Congestion Notification). Στο τελευταίο, η συμφόρηση του δικτύου δε γίνεται αντιληπτή στον αποστολέα μέσω της απώλειας πακέτων, αλλά μέσω μαρκαρίσματος των πακέτων που επιστρέφονται.

Μαρκάρισμα πακέτων (Packet marking) : Τα πακέτα μπορεί να μαρκάρονται ανάλογα με το επίπεδο υπηρεσίας που θα λάβουν. Συνήθως αυτό γίνεται σε ακραίους κόμβους του δικτύου. Αν το μαρκάρισμα γίνεται από το χρήστη, θα πρέπει να ελέγχεται στον δρομολογητή με τον οποίο ο χρήστης συνδέεται. Η μη σύμφωνη κίνηση ενδέχεται να μαρκάρεται με κατάλληλες τιμές, ώστε σε περίπτωση συμφόρησης να απορρίπτεται πρώτη.

Χρονοδρομολόγηση (Queuing and scheduling) : Ο μηχανισμός αυτός έχει να κάνει με την επιλογή των πακέτων προς μετάδοση.

Ταξινόμηση κίνησης (Traffic classification) : Η ταξινόμηση της κίνησης μπορεί να λαμβάνει χώρα σε επίπεδο πακέτων ή ροών και συνήθως γίνεται στα άκρα του δικτύου. Γενικά λαμβάνονται υπόψη πολλαπλά πεδία (συνδυασμός των πεδίων επικεφαλίδας όπως : διεύθυνση πηγής, προορισμού, πόρτα λήψης, πόρτα προορισμού) του πακέτου. Ανάλογα με την ομάδα στην οποία ένα πακέτο ανήκει, οδηγείται στο κατάλληλο στοιχείο ρύθμισης για περαιτέρω επεξεργασία.

Μορφοποίηση κίνησης (Traffic shaping) : Όπως έχουμε ήδη δει, η μορφοποίηση κίνησης έχει σκοπό να διατηρεί ελεγχόμενο το ρυθμό και τη μορφή της κίνησης που εισέρχεται στο δίκτυο. Γενικά, υπάρχουν δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη είναι αυτή του διαρρέοντος κάδου (leaky bucket). Ανεξάρτητα από το ρυθμό εισόδου, ο διαρρέων κάδος διατηρεί το ρυθμό εξόδου σταθερό. Αν ο κάδος γεμίσει, τα επιπλέον πακέτα απορρίπτονται. Οι δύο παράμετροι που μπορούν να καθοριστούν είναι το μέγεθος του κάδου και ο ρυθμός μετάδοσης. Σε αντίθεση, η μέθοδος του κάδου με κουπόνια (token bucket) αφήνει τα πακέτα να εξέρχονται όσο γρήγορα φτάνουν, αρκεί να υπάρχουν διαθέσιμα κουπόνια (tokens). Τα κουπόνια παρέχονται με συγκεκριμένο ρυθμό και αποτίθενται στον κάδο μέχρι αυτός να γεμίσει. Με αντίτιμο ενός κουπονιού, μπορεί να φύγει ένα ορισμένο ποσό κίνησης (συνήθως ορίζεται σε bytes). Αν δεν υπάρχουν κουπόνια στον κάδο, κανένα πακέτο δεν μπορεί να φύγει. Ωστόσο, πολλά κουπόνια μπορούν να καταναλωθούν μαζί ώστε να επιτραπεί σε εκρηκτική κίνηση να περάσει. Σε αυτή τη μέθοδο δεν απορρίπτονται πακέτα. Οι παράμετροι που καθορίζονται από το χρήστη είναι το μέγεθος του κάδου

και ο ρυθμός παραγωγής κουπονιών. Στην πράξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συνδυασμός των δύο μεθόδων.

12.5.3 Μηχανισμοί του επιπέδου διαχείρισης

Μέτρηση (Metering) : Έχει να κάνει με την παρακολούθηση των ιδιοτήτων (π.χ. του ρυθμού) μίας ροής κίνησης σε σχέση με το συμφωνημένο προφίλ κίνησης. Ένας μετρητής μπορεί να προκαλέσει με κατάλληλες ενέργειες την απόρριψη ή τη μορφοποίησή της κίνησης, αν αυτό είναι απαραίτητο.

Συμφωνία επιπέδου υπηρεσίας (SLA – Service Level Agreement) : Αυτές είναι συμφωνίες επιπέδου υπηρεσίας μεταξύ προμηθευτών γειτονικών δικτύων που καθορίζουν το επίπεδο διαθεσιμότητας, επίδοσης κ.λπ. της παρεχόμενης υπηρεσίας καθώς και το προφίλ κίνησης. Κίνηση επιπλέον από αυτή που καθορίζεται μέσω του SLA, είτε παύει να έχει εγγυήσεις, είτε προσθέτει επιπλέον κόστος, ανάλογα με όσα προδιαγράφονται στη συμφωνία.

Αποκατάσταση κίνησης (Traffic Restoration) : Ορίζεται ως η αντίδραση του δικτύου σε περιπτώσεις αποτυχίας (failure). Έχουμε δύο περιπτώσεις αποτυχίας : Αποτυχία ενός στοιχείου (π.χ. κάρτα δρομολογητή) σε έναν κόμβο ή αποτυχία μίας ζεύξης (link) μεταξύ δύο κόμβων. Γενικά, οι αποτυχίες αντιμετωπίζονται με πρόβλεψη εφεδρικών πόρων. Στην περίπτωση ολικής αποτυχίας κόμβου χρειάζεται επαναδρομολόγηση της κίνησης. Είναι πιθανόν σε ένα SLA να ορίζεται και η ποιότητα αποκατάστασης (χρόνος για αποκατάσταση και ποσοστό αποκατάστασης) συγκεκριμένων ροών κίνησης.

Βάσει όσων αναφέρθηκαν παραπάνω λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι η IntServ αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία : Έλεγχο πρόσβασης, χρονοδρομολόγηση, δέσμευση πόρων, ταξινόμηση κίνησης και αστυνόμευση (policing) – η οποία αναφέρεται στη μέτρηση κίνησης για να ελεγχθεί αν συμμορφώνεται με τα συμφωνηθέντα. Η DiffServ προσέγγιση χρησιμοποιεί : Διαχείριση ουρών, χρονοδρομολόγηση, μαρκάρισμα πακέτων, SLA, μέτρηση κίνησης, αστυνόμευση, μορφοποίηση κίνησης.

12.6 Ποιότητα υπηρεσιών στο στρώμα MAC

Η ποιότητα μιας υπηρεσίας μπορεί να ορισθεί κατά μήκος πολλών στρωμάτων της στοίβας πρωτοκόλλων. Οι μηχανισμοί διαχείρισης της ποιότητας μιας υπηρεσίας δρουν σε όλο το φάσμα πρωτοκόλλων σε παράλληλο επίπεδο με τις διεργασίες για τη διαχείριση των ροών πληροφορίας μέσα σε ένα δίκτυο. Ανάλογα με το στρώμα, στο οποίο αναφερόμαστε, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας υπηρεσίας διαφέρουν και αντιστοιχούν στις απαιτήσεις και τις δυνατότητες των δομικών στοιχείων των

εκάστοτε παρόχων. Έτσι, το QoS μιας υπηρεσίας ή εφαρμογής έχει πολλαπλές έννοιες ανάλογα με το στρώμα επιπέδου, στο οποίο αναφερόμαστε.

Στο στρώμα MAC η ποιότητα υπηρεσιών εξασφαλίζεται μέσω υπηρεσιών ροής (service flows) ή πιο συγκεκριμένα μίας αμφίδρομης ροής πακέτων με συγκεκριμένες παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών. Οι παράμετροι της υπηρεσίας ροής μπορούν να διαχειρίζονται δυναμικά μέσω μηνυμάτων MAC για να εξυπηρετήσουν τις απαιτήσεις της υπηρεσίας ή της εφαρμογής που παρέχεται. Η ποιότητα υπηρεσιών που βασίζεται στη υπηρεσία ροής εφαρμόζεται τόσο στην κάτω όσο και στην άνω ζεύξη για να παρέχεται βελτιωμένη QoS και στις δύο ζεύξεις[13], [20].

Κατηγορία QoS	**Υπηρεσίες**	**Χαρακτηριστικά QoS**
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	Μέγιστος συνεχής ρυθμός Μέγιστη αντοχή στην καθυστέρηση και στην διακύμανση καθυστέρησης
rtPS Real-Time Packet Service	Streaming Audio or Video	Ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός Μέγιστος συνεχής ρυθμός Μεγάλη αντοχή στην καθυστέρηση Προτεραιότητα στην κίνηση
ErtPS Extended Real-Time Packet Service	Voice with Activity Detection (VoIP)	Ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός Μέγιστος συνεχής ρυθμός Μέγιστη αντοχή στην καθυστέρηση και στην διακύμανση καθυστέρησης Προτεραιότητα στην κίνηση

nrtPS Non-Real-Time Packet Service	File Transfer Protocol (FTP)	Ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός Μέγιστος συνεχής ρυθμός Προτεραιότητα στην κίνηση
BE Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing, etc.	Μέγιστος συνεχής ρυθμός Προτεραιότητα στην κίνηση

Πίνακας.12.1 Εφαρμογές WiMAX και QoS

12.7 Υπηρεσία προγραμματισμού του στρώματος MAC

Η υπηρεσία προγραμματισμού είναι σχεδιασμένη για να προσφέρει αποτελεσματικά ευρυζωνικές υπηρεσίες πάνω σε χρονικά μεταβαλλόμενο ασύρματο δίαυλο. Τα χαρακτηριστικά που διαθέτει για να παρέχει αυτού του είδους τις υπηρεσίες είναι τα εξής[18]:

- **Γρήγορος προγραμματισμός δεδομένων**: Ο προγραμματιστής MAC πρέπει να κατανέμει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους για να ανταποκριθεί στην εκρηκτική κίνηση των δεδομένων και στις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες του διαύλου. Βρίσκεται σε κάθε σταθμό βάσης για να δρα άμεσα στις απαιτήσεις της κίνησης και την κατάσταση του διαύλου. Τα πακέτα δεδομένων ανατίθενται σε υπηρεσίες ροής με σαφώς καθορισμένες παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών στο στρώμα MAC έτσι ώστε ο προγραμματιστής να καθορίζει σωστά τη σειρά μετάδοσης των πακέτων στη διεπαφή αέρα (air interface). Το CQICH(Channel-Quality Indicator Channel) παρέχει γρήγορα πληροφορίες για την κατάσταση του διαύλου έτσι ώστε ο προγραμματιστής να επιλέγει κάθε φορά την κατάλληλη διαμόρφωση-κωδικοποίηση. Η προσαρμοστική διαμόρφωση / κωδικοποίηση σε συνδυασμό με την HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest) παρέχουν τη δυνατότητα για ανθεκτική μετάδοση πάνω στο μεταβαλλόμενο δίαυλο .
- **Προγραμματισμός για κάτω και άνω ζεύξη**: Η υπηρεσία προγραμματισμού παρέχεται τόσο για την κάτω όσο και για την άνω ζεύξη. Για να παρέχει ο προγραμματιστής αποτελεσματική κατανομή πόρων και την επιθυμητή QoS στην άνω ζεύξη, θα πρέπει να τροφοδοτείται τακτικά με ακριβείς πληροφορίες για την κατάσταση της κυκλοφορίας και τις απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών. Η υπηρεσία ροής της άνω ζεύξης καθορίζει τον μηχανισμό τροφοδότησης για κάθε σύνδεση. Με τον προγραμματισμό της άνω ζεύξης η κατανομή των πόρων γίνεται πιο αποδοτική και ενισχύεται ακόμα πιο πολύ η ποιότητα των υπηρεσιών

- **Δυναμική κατανομή των πόρων:** Η κατανομή των πόρων γίνεται με μηνύματα MAP στην αρχή κάθε πλαισίου. Έτσι μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την κυκλοφορία και την κατάσταση του διαύλου ενώ, σε μία σύνδεση μπορεί να ανατεθεί από μία χρονοσχισμή μέχρι ολόκληρο το πλαίσιο, ανάλογα με τις απαιτήσεις
- **Προσανατολισμός στην ποιότητα των υπηρεσιών (QoS Oriented):** Ο προγραμματιστής MAC αναλαμβάνει τη μετάδοση των δεδομένων με βάση την κάθε σύνδεση (connection-by-connection basis). Σε κάθε σύνδεση ανατίθεται μία υπηρεσία ροής με συγκεκριμένες παραμέτρους QoS. Με τη δυνατότητα δυναμικής κατανομής των διατιθέμενων πόρων τόσο στην κάτω όσο και στην άνω ζεύξη ο προγραμματιστής μπορεί να παρέχει βέλτιστη ποιότητα υπηρεσιών
- **Frequency Selective Scheduling:** Παρέχει τη δυνατότητα να κατανέμονται οι κινητοί χρήστες στο ισχυρότερο υπο-κανάλι καθώς και να αυξήσει τη χωρητικότητα του συστήματος με μία μέτρια αύξηση στην κεφαλίδα CQI (Channel Quality Indicator) στην άνω ζεύξη

13. Ανάθεση πόρων (Resource Allocation)

Η ασύρματη ζεύξη συχνά θεωρείται ως ο πιο αδύναμος κρίκος της τηλεπικοινωνιακής αλυσίδας. Και μάλλον όχι άδικα, αν αναλογιστεί κανείς τη μεταβαλλόμενη και ως εκ τούτου απρόβλεπτη συμπεριφορά του ασύρματου καναλιού αλλά και το γεγονός ότι οι διατιθέμενοι ασύρματοι πόροι είναι πολύ πιο περιορισμένοι σε σχέση με τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης. Το πρόβλημα είναι ότι ενώ η ζήτηση για εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης αυξάνει με πολύ ταχύ ρυθμό, η διαθεσιμότητα του φάσματος παραμένει περιορισμένη. Έτσι, ως μόνη λύση πλέον, η προσφερόμενη κίνηση πρέπει αλλά και μπορεί να εξυπηρετηθεί από το σύστημα χωρίς τη δέσμευση νέων πόρων αλλά με καλύτερη αξιοποίηση των ήδη υπαρχόντων. Στις ασύρματες επικοινωνίες, όταν πεπερασμένοι πόροι διαμοιράζονται για να ικανοποιηθούν ατομικές ανάγκες, είναι αναγκαία διαχείριση αυτών των πόρων ώστε ο διαμοιρασμός να γίνεται κατά τρόπο δίκαιο αλλά και αποδοτικό. Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις για τη διαχείριση ασυρμάτων πόρων[23].

13.1 Σταθερή εκχώρηση πόρων

Η σταθερή εκχώρηση πόρων είναι η ιστορικά παλιότερη προσέγγιση στο πρόβλημα της διαχείρισης πόρων. Εδώ, συγκεκριμένοι πόροι (όπως συχνοτικά κανάλια ή χρονοθυρίδες) αποδίδονται μόνιμα σε κάποιους χρήστες. Η προσέγγιση αυτή είναι ακόμα παρούσα στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, όπως για παράδειγμα στο GSM, όπου μία επιλογή για τον προγραμματισμό συχνοτήτων είναι η απόδοση μιας συχνότητας μόνιμα σε πομπούς συγκεκριμένων σταθμών βάσης. Αυτή είναι η περίπτωση σχεδιασμού χείριστης περίπτωσης (worst-case), η οποία στοχεύει να παράσχει ένα ελάχιστο λόγο σήματος προς παρεμβολή στο μεγαλύτερο μέρος του συστήματος. Προφανώς, η σταθερή εκχώρηση πόρων, αν και απλή και δεν απαιτεί γνώση των περιβαλλοντικών συνθηκών, οδηγεί σε σπατάλη πόρων το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, όταν η υπόθεση για το σενάριο χειρότερης περίπτωσης είναι ιδιαίτερα αυστηρή.

13.2 Τυχαία εκχώρηση πόρων

Στην τυχαία εκχώρηση πόρων, οι πόροι του συστήματος είτε εκχωρούνται τυχαία, είτε προσπελάζονται τυχαία. Οι τεχνικές αυτές χαρακτηρίζονται ως interference averaging techniques και συνήθως οδηγούν σε καλύτερη επίδοση σε σχέση με τη σταθερή κατανομή πόρων. Το πλεονέκτημα τους απορρέει από το

γεγονός ότι χωρίς να έχουν λεπτομερή γνώση του περιβάλλοντος, κατά μέσο όρο, είναι καλύτερο οι πόροι να εκχωρούνται τυχαία, καθώς η αρνητική επίδραση του περιβάλλοντος (θόρυβος, παρεμβολή, απόσβεση) θα κατανεμηθεί σε όλους τους χρήστες χωρίς να διακινδυνεύετε ότι κάποιοι από αυτούς θα επηρεαστούν υπερβολικά, όπως συμβαίνει με τη σταθερή κατανομή πόρων.

13.3 Δυναμική εκχώρηση πόρων

Στη δυναμική εκχώρηση πόρων, ο διαχειριστής πόρων του συστήματος, βασισμένος στην λεπτομερή γνώση του περιβάλλοντος αλλά και των απαιτήσεων των χρηστών, λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τους πόρους που θα πρέπει να εκχωρηθούν σε κάθε χρήστη. Καθ' αυτόν τον τρόπο, οι πόροι εκχωρούνται σύμφωνα με την ποιότητά τους και τις ανάγκες των χρηστών. Ένα παράδειγμα δυναμικής εκχώρησης πόρων είναι η δυναμική εκχώρηση καναλιού (dynamic channel allocation – DCA), όπου ένα κανάλι από ένα κοινό σύνολο καναλιών εκχωρείται σε ένα χρήστη σύμφωνα με το μετρούμενο SNIR. Η δυναμική εκχώρηση πόρων που λειτουργεί σε περιβάλλοντα που περιορίζονται από τις παρεμβολές (interference limited) είναι μια τεχνική αποφυγής της παρεμβολής (interference avoidance). Οι τεχνικές αυτές παρέχουν ακόμα καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις interference averaging τεχνικές. Εδώ, η προσαρμοστικότητα θεωρείται καίριος παράγοντας για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος. Μειονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι η ανάγκη για απόκτηση λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

13.4 Αλγόριθμοι ανάθεσης πόρων

Ως κύριοι πόροι, ενός ασύρματου συστήματος θεωρούνται η ισχύς εκπομπής και ο αντίστοιχος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων με τον οποίο εξυπηρετείται ο χρήστης όπως και το εύρος ζώνης. Οι διαδικασίες μέσω των οποίων διευθετούνται και αποδίδονται στους χρήστες οι παραπάνω πόροι αναφέρονται ως "πολιτική ανάθεσης ισχύος" (power allocation policy) με μηχανισμούς όπως η δυναμική δέσμευση ισχύος και "πολιτική χρονοδρομολόγησης χρηστών" (scheduling policy) αντίστοιχα, που περιλαμβάνει πολλούς αλγόριθμους που θα αναλυθούν παρακάτω. Για να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις διάφορων συνδέσεων στο δίκτυο μας, όπου κάθε σύνδεση ζητά διαφορετικό επίπεδο εξυπηρέτησης, πρέπει οι κόμβοι μας να έχουν μηχανισμούς για χρονοδρομολόγηση με βάση την προτεραιότητα της κάθε σύνδεσης. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για να διαμοιράζουν πόρους που μπορεί να έχουν περισσέψει, με ένα δίκαιο τρόπο. [24], [25]

Με βασικό στόχο την μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος, έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια μια μεγάλη οικογένεια αλγορίθμων

χρονοδρομολόγησης χρηστών, οι οποίοι προσπαθούν να εκμεταλλευτούν τις συχνές διακυμάνσεις (fast fading) που παρουσιάζει ο ασύρματος δίαυλος, εξυπηρετώντας κάθε φορά εκείνο τον χρήστη με το καλύτερο, σε σχέση με τους υπολοίπους, κανάλι και κατ΄ επέκταση με τον μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (opportunistic scheduling algorithms). Παράλληλα με τη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος, πληθώρα αλγορίθμων έχουν προταθεί που προσπαθούν να ικανοποιήσουν ταυτόχρονα τις απαιτήσεις της εκάστοτε υπηρεσίας (ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, ανώτατο όριο καθυστέρησης πακέτου) και να εξασφαλίσουν την δίκαιη κατανομή των πόρων του συστήματος στους χρήστες. Παραδείγματα αυτών των μηχανισμών είναι το Generalized Processor Sharing (GPS), Weighted Round Robin (WRR), Weighted Fair Queuing (WFQ), Deficit Round Robin(DRR), Signal-to-Interference Ratio (mSIR), Opportunistic Deficit Round Robin scheduler (O-DRR) και τέλος το Class Based Queuing (CBQ).

13.4.1 Βελτιστοποιητής APA(Adaptive Power Allocation)

Η πολιτική ανάθεσης ισχύος περιλαμβάνει μηχανισμούς όπως είναι ο βελτιστοποιητής APA(Adaptive Power Allocation). Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει στον πομπό να χορηγήσει σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος διαφορετικά subcarriers ανάλογα με τις πληροφορίες που λαμβάνει από το φυσικό στρώμα για την κατάσταση του καναλιού. Το APA αφορά πιο πολύ την κατερχόμενη ζεύξη και μπορεί να επηρεάσει κατά πολύ τους ρυθμούς μετάδοσης. [24], [26]

13.4.2 Μηχανισμός ελέγχου αποδοχής σύνδεσης(Call admission control, CAC)

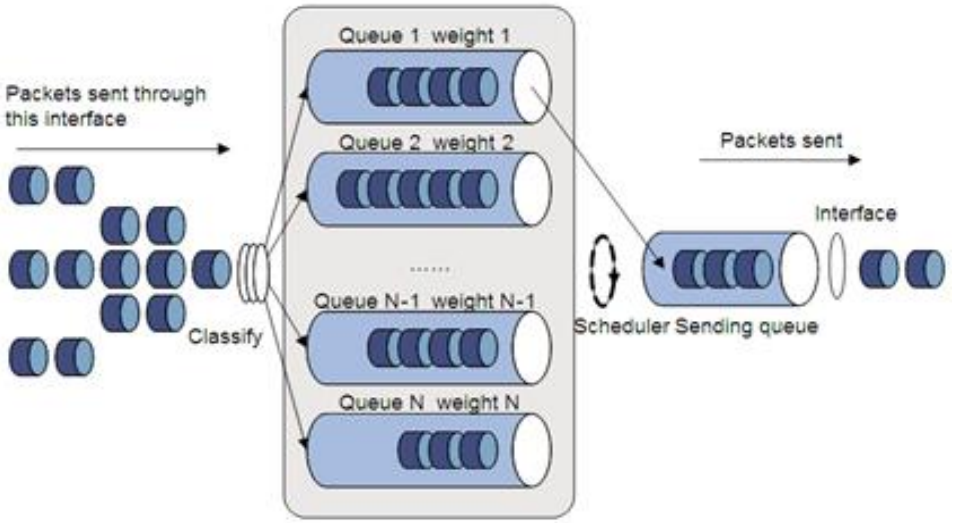
Το CAC αφορά τους συνδρομητές του δικτύου και αποφασίζει για το αν μια νέα αίτηση για σύνδεση θα γίνεται δεκτή ή όχι και για το εύρος ζώνης των διαφορετικών εφαρμογών. Η χρησιμοποίηση ενός αλγορίθμου Cac, συνήθως, αφορά εφαρμογές ευαίσθητες ως προς τη καθυστέρηση ,όπως οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Αυτό συμβαίνει, επειδή η υποβάθμιση της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών σε αυτές τις εφαρμογές , που θα προκληθεί από την έλλειψη ενός πόρου, θα είναι εντονότερη. Θεωρούμε ότι ο διαχειριστής του CAC έχει τοποθετηθεί σε ένα σταθμό βάσης. Έτσι του είναι εύκολο να γνωρίζει τη χωρητικότητα του εύρους ζώνης για την ανερχόμενη/κατερχόμενη ζεύξη του οποιουδήποτε K συνδρομητή στον ίδιο σταθμό βάσης. Όταν μια εφαρμογή του κ συνδρομητή ξεκινάει μια σύνδεση στο διαδίκτυο, στέλνει μία αίτηση σύνδεσης στον διαχειριστή του CAC μαζί με μία αίτηση upstream για εύρος ζώνης και μία downstream αντίστοιχα. Έπειτα ο διαχειριστής CAC πραγματοποιεί έναν έλεγχο και στις δύο γραμμές(uplink και downlink). Με άλλα λόγια, ο διαχειριστής CAC εφαρμόζει μία αστυνόμευση CAC για την ανερχόμενη

ζεύξη και μία για την κατερχόμενη για να τις ελέγχει ξεχωριστά και μόνο η σύνδεση που θα περάσει και από τους δύο ελέγχους θα γίνεται τελικά αποδεκτή.[26], [27]]

13.4.3 Generalized Processor Sharing (GPS)

Χρησιμοποιείται κυρίως για non-real time υπηρεσίες, όπως είναι η μεταφορά αρχείων, με σκοπό να διανέμει δίκαια τους περιορισμένους πόρους στους χρήστες, με τρόπο ώστε όλοι οι χρήστες να έχουν το ίδιο επίπεδο υπηρεσίας. Ο τρόπος λειτουργίας βασίζεται στο εξής : Όλη η κίνηση που περνάει από το δίκτυο, χωρίζεται σε αυτό καλούμενες κλάσεις που αποτελούνται είτε από μεμονωμένες ροές είτε από ομάδες ροών με κοινά χαρακτηριστικά QoS. Ο αλγόριθμος παρέχει σε κάθε κλάση μία ελάχιστη χωριτηκότητα και δίνει προτεραιότητα για εξυπηρέτηση, στις κλάσεις με την μικρότερη χωριτηκότητα. [28]

13.4.4 Weighted Round Robin (WRR)



Σχ.13.1 ΑλγόριθμοςWeighted Round Robin

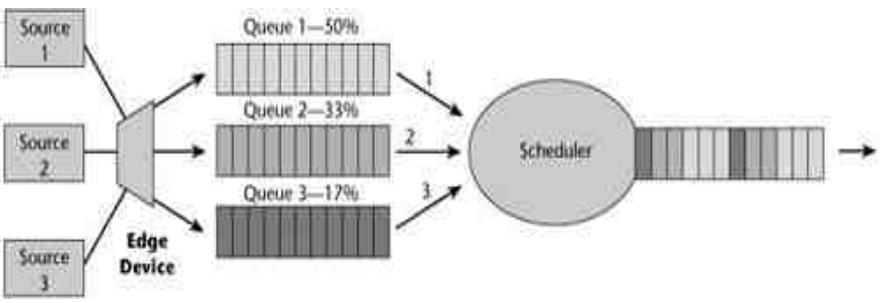
Το Weighted Round Robin (WRR) εφαρμόζεται στο σταθμό βάσης, όπου μοιράζονται οι πόροι προς τους συνδρομητές μετά από αιτήσεις εύρους ζώνης. Σε κάθε SS οι αναθέσεις εύρους ζώνης αρχίζουν από την υψηλότερη σε προτεραιότητα υπηρεσία UGS και μετά ακολουθούν οι nrtps, rtps και οι BE. Με αυτόν τον μηχανισμό υπάρχει αυστηρή προτεραιότητα ανάμεσα στις υπηρεσίες αλλά και στην κίνηση που μεταφέρουν οι συνδέσεις. Το Weighted Round Robin (WRR) παρέχει WFQ στις UGS και rtps, έναν πιο απλό μηχανισμό WRR στις nrtps και στις BE εφαρμόζει FIFO. Στον FIFO όλα τα πακέτα υπόκεινται στην ίδια μεταχείριση αφού τοποθετούνται σε μια

απλή ουρά και στη συνέχεια εξυπηρετούνται με την ίδια σειρά με την οποία τοποθετήθηκαν στην ουρά.

13.4.5 Weighted Fair Queuing (WFQ)

Ο αλγόριθμος WFQ υποστηρίζει ροές με διαφορετικές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης με το να αντιστοιχεί σε κάθε ουρά ένα βάρος, με το οποίο τις ομαδοποιεί σε κλάσεις. Ακόμη υποστηρίζει πακέτα μεταβλητού μήκους, έτσι ώστε στις ροές με μεγαλύτερα πακέτα να μην ανατίθεται περισσότερο εύρος ζώνης από ότι σε ροές με μικρότερα πακέτα. Εγγυάται ένα ελάχιστο επίπεδο εύρους ζώνης για κάθε κλάση υπηρεσίας ανεξάρτητα από την συμπεριφορά των άλλων κλάσεων. Όταν συνδυάζεται με τεχνικές traffic conditioning στα άκρα του δικτύου, ο αλγόριθμος εγγυάται μια δίκαιη κατανομή του εύρους ζώνης σε κάθε κλάση υπηρεσίας, καθώς και τη μέγιστη καθυστέρηση που μπορούν να υποστούν τα πακέτα.

13.4.6 Deficit Round Robin(DRR)



Σχ.13.2 Αλγόριθμος Deficit Round Robin

Μαζί με τον WRR αποτελούν την εξέλιξη των αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης Round Robin(RR). Υλοποιείται στον σταθμό βάσης για την χρονοδρομολόγηση της άνω ή της κάτω ζεύξης(κυρίως για την κάτω). Παρέχει fair queuing σε σχέση με το μήκος των πακέτων. Είναι ένας αυστηρός αλγόριθμος που απαιτεί να χρονοδρομολογείτε ένας ελάχιστος αριθμός πακέτων σε κάθε ροή. Επειδή στα ασύρματα δίκτυα το κανάλι μετάδοσης αλλάζει συνεχώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Deficit Round Robin with Fragmentation(DRRF), ο οποίος διαχειρίζεται πολύ καλύτερα τις αλλαγές που γίνονται στο ασύρματο μέσο.

13.4.7 Signal-to-Interference Ratio (mSIR)

Ο maximum Signal-to-Interference Ratio (mSIR) χρονοδρομολογητής, βασίζεται στην δέσμευση πηγών φάσματος για τους συνδρομητές με την υψηλότερη

ισχύ σήματος οδηγώντας σε καλύτερη αξιοποίηση του ραδιοφασμάτος. Παρόλα αυτά, συνδρομητές με χαμηλό SIR μπορεί να μην εξυπηρετηθούν ποτέ.

13.4.8 Opportunistic Deficit Round Robin scheduler (O-DRR)

Χρονοδρομολογεί κυρίως την ανερχόμενη ζεύξη, με τον σταθμό βάσης να αποφασίζει ποιοι συνδρομητές είναι έτοιμοι για μετάδοση και προσδιορίζει τις απαιτήσεις τους σε εύρος ζώνης. Η επιλογή των συνδρομητών γίνεται με βάση δύο κριτήρια : να μην έχουν άδεια ουρά και να έχουν SIR υψηλότερη από ένα επίπεδο.[28]

13.4.9 Class Based Queuing (CBQ)

Είναι ένας αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης που βασίζεται στον διαχωρισμό της κίνησης σε κλάσεις επιτρέποντας έτσι σε διαφορετικά είδη κίνησης να μοιράζονται το εύρος ζώνης ισότιμα. Για να μπορέσει να εξυπηρετήσει τις διάφορες κλάσεις χρησιμοποιεί FIFO.

14. Ασφάλεια επικοινωνιών στα Δίκτυα WiMax – Ανάλυση απειλής

Η ανάλυση απειλής διεξάγεται σύμφωνα με μια μεθοδολογία που η αξιολόγηση της πραγματοποιείται σύμφωνα με τρία κριτήρια[18]:

i. **Πιθανότητα (Likelihood)**

Η πιθανότητα αξιολογεί την πιθανότητα πραγματοποίησης επιθέσεων που συνδέονται με την απειλή. Δύο παράγοντες λαμβάνονται υπόψη: οι τεχνικές δυσκολίες που πρέπει να επιλυθούν από τον επιτιθέμενο και το κίνητρο για έναν επιτιθέμενο προκειμένου να εξαπολύσει μια επίθεση.

- Η πιθανότητα είναι χαμηλή εάν ένας πιθανός επιτιθέμενος πρέπει να επιλύσει ισχυρές τεχνικές δυσκολίες, με σημαντικά άγνωστα στοιχεία, ή υπάρχει χαμηλό κίνητρο για την πραγματοποίηση μιας επίθεσης τέτοιου τύπου
- Η πιθανότητα είναι μεσαία εάν υπάρχουν τεχνικές δυσκολίες, οι οποίες όμως είναι επιλύσιμες επειδή οι απαραίτητες πληροφορίες είναι διαθέσιμες, ή υπάρχουν λογικοί λόγοι για έναν επιτιθέμενο να εξαπολύσει επίθεση
- Η πιθανότητα είναι υψηλή εάν δεν υπάρχει καμία τεχνική δυσκολία που πρέπει να λυθεί ή υπάρχει υψηλό κίνητρο

ii. **Αντίκτυπος (Impact)**

Το κριτήριο του αντίκτυπου αξιολογεί τις συνέπειες μιας επίθεσης που σχετίζεται με την απειλή.

- Ο αντίκτυπος είναι χαμηλός εάν μια επίθεση δημιουργεί μόνο ενόχληση στο χρήστη και οι συνέπειες, εάν υπάρχουν, είναι αντιστρέψιμες και μπορούν να επισκευαστούν.
- Ο αντίκτυπος είναι μέσος εάν η επίθεση κατευθύνεται σε έναν μόνο χρήστη ο οποίος θα δοκιμάσει μια απώλεια υπηρεσίας για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα.
- Ο αντίκτυπος είναι υψηλός, εάν μια επίθεση κατευθύνεται σε έναν μόνο χρήστη και προκαλεί απώλεια υπηρεσίας για μακριά χρονική περίοδο.

iii. **Κίνδυνος (Risk)**

Η πιθανότητα και ο αντίκτυπος λαμβάνουν αριθμητικές τιμές από το ένα έως το τρία. Για μια δεδομένη απειλή, η αξία κινδύνου ορίζεται ως το γινόμενο της πιθανότητας και του αντίκτυπου. Εάν ο κίνδυνος παίρνει την τιμή ένα ή δύο, τότε η

απειλή θεωρείται δευτερεύουσα και δεν υπάρχει καμία ανάγκη για αντίμετρα. Εάν ο κίνδυνος παίρνει τιμή τρία ή τέσσερα, τότε η απειλή είναι σημαντική και πρέπει να αντιμετωπιστεί. Τέλος, εάν ο κίνδυνος παίρνει τιμή έξι ή εννέα, τότε η απειλή είναι κρίσιμη και πρέπει να εξεταστεί κατά προτεραιότητα.

14.1 Απειλές φυσικού στρώματος

Αφού το υπόστρωμα ασφάλειας είναι από πάνω του, το φυσικό στρώμα δεν είναι ασφαλές. Το WiMAX είναι τρωτό σε επιθέσεις εναντίον του φυσικού στρώματος όπως το jamming και το scrambling.

Το jamming επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας πηγής θορύβου τόσο ισχυρής, ώστε να μειώνει σημαντικά την χωρητικότητα του καναλιού και είναι είτε ακούσιο είτε κακόβουλο. Οι πληροφορίες και ο εξοπλισμός που απαιτούνται για να εκτελεστεί το jamming δεν είναι δύσκολο να αποκτηθούν από οποιονδήποτε. Γενικά μια επίθεση jamming είναι πιθανή να εμφανιστεί. Η ανθεκτικότητα στο jamming μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση της ισχύος των σημάτων ή την αύξηση του εύρους ζώνης που χρησιμοποιούν με τις τεχνικές εξάπλωσης συχνότητας π.χ. hopping (αναπήδηση συχνότητας) ή direct sequence spread spectrum (DSSS).

Σημειώνεται ότι ένας αριθμός από επιλογές είναι διαθέσιμος για να αυξηθεί η ισχύς ενός σήματος, όπως ένας ισχυρότερος πομπός, μια κεραία μετάδοσης υψηλού κέρδους και μια κεραία λήψης υψηλού κέρδους. Το jamming είναι εύκολο να ανιχνευθεί με εξοπλισμό ελέγχου ραδιοφάσματος. Οι πηγές είναι σχετικά εύκολο να εντοπιστούν με τη χρησιμοποίηση εργαλείων ανεύρεσης της ραδιο-κατεύθυνσης. Η επιβολή του νόμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σταματήσει τους jammers. Τα jammed τμήματα του εύρους ζώνης, μόλις ανιχνευθούν, μπορούν επίσης να αποφευχθούν με ένα σχήμα εξάπλωσης φάσματος (spread spectrum scheme). Εφόσον το jamming είναι αρκετά εύκολο να ανιχνευθεί και να αντιμετωπιστεί, θεωρείται ότι μπορεί να έχει χαμηλό αντίκτυπο (low impact) και στο χρήστη και στο σύστημα. Ο κίνδυνος που συνδέεται με το jamming είναι επομένως σημαντικός, στις περισσότερες περιπτώσεις.

Το scrambling είναι ένα είδος jamming, αλλά για σύντομα διαστήματα χρόνου και στοχεύει σε συγκεκριμένα πλαίσια ή τμήματα πλαισίων. Οι scramblers μπορούν επιλεκτικά να ανακατέψουν τον έλεγχο ή τη διαχείριση των πληροφοριών με στόχο να επηρεάσουν την κανονική λειτουργία του δικτύου. Το πρόβλημα είναι μεγαλύτερης έκτασης για ευαίσθητα στο χρόνο μηνύματα, που δεν είναι ανεκτικά σε καθυστερήσεις, όπως οι αναφορές αιτημάτων ή απαντήσεων μέτρησης καναλιών (channel measurement report requests or responses). Οι χρονοσχισμές της μεταφοράς των δεδομένων που ανήκουν σε καθορισμένους χρήστες μπορούν να

υποστούν scrambling επιλεκτικά, αναγκάζοντας τους να αναμεταδώσουν, με αποτέλεσμα να παίρνουν λιγότερο από το χορηγημένο σε αυτούς εύρος ζώνης. Οι scrambled uplink χρονοσχισμές άλλων χρηστών μπορούν θεωρητικά να μειώσουν το ωφέλιμο εύρος ζώνης των θυμάτων και να επιταχύνουν την μετάδοση δεδομένων του επιτιθεμένου.

Είναι σχετικά περισσότερο δύσκολο να εκτελεστεί scrambling σε σχέση με το jamming, λόγω της ανάγκης του επιτιθέμενου να ερμηνεύσει τις πληροφορίες ελέγχου και να στείλει θόρυβο κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων διαστημάτων. Υπάρχουν τεχνικές δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπίσει ένας επίδοξος επιτιθέμενος, αλλά είναι επιλύσιμες. Η πιθανότητα να συμβεί περιστατικό scrambling είναι μεσαία. Το scrambling είναι πιο δύσκολο να ανιχνευθεί λόγω της διαλείπουσας φύσης της επίθεσης και του γεγονότος ότι το scrambling μπορεί επίσης να οφείλεται σε φυσικές πηγές θορύβου. Το scrambling και οι scramblers μπορούν να ανιχνευθούν με τον έλεγχο για ανωμαλίες στα κριτήρια απόδοσης. Ο αντίκτυπος του scrambling είναι χαμηλός και έχει σαν αποτέλεσμα την ενόχληση σε έναν περιορισμένο αριθμό χρηστών. Τα αποτελέσματα είναι αντιστρέψιμα, π.χ. μέσω της αναμετάδοσης. Πιστεύεται ότι το scrambling αντιπροσωπεύει έναν δευτερεύοντα κίνδυνο αυτή τη στιγμή.

14.2 Απειλές του στρώματος MAC

Το στρώμα MAC είναι προσανατολισμένο σε σύνδεση (connection oriented). Υπάρχουν δύο είδη συνδέσεων: συνδέσεις διαχείρισης και συνδέσεις μεταφοράς δεδομένων. Οι συνδέσεις διαχείρισης είναι τριών ειδών: βασικές, αρχικές και δευτερεύουσες. Μια βασική σύνδεση δημιουργείται για κάθε κινητό σταθμό όταν μπαίνει στο δίκτυο. Χρησιμοποιείται για σύντομα και επείγοντα μηνύματα διαχείρισης. Η αρχική σύνδεση δημιουργείται επίσης για κάθε κινητό σταθμό κατά το χρόνο εισόδου του στο δίκτυο, αλλά αυτό χρησιμοποιείται για μηνύματα διαχείρισης που είναι ανεκτικά σε καθυστέρηση. Η δευτερεύουσα σύνδεση χρησιμοποιείται για ενθυλακωμένα (encapsulated) IP μηνύματα διαχείρισης. Οι συνδέσεις μεταφορών μπορούν να αποκαθίστανται κατά απαίτηση. Unicast ή multicast μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση. Η security association (SA) είναι μια έννοια που περιλαμβάνει τις παραμέτρους ασφάλειας μιας σύνδεσης: κλειδιά και αλγόριθμους επιλεγμένης κρυπτογράφησης (selected encryption algorithms). Οι βασικής και αρχικής διαχείρισης συνδέσεις δεν έχουν SA. Παρόλα αυτά, η ακεραιότητα των μηνυμάτων διαχείρισης μπορεί να εξασφαλιστεί. Η δευτερεύουσα σύνδεση μπορεί να έχει SA, σε προαιρετική βάση, ενώ οι συνδέσεις μεταφοράς έχουν πάντα SA.

Υπάρχουν τρεις τύποι SA, δηλαδή το αρχικό SA, το στατικό SA και το δυναμικό SA. Κάθε SA έχει έναν identifier (SAID). Επίσης περιέχει μια κρυπτογραφική suite identifier (επιλεγμένοι αλγόριθμοι) και Traffic Encryption Keys (TEK).

Υπάρχει ένα αρχικό SA για κάθε κινητό σταθμό. Το αρχικό SA εγκαθίσταται με την έναρξη της επικοινωνίας. Το πρωτεύον (primary) SA είναι δευτεροβάθμια σύνδεση διαχείρισης. Το primary SA μοιράζεται αποκλειστικά μεταξύ ενός κινητού σταθμού και του σταθμού βάσης που τον εξυπηρετεί. Τα στατικά SA δημιουργούνται από τους σταθμούς βάσης κατά τη διάρκεια της έναρξης επικοινωνίας από έναν κινητό σταθμό. Υπάρχει ένα στατικό SA για τη βασική unicast υπηρεσία. Ένας κινητός σταθμός μπορεί να είχε γίνει συνδρομητής σε πρόσθετες υπηρεσίες. Υπάρχουν τόσα πρόσθετα στατικά SA όσες και οι πρόσθετες συνδρομητικές υπηρεσίες. Στατικά SA και δυναμικά SA μπορούν να μοιράζονται μεταξύ διάφορων σταθμών, όταν χρησιμοποιείται multicast.

15. Μελέτη ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης WiMax

Σε αυτό το κεφάλαιο εξηγούμε με λεπτομέρειες το περιβάλλον προσομοίωσης που επιλέξαμε για μελέτη. Στο περιβάλλον αυτό, πρώτα χαρακτηρίζεται η κίνηση του φόρτου εργασίας και προσδιορίζεται η απόδοση των μετρικών και έπειτα περιγράφονται οι επιλογές σχεδίασης, οι οποίες είναι ελεύθερες και δεν ορίζονται από κάποιο πρότυπο, αλλά άπτονται στην επιλογή του κάθε κατασκευαστή. Πιο συγκεκριμένα δικαιολογείτε η επιλογή αυτών που δημιούργησαν το περιβάλλον προσομοίωσης, για τους αλγόριθμους χρονοδρομολόγησης που τρέχουν στον σταθμό βάσης και στους συνδρομητές. Όλα αυτά έτσι όπως ορίστηκαν από τους δημιουργούς του περιβάλλοντος προσομοίωσης οι οποίοι δείχνουν και τον τρόπο με τον οποίο χειρίστηκαν τους μηχανισμούς αίτησης εύρους ζώνης.

15.1 Μοντέλα κίνησης

Διαφορετικοί τύποι πηγών κίνησης χρησιμοποιηθήκαν στα σενάρια προσομοίωσης. Την κίνηση των δεδομένων την έχουν μοντελοποιήσει ως πηγή Web. Οι υπεύθυνοι χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικά μοντέλα πηγών web τα οποία ονομάζονται web expoential και web weibull. Η κίνηση multimedia εκτιμήθηκε από videoconference και VoIP πηγές. Συγκεκριμένα η VoIP έχει μοντελοποιηθεί ως πηγή ON/OFF με Voice Activity Detection(VAD), δηλαδή ανίχνευση δραστηριότητας φωνής. Τα πακέτα δημιουργούνται μόνο κατά τη διάρκεια της ON περιόδου[29].

15.2 Μετρικές απόδοσης

Οι διάφορες μετρικές έχουν καθοριστεί, για να μπορέσουν οι αρμόδιοι να καθορίσουν(και μεις να μελετήσουμε)την απόδοση του πρωτοκόλλου 802.16 MAC. Μεταξύ των άλλων, σύμφωνα με το [29] έχουν προσδιοριστεί και οι παρακάτω σχετιζόμενες με την κίνηση μετρικές :

1)gross subframe utilization (Μέγιστη χρησιμοποίηση του υποπλαισίου) : ο λόγος μεταξύ των συμβόλων OFDM που χρησιμοποιούνται σε ένα υποπλαίσιο για μετάδοση δεδομένων(περιλαμβάνοντας τα φυσικά προοίμια-εισαγωγή) πάνω από το συνολικό αριθμό συμβόλων OFDM που περιλαμβάνονται σε ένα υποπλαίσιο.

2) throughput(ρυθμαπόδοση) : το συνολικό ποσοστό των καθαρών χρήσιμων δεδομένων που μεταφέρονται από το σύστημα στην μονάδα του χρόνου.

3) transfer delay (καθυστέρηση μεταφοράς) : Το διάστημα του χρόνου μεταξύ του όταν τα πακέτα φτάνουν στο buffer της σύνδεσης MAC από τον κόμβο-πηγή(SS/BS)

και του όταν αυτά τα πακέτα έχουν πλήρως παραδοθεί στο επόμενο στρώμα στον τελικό προορισμό(BS/SS).

4) number of SSs served per frame(Ο αριθμός των συνδρομητών που εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο) : Δηλαδή, ο αριθμός των συνδρομητών που λαμβάνουν πόρους για μία ανερχόμενη ζεύξη, από τον σταθμό βάσης.

Από την άλλη μεριά οι μηχανισμοί αίτησης εύρους ζώνης έχουν καθοριστεί από τις ακόλουθες μετρικές :

5) Nc : Ο αριθμός των συνδέσεων που βασίζονται σε αιτήσεις εύρους ζώνης, που λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης σε κάθε υποπλαίσιο ανερχόμενης ζεύξης. Χρησιμοποιεί την επικεφαλίδα bandwidth request για τη δήλωση του αιτήματος. Στέλνεται είτε στο uplink που έχει δεσμευτεί για το SS, είτε σε ένα από τα slots για bandwidth requests. Έχει τη δυνατότητα να ζητήσει έως και 32KB ανά μήνυμα. Επιπλέον, μπορεί να είναι είτε αυξητικής έννοιας είτε συνολικά, όπως αυτό ορίζεται από την επικεφαλίδα.

6) Np : Ο αριθμός των piggybacked αιτήσεων εύρους ζώνης που λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης σε κάθε υποπλαίσιο ανερχόμενης ζεύξης. Οι piggybacked αιτήσεις παρουσιάζονται στην επικεφαλίδα στα δεδομένα PDU της ίδια της σύνδεσης και υπάρχει η δυνατότητα αιτήματος μέχρι 32KB και είναι πάντοτε αυξητική.

7) backlog gap : Η διαφορά μεταξύ της εκτίμησης του σταθμού βάσης της σειράς προτεραιότητας μιας σύνδεσης και της πραγματικής σειράς προτεραιότητας αυτής της σύνδεσης στον συνδρομητή.

15.3 Επιλογές προσομοίωσης

15.3.1 Χρονοδρομολόγηση σταθμού βάσης και συνδρομητών

Στο ξεκίνημα κάθε πλαισίου, ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για να εκπέμψει την χρονοδρομολόγηση της άνω και της κάτω ζεύξης διαμέσου των UL/DL-MAP μηνυμάτων. Τα UL/DL-MAP πρέπει να παράγονται σε κάθε πλαίσιο ανά πλαίσιο λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της ποιότητας υπηρεσιών. Ωστόσο το πρότυπο 802.16 δηλώνει ξεκάθαρα ότι οι αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης οι οποίοι τρέχουν στον σταθμό βάσης(όπως επίσης και στους συνδρομητές) αφορούν τους κατασκευαστές. Πολλοί αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης έχουν τοποθετηθεί στην κυριολεξία για να υποστηρίξουν την ποιότητα υπηρεσιών σε ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα. Συγκεκριμένα μέσα σε αυτήν την κλάση, επιλέξαμε Deficit Round Robin (DRR) σαν χρονοδρομολογητή της κάτω ζεύξης για να εφαρμοστεί στον σταθμό βάσης, καθώς συνδυάζει την ικανότητα να παρέχει fair queuing, στα υπάρχοντα ποικίλου μήκους πακέτα, με απλότητα εφαρμογής. Βασικά, ο DRR

απαιτεί ελάχιστο ρυθμό να εξυπηρετείτε για κάθε σύνδεση που χρονοδρομολογείτε. Παρόλο που δεν απαιτείται από το πρότυπο 802.16, οι best effort συνδέσεις πρέπει επίσης να εγγυώνται έναν ελάχιστο ρυθμό. Αυτή η ευκαιρία μπορεί να παρθεί είτε για να μην υπάρχει απουσία της BE κίνησης σε υπερφορτωμένα σενάρια είτε για να επωφεληθεί μία BE κίνηση από το εύρος ζώνης το οποίο δεν έχει δεσμευτεί για άλλες χρονοδρομολογημένες υπηρεσίες.

Στην πραγματικότητα, με αναφορά στην ανερχόμενη κατεύθυνση, ο σταθμός βάσης έχει την δυνατότητα να υπολογίσει μόνο το συνολικό ποσοστό της σειράς προτεραιότητας σε κάθε σύνδεση, αλλά όχι το μήκος του κάθε πακέτου που είναι σε σειρά προτεραιότητας λόγω αναμονής. Γι' αυτό τον λόγο επιλέξαμε Weighted Round Robin (WRR) σαν χρονοδρομολογητή ανερχόμενης ζεύξης στον προσομοιωτή 802.16.

Για να μπορέσουν οι κατασκευαστές του περιβάλλοντος να ενισχύσουν την υποστήριξη της ποιότητας υπηρεσιών στο επίπεδο των συνδέσεων, οι συνδέσεις αυτές ομαδοποιήθηκαν ανάλογα σε ποιον συνδρομητή ανήκαν αλλά εξυπηρετούνταν ανεξάρτητα και με τους δύο αλγορίθμους χρονοδρομολόγησης DRR και WRR.

Πριν κατασκευάσουν τον downlink και uplink MAP, ο σταθμός βάσης ομαδοποιεί τους πόρους που δείχνουν στους ίδιους συνδρομητές. Κάθε συνδρομητής, όταν λαμβάνει μια παροχή από τον σταθμό βάσης, πρέπει να το μοιραστεί με τις συνδέσεις που έχουν σειρά προτεραιότητας λόγω αναμονής σύμφωνα με κάποια αστυνόμευση που θα υπάρχει. Η χωρητικότητα της άνω ζεύξης, η οποία εκχωρήθηκε από τον σταθμό βάσης κατά την φάση της frame-by-frame μετάδοσης μηνυμάτων MAP, μοιράζεται δίκαια στις συνδέσεις του κάθε συνδρομητή ανάλογα με τον ελάχιστο απαιτούμενο ρυθμό τους.

15.3.2 Διαχείριση απαιτήσεων εύρους ζώνης

Παρόλο που το πρότυπο 802.16 παρέχει στους συνδρομητές μια πληθώρα μηχανισμών αίτησης εύρους ζώνης, ο προσδιορισμός της ακριβής διαδικασίας για το ποιο μηχανισμό πρέπει ένας συνδρομητής να ακολουθήσει και πότε, έτσι ώστε να ενημερώσει τον σταθμό βάσης για τις απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, δεν είναι ξεκάθαρο. Οι συνδρομητές πάντα ζητάνε εύρος ζώνης όταν το χρειάζονται. Οι αρμόδιοι δεσμεύσαν για κάθε υποπλαίσιο ανερχόμενης ζεύξης ένα μικρό ποσοστό ελεύθερου χώρου που ονομάζεται Bwmin για διανομή. Το Bwmin παραμένει σταθερό κατά την διάρκεια όλης της προσομοίωσης. Ωστόσο, η χωρητικότητα του υποπλαισίου ανερχόμενης ζεύξης, η οποία δεν είναι καταχωρημένη ως ανερχόμενη παροχή προς τους συνδρομητές, είναι διαθέσιμη για διανομή. Το αντίκτυπο αυτών των επιλογών στην απόδοση, στους όρους της ρυθμαπόδοσης και της

καθυστέρησης όπως παρουσιάζονται από τους κατασκευαστές θα συζητηθούν παρακάτω[29].

15.3.3 Αξιολόγηση απόδοσης

Σε αυτό το σημείο, θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μιας εκτεταμένης ανάλυσης απόδοσης του 802.16 WirelessMAN-OFDM air interface με FDD mode. Πρώτα παρουσιάζουμε την απόδοση του 802.16 μόνο με κίνηση δεδομένων. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε από τους δημιουργούς ότι η ρυθμαπόδοση και η μέση καθυστέρηση ποικίλει κάτω από διαφορετικά σενάρια κίνησης και διαφορετικές παραμέτρους συστήματος. Δεύτερον, για να κερδίσουν διορατικότητα μέσα στο MAC protocol μελέτησαν και συγκρίνανε την αποτελεσματικότητα του 802.16 μηχανισμού αίτησης εύρους ζώνης. Τελικά καθορίστηκε η απόδοση του 802.16 με διάφορα σενάρια κίνησης, τα οποία αποτυπώνουν αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης. Ο στόχος για υπηρεσίες χρονοδρομολόγησης για κίνηση δεδομένων είναι BE, ενώ για multimedia κίνηση είναι rtPS.

Οι υπεύθυνοι θεώρησαν ότι όλοι οι συνδρομητές έχουν δυνατότητες full-duplex, παρόλο που όλη η διάρκεια του υποπλαισίου downlink (uplink) μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε συνδρομητή για να λαμβάνει (στέλνει) όπως αναφέρεται και στον MAP του σταθμού βάσης. Επιπλέον, θεωρήθηκαν ιδανικές συνθήκες καναλιού π.χ. καμία φθορά πακέτου οφείλετε στην εξασθένηση του ασύρματου καναλιού. Αυτό τους επέτρεψε να διεισδύσουν στους μηχανισμούς που παρέχονται από το 802.16 MAC για να διαχειριστούν δεδομένα και multimedia κίνηση, άσχετα από οποιεσδήποτε υποθέσεις για τα φυσικά χαρακτηριστικά. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της προσομοίωσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Simulation parameter		Value(s)
Channel bandwidth		7 MHz
OFDM symbol duration		34 μs
Cyclic prefix duration		2 μs
Frame duration		5 ms, 10 ms, 20 ms
Uplink allocation start time		one frame duration
Request backoff start		4 (cw = 16)
Request backoff end		10 (cw = 1024)
Contention bandwidth request collision detection timeout		50 ms
Modulation		QPSK, 16-QAM, 64-QAM
FEC type		RS-CC
Minimum reserved traffic rate	Web – BE	$W \cdot 1$ Kb/s
	Web – nrtPS UL (DL)	$W \cdot 25$ Kb/s ($W \cdot 295$ Kb/s)
	VoIP	$W \cdot 12$ Kb/s
	Videoconference	$W \cdot 72$ Kb/s

Πίνακας.15.1 Παράμετροι προσομοίωσης

Όσον αφορά το φορτίο που μεταφέρεται, θεωρήθηκε σε όλα τα σενάρια ότι κάθε σύνδεση μεταφέρει κίνηση που κυμαίνεται από έναν αριθμό W από πανομοιότυπες πηγές δεδομένων, των οποίων ο συγκεκριμένος τύπος - Web, videoconference, VoIP – και ο χαρακτηρισμός εξαρτάται από το πραγματικό σενάριο προσομοίωσης. Επιπλέον, κάθε συνδρομητής υποστηρίζει σε ένα δοθέν σενάριο έναν αριθμό C συνδέσεων ανά κατεύθυνση. Δηλώνοντας με S το συνολικό αριθμό των σταθμών, το προσφερόμενο από το σύστημα φορτίο ανά κατεύθυνση μπορεί να εκφρασθεί ως ένας αριθμός N = S * C * W των στοιχειωδών πηγών κίνησης.

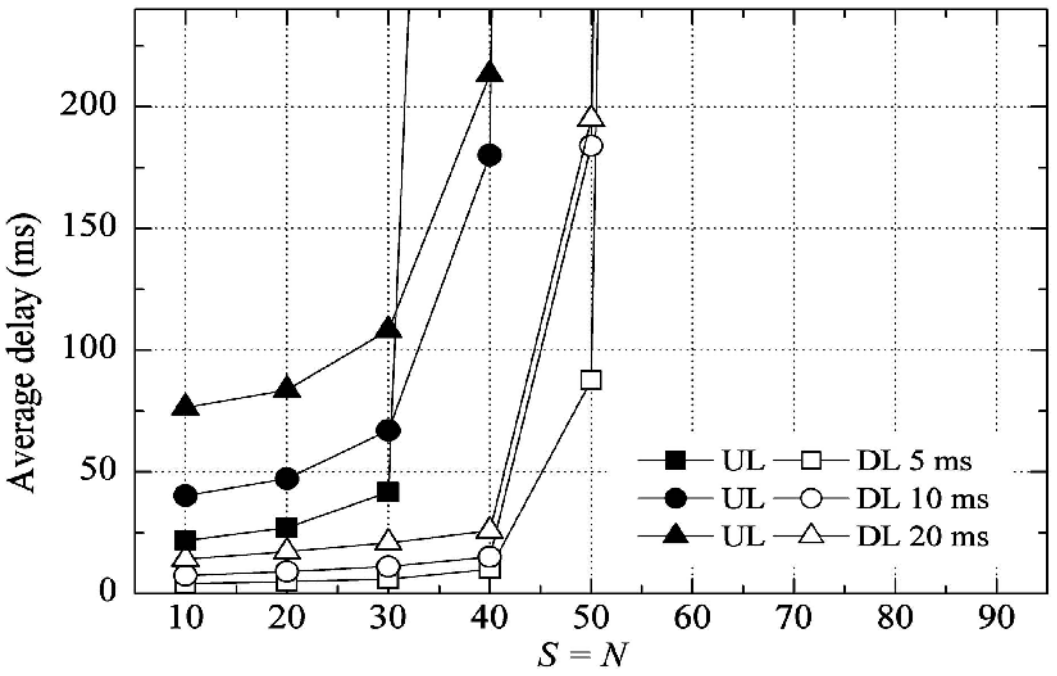
Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, οι αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης έχουν επιλεχθεί από τους δημιουργούς έτσι ώστε να παρέχουν σε κάθε σύνδεση έναν ελάχιστο ρυθμό. Πιο συγκεκριμένα, ο ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός μιας VoIP ή μιας videoconference σύνδεσης υπολογίζεται από τους αλγορίθμους χρονοδρομολόγησης για την κάθε μία ξεχωριστά, και εγγυώνται ότι θα διαθέσουν τον ελάχιστο αυτόν απαιτούμενο ρυθμό.

Η ανάλυση της προσομοίωσης διεξήχθη χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ανεξάρτητων επαναλήψεων. Συγκεκριμένα, η προσομοίωση κάθε σεναρίου επαναλήφθηκε 20 φορές. Η διάρκεια της κάθε μίας ήταν 1200 δευτερόλεπτα με ένα στάδιο προθέρμανσης των 360 δευτερολέπτων(βλέπε [29]).

15.3.4 Ανάλυση ρυθμαπόδοσης και καθυστέρησης

Στην αξιολόγηση της απόδοσης πρέπει να ξεκαθαρίσουμε έναν αριθμό παραγόντων – κλειδιών που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση της κίνησης των δεδομένων : η διαδικασία άφιξης των πηγών κίνησης, υπηρεσίες χρονοδρομολόγησης(μόνο για uplink), BWmin τιμές και διάρκεια πλαισίου. Σε αυτό το σενάριο η ελάχιστη μονάδα κίνησης είναι 147 Kb/s, όπως καταφθάνει από την συνάθροιση των 6 πηγών Web. Παρόλα αυτά το ωφέλιμο φορτίο είναι N * 147 Kb/s.

Οι ειδικοί αξιολόγησαν πως η διαδικασία άφιξης των πηγών κίνησης επηρεάζει την απόδοση, γι' αυτό έτρεξαν όλα τα σενάρια προσομοίωσης και με τις δύο πηγές, την exponential Web και την Weibull Web. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και στις δύο περιπτώσεις δεν διέφεραν μεταξύ τους, γι' αυτό εδώ θα αναφέρουμε μόνο τα αποτελέσματα της πρώτης πηγής. Επιπλέον, για τις συνδέσεις ανερχόμενης ζεύξης, ανακάλυψαν ότι οι nrtPS και BE υπηρεσίες χρονοδρομολόγησης αποδίδουν ουσιαστικά το ίδιο. Απλά να αναφέρουμε ότι θεωρήθηκε ότι οι uplink συνδέσεις εξυπηρετούνται από BE υπηρεσίες χρονοδρομολόγησης και το BWmin έχει τεθεί στο 7.



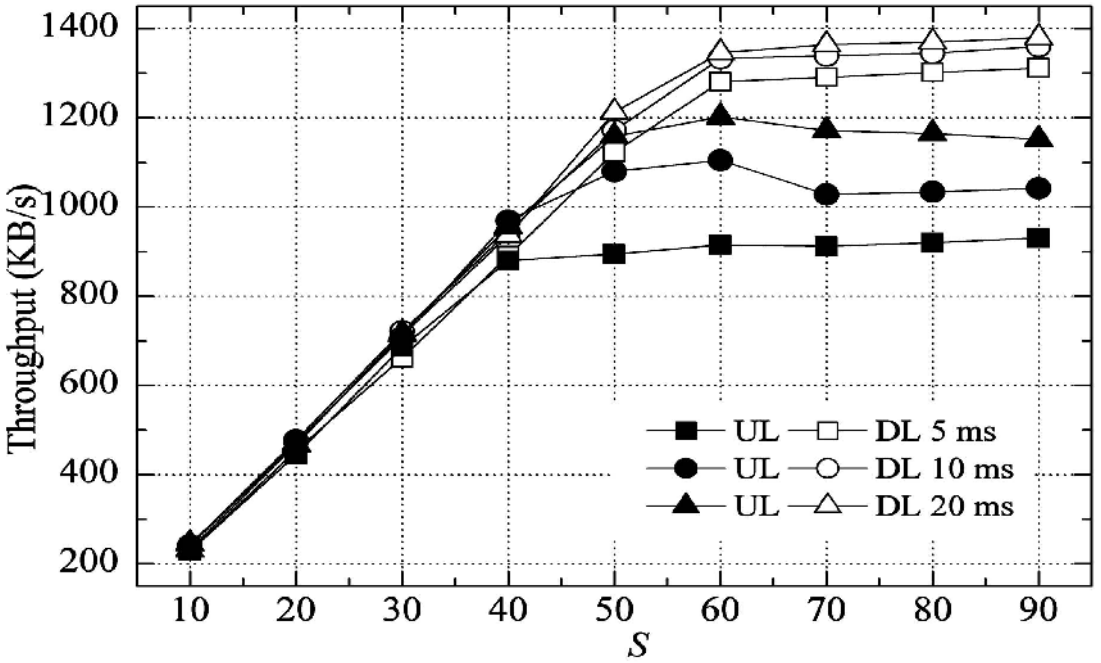
Σχ.15.1 Μέση καθυστέρηση προς το φορτίο

Ξεκινάμε την παρουσίαση της ανάλυσης με το πρώτο σενάριο στο οποίο οι δημιουργοί έθεσαν σε αυτό έναν αύξον αριθμό συνδρομητών (S). Κάθε σταθμός συνδρομητής έχει μία σύνδεση η οποία έχει φορτωθεί με μία πηγή κίνησης π.χ. C = 1, W = 1 και N = S. Η εικόνα 1 δείχνει το μέσο όρο καθυστέρησης του downlink και του uplink έναντι του αριθμού των SSs για τρεις διαφορετικές διάρκειες πλαισίων(π.χ. 5ms, 10ms, and 20ms). Όπως ήταν αναμενόμενο, ο μέσος όρος της καθυστέρησης

αυξάνεται με το προσφερόμενο φορτίο. Στην πράξη, ο χρόνος που χρειάζεται ο χρονοδρομολογητής του σταθμού βάσης για να εξυπηρετήσει μία απασχολημένη downlink (uplink) σύνδεση εξαρτάται από το συνολικό ποσό των δεδομένων που είναι σε προτεραιότητα λόγω αναμονής από τις ποικίλες συνδέσεις των SSs. Επιπλέον ο μέσος όρος της καθυστέρησης μιας uplink σύνδεσης είναι πολύ υψηλότερος από μίας downlink. Αυτό συμβαίνει επειδή η μετάδοση των uplink SDUs απαιτεί από τους συνδρομητές να ζητούν εύρος ζώνης από τον σταθμό βάσης, και υπάρχει μια επιπλέον καθυστέρηση.

Όταν το σύστημα είναι ελαφρώς φορτωμένο ο μέσος όρος της καθυστέρησης αυξάνεται με την διάρκεια του πλαισίου και προς τις δύο κατευθύνσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, καθώς οι προσωρινοί χώροι αποθήκευσης των συνδέσεων είναι άδειοι για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, το κύριο στοιχείο της καθυστέρησης είναι ο χρόνος ανάμεσα στα πακέτα που φθάνουν και στο ξεκίνημα του ερχόμενου πλαισίου. Στην ουσία, το κενό μεταξύ δύο οποιονδήποτε downlink καμπύλων είναι σχεδόν ίσα με τη διαφορά ανάμεσα στις διάρκειες των πλαισίων.

Επιπλέον στην ανερχόμενη ζεύξη όσο μικρότερη είναι η διάρκεια του πλαισίου τόσο νωρίτερα το σύστημα υπερφορτώνεται. Στην πράξη όταν το σύστημα είναι αποφορτωμένο ο μέσος όρος των SSs που εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο είναι ο ίδιος και στις τρεις περιπτώσεις. Συνεπώς, όσο μικρότερη είναι η διάρκεια ενός πλαισίου, τόσο υψηλότερο το overhead εξαιτίας των φυσικών προοιμίων(preambles) και κατά συνέπεια χαμηλότερο διαθέσιμο εύρος ζώνης για την κίνηση των δεδομένων. Από την άλλη μεριά όσο νωρίτερα το σύστημα υπερφορτωθεί, υπάρχει μία απότομη αύξηση στο μέσο όρο της καθυστέρησης, της οποίας το βασικό συστατικό γίνεται το queuing delay των SDUs στα δοθέντα buffers των συνδέσεών τους, οι οποίες προσωρινές θέσεις αποθήκευσης των συνδέσεων είναι το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα πολύ γεμάτες[29].



Σχ.15.2 Η σχέση της ρυθμαπόδοσης με την αύξηση των συνδρομητών

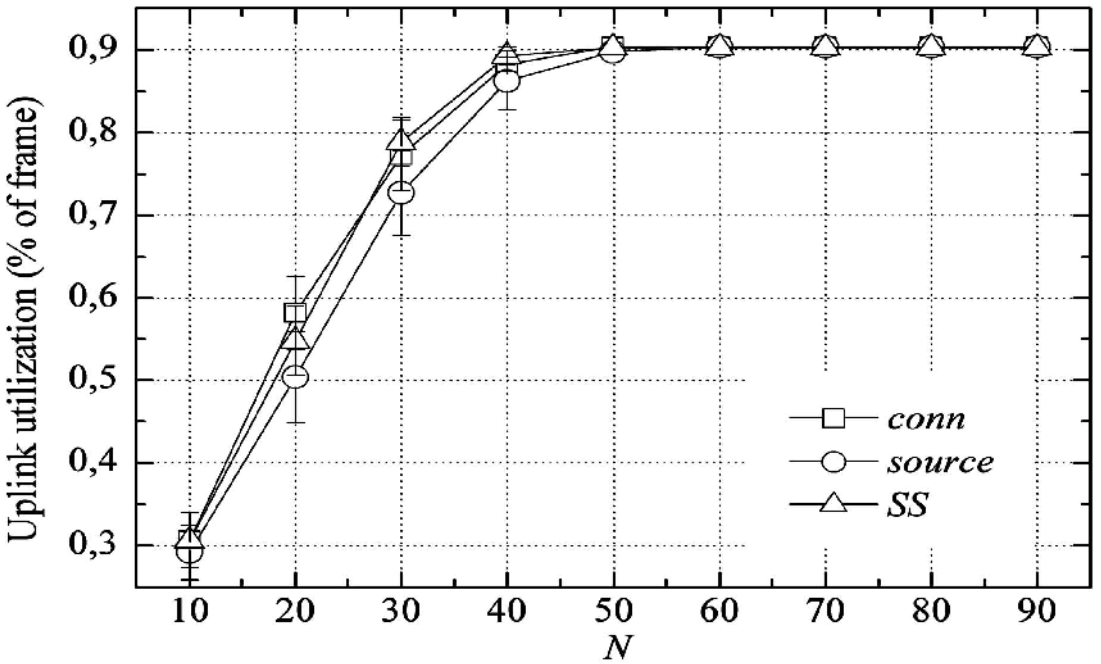
Επιπλέον, όπως φαίνεται στην εικόνα, μικρότερα πλαίσια έχουν μειονέκτημα από την πλευρά της ρυθμαπόδοσης. Όπως είναι φανερό, η ρυθμαπόδοση αυξάνεται γραμμικά με το προσφερόμενο φορτίο για όσο το σύστημα δεν είναι φορτωμένο(N <= 40 στο uplink, N <= 50 στο downlink). Έπειτα η ρυθμαπόδοση φτάνει σχεδόν μία σταθερή τιμή, η οποία εξαρτάται από την διάρκεια του πλαισίου. Ανάμεσα στις downlink καμπύλες, υπάρχει ένα μικρό κέρδος στην ρυθμαπόδοση με μεγαλύτερα πλαίσια. Αυτό συμβαίνει γιατί το MAC overhead εξαιτίας της μετάδοσης των MAP, μειώνεται ελαφρώς όταν η διάρκεια του πλαισίου αυξάνεται. Από την άλλη μεριά, η βελτίωση της ρυθμαπόδοσης του uplink με μεγαλύτερα πλαίσια είναι πολύ περισσότερο προφανής. Σε οποιαδήποτε περίπτωση όλες οι downlink καμπύλες «ξαπλώνουν» πάνω από τις uplink. Και αυτό επειδή η uplink μετάδοση δεδομένων επιβαρύνεται και με τις δύο επιπρόσθετες καθυστερήσεις εξαιτίας της ζήτησης εύρους ζώνης και του overhead των φυσικών preambles στις εκρήξεις των PDUs.

Τώρα παρουσιάζουμε πως οι κατασκευαστές αξιολογούν πόσο ο τρόπος που μοιράζεται / αλλάζει το προσφερόμενο φορτίο επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Αυτή η αξιολόγηση εφαρμόστηκε και στις τρεις διάρκειες πλαισίων που λήφθηκαν πριν υπόψη(π.χ. 5 ms, 10 ms, 20 ms).

Scenario identifier	*S*	*C*	*W*	*N*	Offered load (Kb/s)
SS	10 → 90	1	1	10 → 90	147 → 13,230
conn	10	1 → 9	1	10 → 90	147 → 13,230
source	10	1	1 → 9	10 → 90	147 → 13,230

Πίνακας 15.2 Αλλαγές σε κάποιες παραμέτρους προσομοίωσης

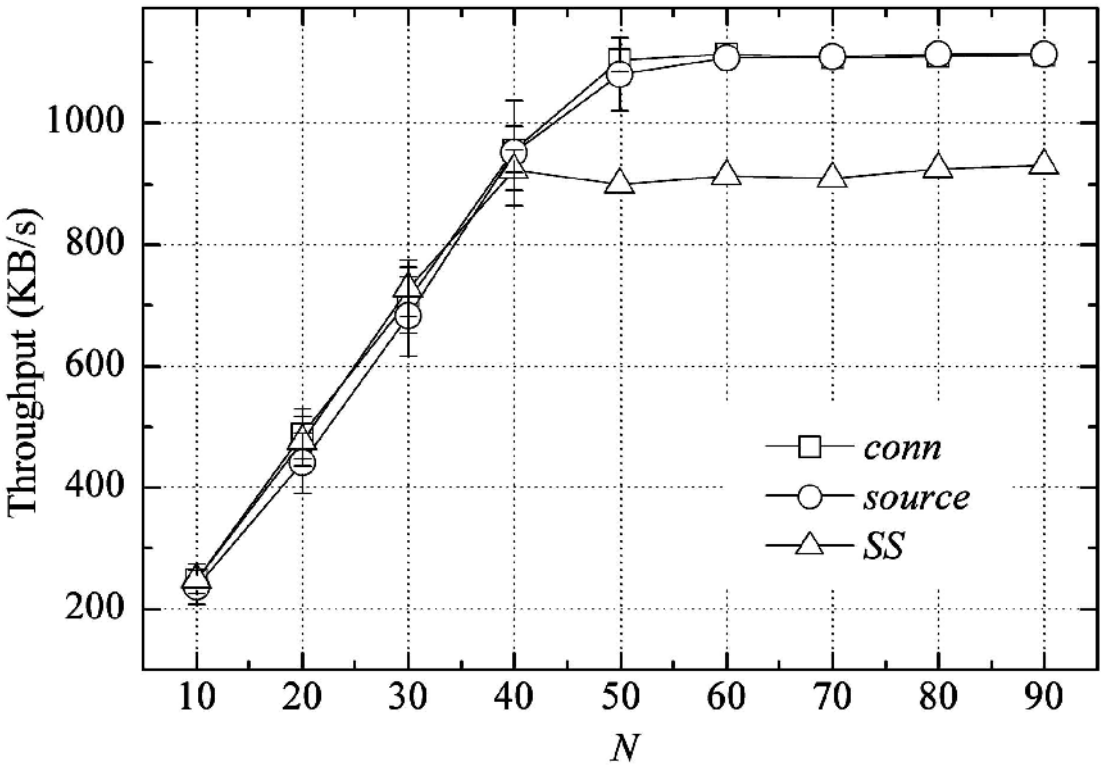
Όπως φαίνεται και στον πίνακα πρώτα εφαρμόστηκε ένα σύνολο προσομοιώσεων στις οποίες το φορτίο N αυξάνεται από 10 σε 90 με βήματα των 10 μονάδων διαφοροποιώντας μόνο ένα παράγοντα την φορά(S, C, W)[1]. Αντίθετα με τη διάρκεια του πλαισίου, το φορτίο, το οποίο διαμοιράζεται με τον παραπάνω τρόπο, δεν επηρεάζει στην ουσία την απόδοση των downlink συνδέσεων στους όρους της ρυθμαπόδοσης καθώς : 1) δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης των μηχανισμών αίτησης εύρους ζώνης, 2) δεν υπάρχει κανένα φυσικό προοίμιο, ούτε overhead εξαιτίας των πολλαπλών αναμεταδοτών, ως εκ τούτου, ο σταθμός βάσης μπορεί να εκμεταλλεύεται το συνολικό εύρος ζώνης του downlink άσχετα με το πώς η κίνηση έχει μοιραστεί.



Σχ.15.3 Η επίδραση στην χρησιμοποίηση του uplink σε σχέση με το διαμοιρασμό του φορτίου

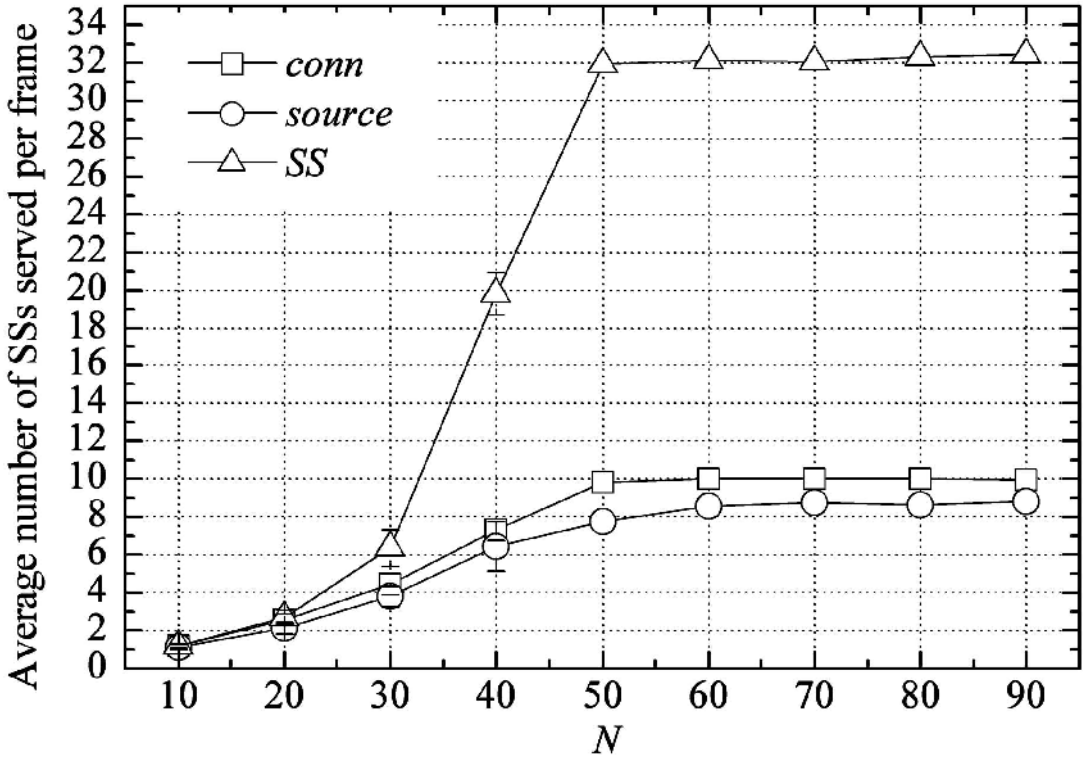
Η εικόνα 3 δείχνει την αξιοποίηση του uplink έναντι του φορτίου και τις εντυπωσιακές λεπτομέρειες που η αξιοποίηση δεν αλλάζει σημαντικά για τις τιμές των N που είναι μεγαλύτερες των 50. Και αυτό γιατί με N = 50, το σύστημα υπερφορτώνεται π.χ. όλες οι συνδέσεις είναι σε σειρά προτεραιότητας λόγω αναμονής και υπάρχει απώλεια πακέτων εξαιτίας της υπερχείλισης της προσωρινής μνήμης αποθήκευσης. Σημειώνουμε επίσης ότι η αξιοποίηση ασυμπτωματικά φτάνει την τιμή του 0.90. Στην πράξη ένα κομμάτι του υποπλαισίου uplink είναι πάντα αφιερωμένο στον ελεύθερο χώρο. Έτσι όταν το σύστημα υπερφορτώνεται το

υποπλαίσιο uplink είναι απασχολημένο σε μέγιστο βαθμό άσχετα με το πώς το φορτίο διαιρείται.



Σχ.15.4 Η επιρροή στην ρυθμαπόδοση από την διαφορετική κατανομή του φορτίου

Η εικόνα δείχνει την ρυθμαπόδοση του uplink έναντι του προσφερόμενου φορτίου. Όπως αναμενόταν, δεν υπάρχει καμία απώλεια φορτίου όταν το σύστημα δεν είναι φορτωμένο(N < 50). Από την άλλη μεριά, ο διαμερισμός του προσφερόμενου φορτίου επηρεάζει την ρυθμαπόδοση όταν το σύστημα είναι υπερφορτωμένο(N >= 50). Συγκεκριμένα, η ρυθμαπόδοση του SS είναι χαμηλότερη από την σύνδεση και την πηγή της ρυθμαπόδοσης. Για να εξηγηθεί αυτήν τη συμπεριφορά αναλύεται ο μέσος αριθμός των SSs που εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Η καμπύλη της σύνδεσης και της πηγής βρίσκονται κάτω από το 10 (που είναι ο αριθμός των SSs στο σύστημα) για κάθε τιμή που έχει το N. Σε αντίθεση, από την μεριά του SS, δεν υπάρχει μέσος όρος πάνω από 32 SSs που να εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο π.χ. στην περίπτωση των συνδρομητών ο μέσος αριθμός των SSs που εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο είναι στο 20% υψηλότερα απ' ότι στις περιπτώσεις της σύνδεσης και της πηγής.



Σχ. 15.5 Ο αριθμός των συνδρομητών που εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο σε σχέση με το πώς μοιράζεται το φορτίο

Παρόλα αυτά ο αριθμός των φυσικών preambles που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση είναι κατά μέσο όρο 20% υψηλότερος στην περίπτωση του SS απ' ότι στις άλλες δύο περιπτώσεις. Αυτό εξηγεί και γιατί η ρυθμαπόδοση του SS είναι χαμηλότερη από τις περιπτώσεις της σύνδεσης και της πηγής[29].

Επιπλέον η παραπάνω εικόνα δείχνει και μια μικρή διαφορά μεταξύ της καμπύλης της πηγής και της σύνδεσης. Αυτό εξηγείται από τα παρακάτω : Κάθε SS ζητά εύρος ζώνης για κάθε σύνδεση ξεχωριστά. Ο σταθμός βάσης κρατά στοιχεία για κάθε απασχολημένη σύνδεση του κάθε SS και τις εξυπηρετεί ατομικά. Στην πράξη, στην περίπτωση των πηγών, η αίτηση του SS για εύρος ζώνης για κάθε σύνδεση αυξάνει το N. Στην περίπτωση της σύνδεσης, το ποσοστό του εύρους ζώνης που ζητείται είναι ανεξάρτητο από το N, γνωρίζοντας πως το φορτίο της κίνησης της σύνδεσης δεν αλλάζει. Παρόλα αυτά στην περίπτωση των πηγών, οι uplink πόροι είναι μεγαλύτεροι, το οποίο σημαίνει έναν ελαφριά μικρότερο μέσο αριθμό SSs να εξυπηρετούνται ανά πλαίσιο.

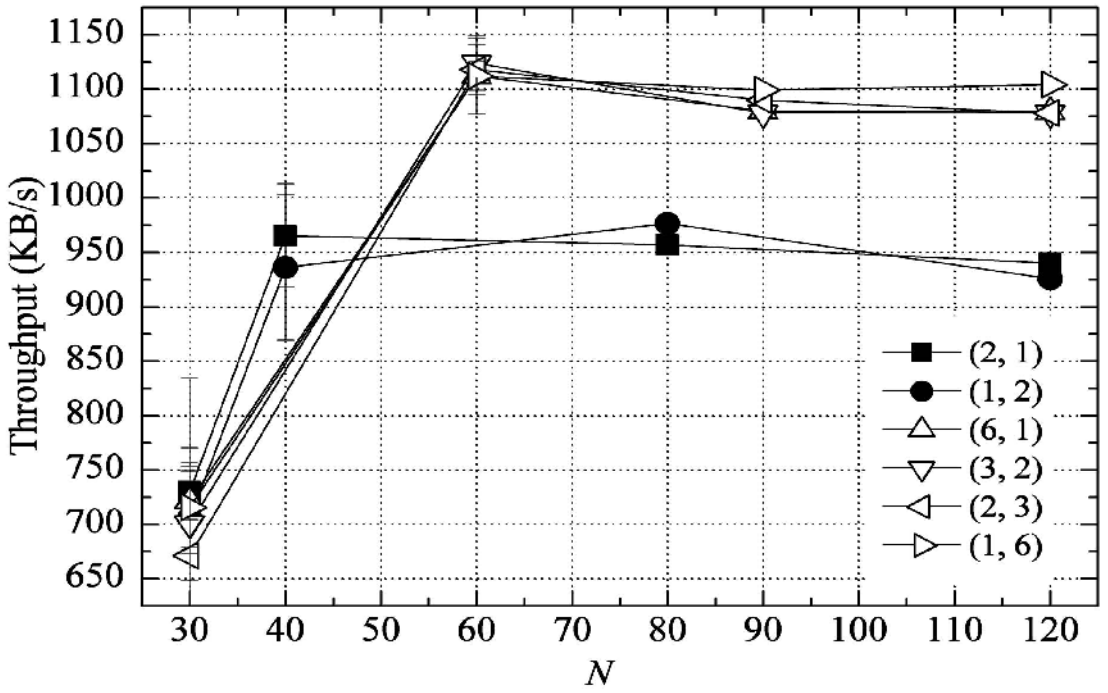
Όμως η επιτευχθέν uplink ρυθμαπόδοση μοιάζει να εξαρτάται από το πώς το φορτίο μοιράζεται στο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα η ρυθμαπόδοση εξαρτάται από τον αριθμό των SSs το οποίο δεν εξαρτάται από το φορτίο ανά σύνδεση και τον αριθμό των συνδέσεων ανά SS.

Στα αποτελέσματα που συζητήθηκαν μέχρι τώρα, οι ειδικοί έχουν αυξήσει το φορτίο με το να διαφοροποιούν τις τιμές για μία από τις παραμέτρους S, C και W τη φορά. Τώρα, θα δείξουμε την προσπάθειά τους να αλλάξουν τον συνδυασμό αυτών των παραμέτρων. Συγκεκριμένα, πρώτα αυξάνουν το αριθμό των SSs από 5 σε 20, καθώς και αναμειγνύουν τον αριθμό των συνδέσεων ανά SS και τον αριθμό των πηγών ανά σύνδεση έτσι ώστε το αποτέλεσμά τους να είναι σταθερό και ίσο με C * W = 6. Έπειτα αυξάνουν τον αριθμό των SSs στους 60 καθώς οι άλλες δύο παράμετροι (C, W) έχουν τοποθετηθεί στο (2, 1) και (1, 2), αντίστοιχα. Σαν αποτέλεσμα το προσφερόμενο φορτίο N, ποικίλει μεταξύ των τιμών [30,120]. Οι τιμές των παραμέτρων γι' αυτήν την δεύτερη σειρά προσομοιώσεων φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Scenario identifier	*S*	*C*	*W*	*N*	Offered load (Kb/s)
(1, 6)	5 → 20	1	6	30 → 120	183.8 → 2205.0
(2, 3)	5 → 20	2	3	30 → 120	183.8 → 2205.0
(3, 2)	5 → 20	3	2	30 → 120	183.8 → 2205.0
(6, 1)	5 → 20	6	1	30 → 120	183.8 → 2205.0
(1, 2)	15 → 60	1	2	30 → 120	183.8 → 2205.0
(2, 1)	15 → 60	2	1	30 → 120	183.8 → 2205.0

Πίνακας.15.3 Νέοι παράμετροι προσομοίωσης

Και η παρακάτω εικόνα δείχνει την ρυθμαπόδοση έναντι του προσφερόμενου φορτίου. Η περίπτωση της ρυθμαπόδοσης όπου C * W = 6, αναπαρίσταται με τα ανοιχτόχρωμα σύμβολα, είναι πολύ υψηλότερη από την ρυθμαπόδοση στην περίπτωση όπου C * W = 2 και αναπαρίσταται με τα σκούρα σύμβολα. Αυτό συμβαίνει γιατί ο αριθμός των SSs σε προηγούμενες περιπτώσεις ήταν πολύ χαμηλότερος απ' ότι στην τελευταία. Όμως για τις περιπτώσεις όπου C * W = 6 οι καμπύλες της ρυθμαπόδοσης έναντι του φορτίου είναι σχεδόν οι ίδιες όπως και στην εικόνα 15.4 για την περίπτωση των συνδέσεων και των πηγών, τουλάχιστον όσον αφορά την κλίμακα των {30, 90} του N.



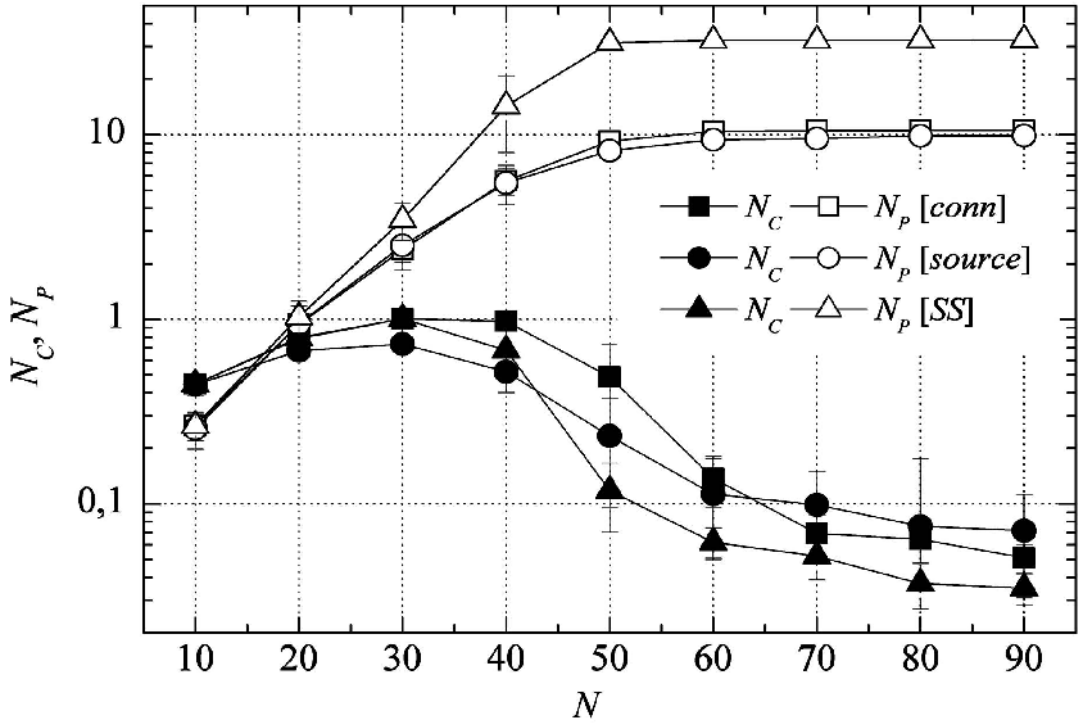
Σχ.15.6 Η επίδραση της ρυθμαπόδοσης σε σχέση με το πώς μοιράζεται το φορτίο

Από την άλλη μεριά για χαμηλές τιμές των C και W δεν κάνουν καμία διαφορά και το μόνο συστατικό που συνεισφέρει στο φορτίο είναι ο αριθμός των SSs, ο οποίος χαμηλώνει την ρυθμαπόδοση.

15.3.5 Ανάλυση ζήτησης εύρους ζώνης

Σε αυτό το σημείο, οι ειδικοί ερεύνησαν την σχετική αποτελεσματικότητα των μηχανισμών αίτησης εύρους ζώνης στην κίνηση των δεδομένων. Το σενάριο που χρησιμοποιήθηκε και εδώ είναι αυτό του πίνακα 15.1. Εφόσον χρησιμοποιείται η υπηρεσία χρονοδρομολόγησης βέλτιστης προσπάθειας, οι αιτήσεις εύρους ζώνης των SSs από το σταθμό βάσης, γίνονται και με τους δύο τρόπους, δηλαδή και με αίτησης συναγωνισμού για bandwidth και με piggybacking για τα εξερχόμενα PDUs. Έτσι, η ακόλουθη παρουσίαση της ανάλυσης έχει σαν στόχο να κατανοήσουμε κάτω από ποιες συνθήκες και αν κάποιοι μηχανισμοί ξεπερνούν κάποιους άλλους.

Η εικόνα 7 δείχνει το μέσο αριθμό των αιτήσεων bandwidth που λαμβάνονται από τον BS ανά υποπλαίσιο uplink και με δημόσια διανομή(NC), και με piggybacked PDUs (NP), έναντι του προσφερόμενου φορτίου N.



Σχ.15.7 Απόδοση των μηχανισμών αίτησης εύρους ζώνης σε σχέση με το φορτίο

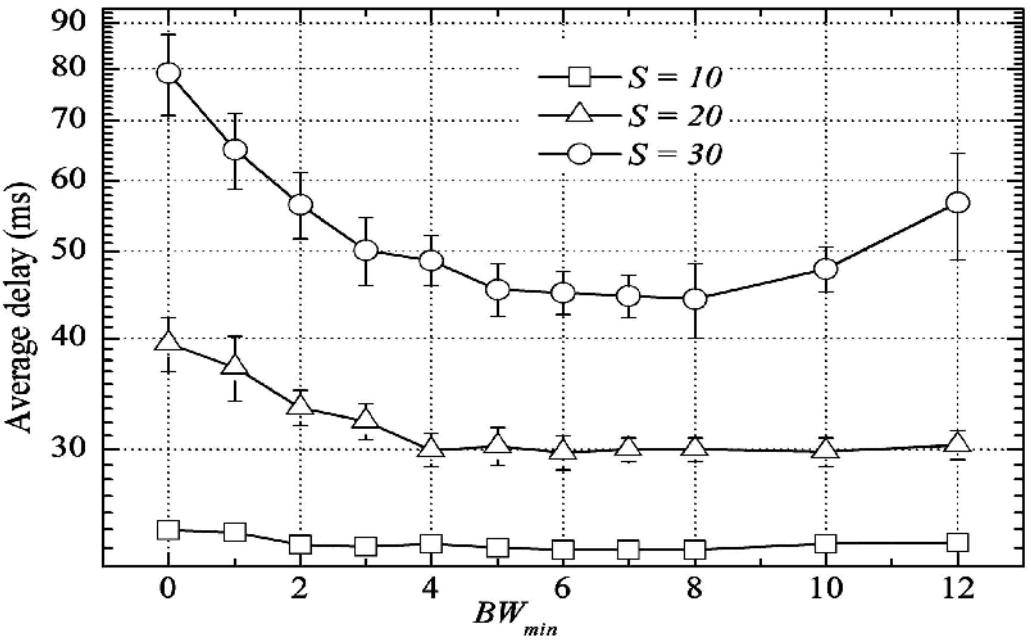
Όταν το σύστημα δεν είναι φορτωμένο (N<20), τα περισσότερα εισερχόμενα SDUs κάθε σύνδεσης εξυπηρετούνται πριν η εφαρμογή δημιουργήσει νέα SDU. Όμως, οι συνδέσεις συχνά παραμένουν ανενεργές(idle) από τις αφίξεις των SDUs και αυτό οδηγεί σε υψηλότερες τιμές των NC συγκρινόμενες με τα NP. Από την άλλη μεριά όταν το N αυξάνει πάνω από 20, η πιθανότητα οι συνδέσεις να παραμείνουν ανενεργές από τις αφίξεις των SDU μειώνεται καθώς ο μηχανισμός piggybacking τείνει να ξεπεράσει τον μηχανισμό αιτήσεων συναγωνισμού(contention mechanism). Έτσι, για N μεγαλύτερο του 50, η καμπύλη του NC είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

Πρέπει να πούμε πως οι καμπύλες στην εικόνα 7 δείχνουν μια συμπεριφορά που εξαρτάται από το πώς το προσφερόμενο φορτίο μοιράζεται. Πρώτα θα λάβουμε υπόψη μας τις καμπύλες για το NC για N < 50. Οι καμπύλες της πηγής βρίσκονται κάτω από τις άλλες. Αυτό εξηγείται από τα ακόλουθα : Οι SSs ζητούν εύρος ζώνης μόνο από τις ανενεργές συνδέσεις. Στην περίπτωση των πηγών, άσχετα με το N, ο αριθμός των συνδέσεων είναι σταθερός και ίσος με 10, μία για κάθε SS. Από την άλλη μεριά στην περίπτωση των συνδέσεων και των SS, ο αριθμός των συνδέσεων είναι ανάλογος του N. Έτσι, ο αριθμός των συνδέσεων που παραμένουν ανενεργές έχει χαμηλό μέσο όρο στην περίπτωση των πηγών σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις. Όσον αφορά τις καμπύλες των συνδέσεων και των SS, μέχρι το N<40 σχεδόν συμπίπτουν. Μετά, η καμπύλη του NC SS έχει μια απότομη πτώση απ' ότι η

καμπύλη των συνδέσεων επειδή το σύστημα έχει υπερφορτωθεί νωρίτερα σε προηγούμενη περίπτωση.

Όσον αφορά το NP όλες οι καμπύλες του είναι σταθερές όταν το σύστημα είναι υπερφορτωμένο. Σε αυτήν την περίπτωση, τα buffer των συνδέσεων είναι σχεδόν πάντα γεμάτα, καθώς κάθε έκρηξη των PDUs από την ίδια σύνδεση μεταφέρει μία piggybacked αίτηση bandwidth. Η καμπύλη του SS βρίσκεται πάνω από τις άλλες γιατί ο αριθμός των uplink grants ανά υποπλαίσιο είναι πολύ υψηλότερος(εικόνα 15.5). Για να ολοκληρώσουμε, όταν το σύστημα είναι ελαφρώς φορτωμένο, ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος μηχανισμός είναι των αιτήσεων συναγωνισμού για bandwidth. Μόλις υπερφορτωθεί, ο μηχανισμός piggyback είναι προτιμότερος.

Τώρα θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της έρευνας για το αντίκτυπο του Bwmin στην απόδοση της μέσης καθυστέρησης και της ρυθμαπόδοσης. Συγκεκριμένα, πρώτα θα δείξουμε την ανάλυση για την μέση καθυστέρηση με το σύστημα να μην είναι φορτωμένο με N <= 30. Έπειτα οι κατασκευαστές επικεντρώθηκαν στην ρυθμαπόδοση όταν το σύστημα είναι υπερφορτωμένο με N=90.

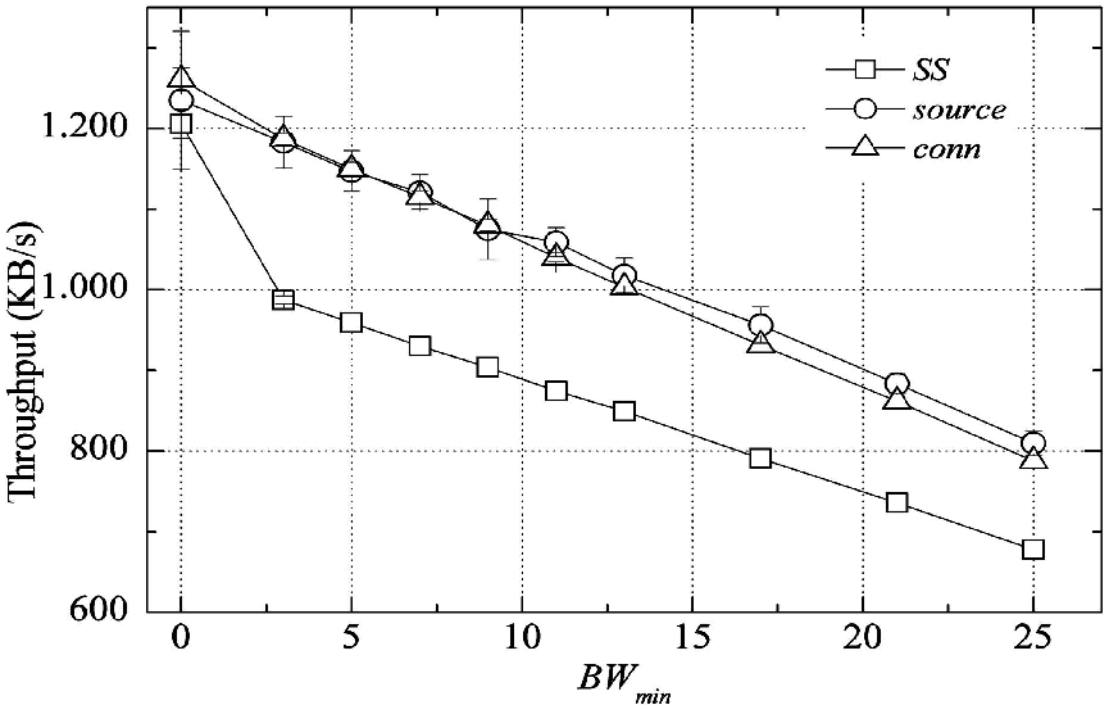


Σχ.15.8 Μέση καθυστέρηση σε σχέση με την αύξηση του εύρους ζώνης

Η εικόνα 8 δείχνει τη μέση καθυστέρηση με N=10, 20 και 30, όταν το Bwmin αυξάνει από 0 σε 12. Καθώς για τις τιμές του N και του Bwmin, ο διαμοιρασμός της κίνησης δεν επηρεάζει τα δεδομένα θα δείξουμε μόνο την περίπτωση του SS. Άσχετα με τον αριθμό των SSs, το να αυξάνεις την τιμή του Bwmin μειώνει την πιθανότητα

σύγκρουσης μεταξύ των αιτήσεων για εύρος ζώνης. Άρα, η μέση καθυστέρηση πρώτα μειώνεται και μετά τείνει να αυξηθεί όσο το διαθέσιμο εύρος ζώνης για μεταδόσεις δεδομένων μειώνεται.

Εδώ παρουσιάζουμε την ανάλυση των δημιουργών για το αντίκτυπο του Bwmin στην ρυθμαπόδοση όταν το σύστημα είναι υπερφορτωμένο. Η εικόνα 15.9 απεικονίζει την ρυθμαπόδοση στις περιπτώσεις του SS, της σύνδεσης(conn) και της πηγής με N=90 όταν το Bwmin αυξάνει από 0 σε 25. Η ρυθμαπόδοση μειώνεται όταν το Bwmin αυξάνει, άσχετα με το πώς το φορτίο διανέμεται. Ωστόσο οι καμπύλες στις περιπτώσεις των πηγών και των συνδέσεων βρίσκονται πάνω από αυτές των SS[29].

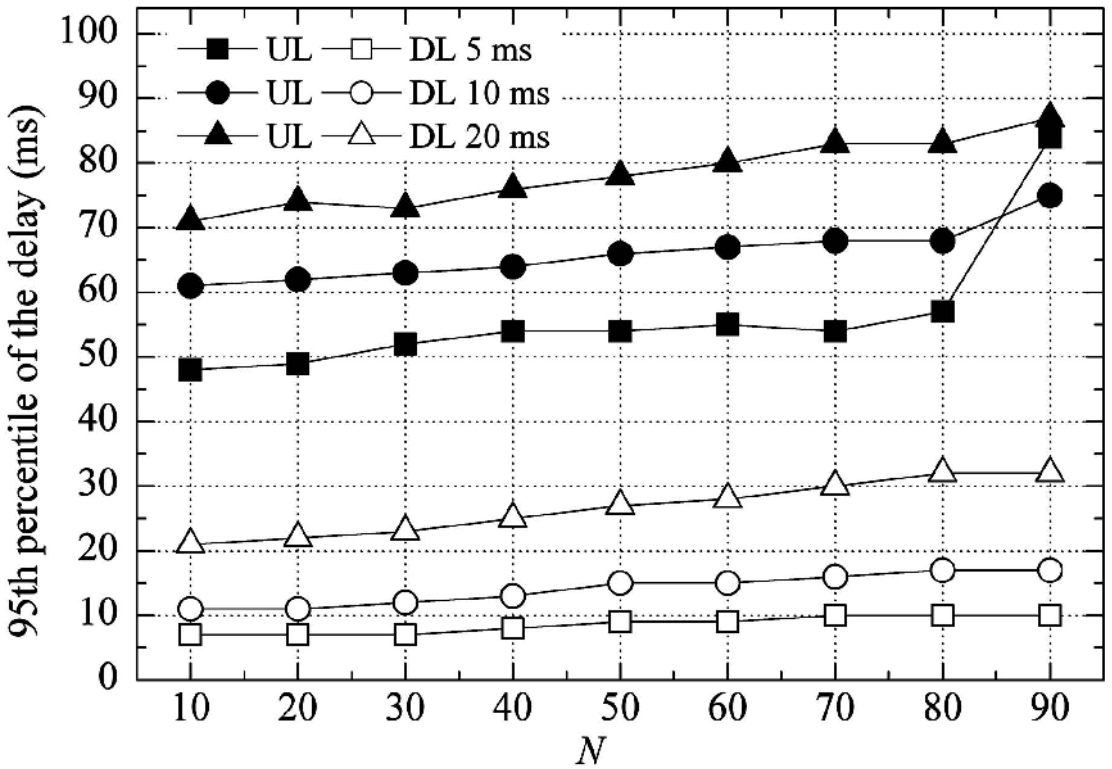


Σχ.15.9 Η ρυθμαπόδοση σε σχέση με την αύξηση του εύρους ζώνης

Επιπλέον, οι καμπύλες της πηγής και της σύνδεσης σχεδόν επικαλύπτονται τέλεια για τιμές Bwmin πάνω από 11 σίγουρα, για Bwmin >11, η ρυθμαπόδοση είναι ελαφρώς υψηλότερη από την conn throughput. Και αυτό γιατί, όπως φαίνεται και στη εικόνα 15.5, οι συνδέσεις απαιτούν ελαφρός υψηλότερο αριθμό φυσικών preambles ανά υποπλαίσιο uplink. Πρέπει να σημειώσουμε ότι Bwmin = 0 είναι η μόνη τιμή για την οποία η ρυθμαπόδοση του SS είναι η ίδια με την περίπτωση των συνδέσεων και των πηγών.

15.3.6 Αξιολόγηση της Multimedia κίνησης

Οι ειδικοί πρώτα αξιολόγησαν πως η διάρκεια του υποπλαισίου επηρεάζει την απόδοση όσον αφορά την καθυστέρηση. Έπειτα, συγκρίνανε την απόδοση των rtPS και των nrtPS, όταν συνυπάρχουν με τον ίδιο SS. Οι δημιουργοί θεώρησαν ότι το Bwmin = 0 και για να εξετάσουν πως η διάρκεια του πλαισίου επηρεάζει την καθυστέρηση των uplink και downlink συνδέσεων, έστησαν ένα σενάριο με SSs που διαφοροποιούνται/αυξάνονται από το 10-90. Κάθε SS έχει μία uplink και μία downlink σύνδεση άσχετα ότι κάθε μία «κουβαλάει» μία πηγή videoconference π.χ. C = 1, W = 1. Η εικόνα 15.10 δείχνει $95^{η}$ εκατοστιαία θέση της καθυστέρησης. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι καμπύλες του uplink είναι πολύ υψηλότερα από αυτές του downlink. Στην πράξη οι uplink συνδέσεις δοκιμάζουν μία επιπλέον καθυστέρηση στη ζήτηση bandwidth από τον BS. Ωστόσο, οι καμπύλες είναι σχεδόν σταθερές όταν το φορτίο αυξάνεται επειδή ο BS χρονοδρομολογεί μία γενική διανομή για κάθε σύνδεση σε μια περιοδική βάση, με αυτήν την περίοδο να ισούται με το χρόνο άφιξης των videoconference SDUs π.χ. 33 ms.

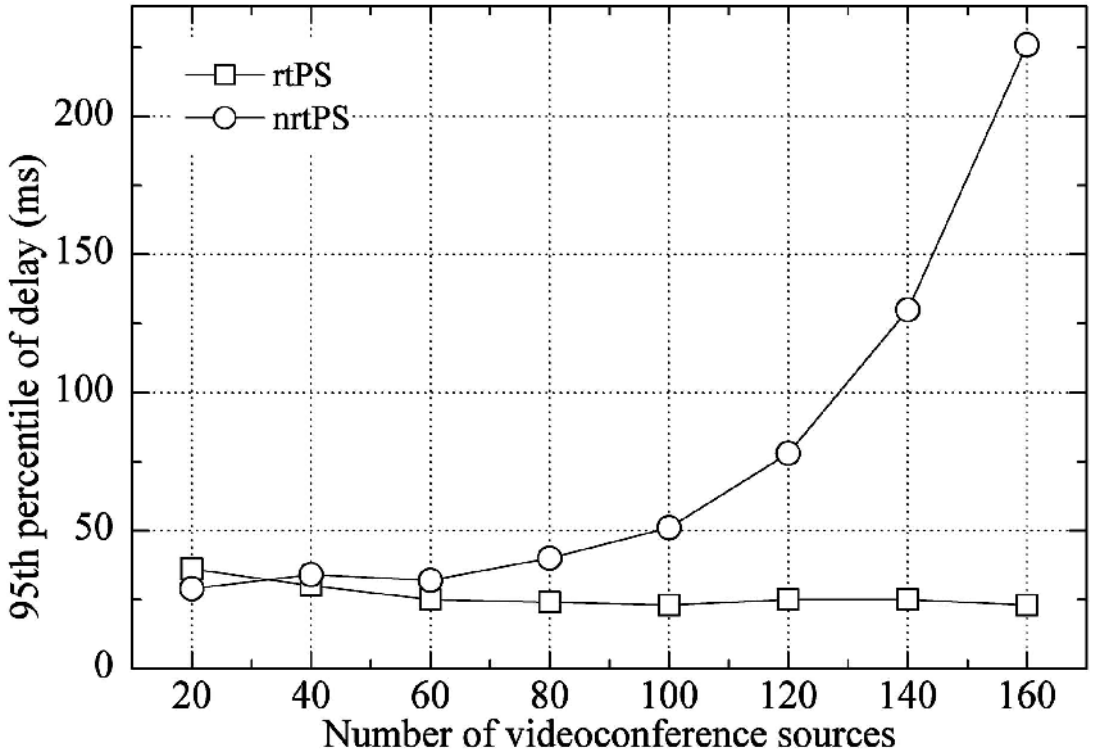


Σχ.15.10 Μέση καθυστέρηση προς το προσφερόμενο φορτίο

Επιπλέον όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ενός πλαισίου, τόσο υψηλότερες είναι οι καμπύλες uplink και downlink. Αυτό εξηγείται από τα παρακάτω : Εφόσον η

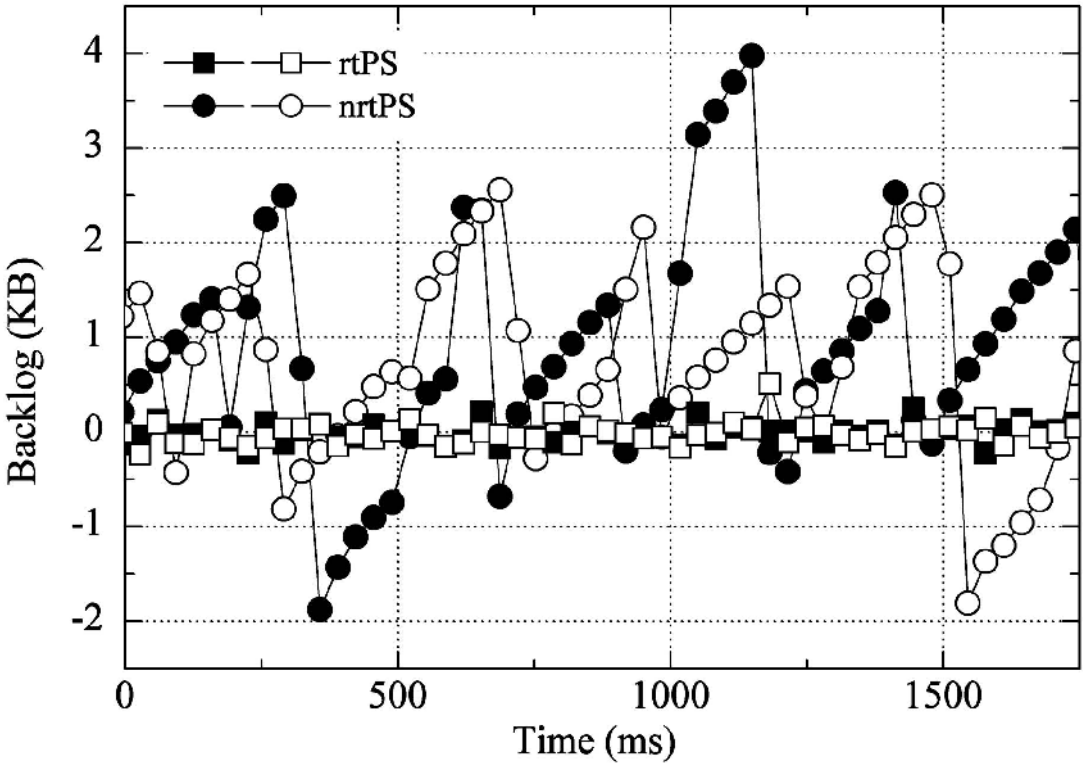
χρονοδρομολόγηση έχει γίνει στην αρχή κάθε πλαισίου, όσο υψηλότερη είναι η διάρκεια του πλαισίου(κατά μέσο όρο) ο SS πρέπει να περιμένει πριν χρησιμοποιήσει το σχετικό grant. Με άλλα λόγια, με μεγαλύτερα πλαίσια, ο BS είναι λιγότερο υπεύθυνος για τις αιτήσεις bandwidth του SS. Επιπλέον η 95^{η} εκατοστιαία θέση της καθυστέρησης της downlink σύνδεσης σε χαμηλά επίπεδα φορτίου, είναι σχεδόν ίση με την διάρκεια του πλαισίου. Ωστόσο όσον αφορά την κίνηση των δεδομένων, η χαμηλότερη καθυστέρηση με μικρότερα πλαίσια οδηγεί σε μεγαλύτερο overhead εξαιτίας του υψηλού αριθμού των φυσικών preambles(uplink) και μεγαλύτερων MAPs (downlink). Γι' αυτό, το φορτίο που το σύστημα είναι σε θέση να εξυπηρετήσει(carried load) μειώνεται με την διάρκεια του πλαισίου. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να φανεί στην εικόνα 15.10 στην οποία η καμπύλη των 5 ms στο uplink αυξάνει απότομα για N = 90[29].

Σε αυτό το σημείο οι υπεύθυνοι αναλύουν την αποτελεσματικότητα των rtPS και nrtPS όταν και οι δύο υπηρεσίες χρονοδρομολόγησης χρησιμοποιούνται για κάθε SS για να εξυπηρετηθεί η κίνηση videoconference. Γι' αυτό το σκοπό, έστησαν ένα σενάριο με ένα ποικίλο αριθμό από ζευγάρια συνδέσεων για κάθε SS. Ο αριθμός των SSs έχει οριστεί και είναι ίσος με 10. Κάθε ζευγάρι σύνδεσης αποτελείται από μία rtPS σύνδεση και μία nrtPS, κάθε μία φορτωμένη με μία πηγή videoconference. Έθεσαν τον ελάχιστο ρυθμό στην ίδια τιμή και για τις δύο συνδέσεις. Έτσι οι rtPS και nrtPS συνδέσεις διαφέρουν μόνο στο πως θα ζητήσουν εύρος ζώνης. Η εικόνα 15.11 δείχνει την 95^{η} percentile της καθυστέρησης έναντι των αριθμών των πηγών videoconference, ο οποίος αυξάνεται από 20 σε 160. Η καμπύλη του rtPS μειώνεται ελαφρά όταν το φορτίο αυξάνεται. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στην πολύπλεξη των πολλαπλών videoconference πηγών σε κάθε SS. Η καμπύλη του nrtPS αντίθετα αυξάνεται ελαφρά όταν το σύστημα δεν είναι φορτωμένο, το οποίο αυξάνεται απότομα μόλις 100 πηγές videoconference εξυπηρετηθούν. Στην πράξη, όταν το σύστημα δεν είναι φορτωμένο, ο χρόνος άφιξης των videoconference SDUs είναι σχεδόν πάντα μεγαλύτερος από το σύνολο : 1) του χρόνου που χρειάζεται ένας SS για να μεταδώσει μία αίτηση bandwidth συναγωνισμού(contention), και 2) του χρόνου για ένα BS να χρονοδρομολογήσει αρκετό εύρος ζώνης για να εξυπηρετήσει όλα τα SDU.



Σχ.15.11 Μέση καθυστέρηση σε σχέση με την αύξηση της multimedia κίνησης

Από την άλλη μεριά, όταν το σύστημα είναι βαριά φορτωμένο, οι nrtPS συνδέσεις δεν είναι σε θέση να ζητήσουν bandwidth on time. Για να ολοκληρώσουμε την σύγκριση μεταξύ των δύο υπηρεσιών χρονοδρομολόγησης nrtPS και rtPS, αξιολογούμε το κενό που δημιουργείτε από τις ουρές προτεραιότητας λόγω αναμονής(backlog gap) όταν το σύστημα είναι πολύ φορτωμένο(π.χ. 160 videoconference sources). Η εικόνα 15.12 μαρτυρά το backlog gap έναντι του χρόνου με 160 videoconference sources. Πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες αναπαριστούν τη συμπεριφορά των δύο ζευγαριών συνδέσεων που ανήκουν σε δύο τυχαία επιλεγμένους SSs. Εφόσον ο BS δεν είναι άμεσα ενημερωμένος για τα SDUs που φτάνουν στις συνδέσεις του κάθε SS, συνήθως υποτιμάται το backlog(π.χ. bandwidth requirements) όταν χρονοδρομολογούνται τα uplink grants στους SSs. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 15.12 υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ο BS υπερεκτιμά το backlog. Και αυτό οφείλεται στο γεγονός του ότι ο BS δεσμεύει εύρος ζώνης για τον SS ως σύνολο, παρόλο που οι SSs ζητούν bandwidth για συγκεκριμένες συνδέσεις πράγμα που μπορεί να οδηγήσει και σε κλέψιμο(stealing) bandwidth.



Σχ.15.12 Οι ουρές αναμονής σε σχέση με το χρόνο

Σε κάθε περίπτωση, όσο χαμηλότερη notification delay τόσο μικρότερη πιθανότητα σφάλματος από τον BS. Αυτό φαίνεται και στην εικόνα 15.12, η οποία δείχνει το backlog gap με rtPS πολύ μικρότερο από το nrtPS.

Συμπερασματικά, το rtPS ξεπερνά το nrtPS όσον αφορά την καθυστέρηση στα σενάρια προσομοίωσης. Και αυτό συμβαίνει πιο έντονα όταν το σύστημα είναι πολύ φορτωμένο. Από την άλλη μεριά, οι nrtPS συνδέσεις είναι εφοδιασμένες με μια ελαφριά καλύτερη υπηρεσία από τις rtPS συνδέσεις μόνο όμως όταν το σύστημα είναι εξαιρετικά αποφορτωμένο[29].

16. Η παρούσα κατάσταση του WiMax

Η τεχνολογία Wi-Max είναι ένα βήμα μετά το Wi-Fi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Συγκεκριμένα, ενώ το Wi-Fi παρέχει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMax ξεπερνά τα 50 χιλιόμετρα.

Αυτά βεβαίως στη θεωρία. Το τι θα ισχύσει στην πράξη θα το δείξουν οι δοκιμές. Η τεχνολογία WiMax χρησιμοποιεί συχνότητες από 2-11 GHz (802,16 a) και από 10-66 GHz (802,16c). Στην Ελλάδα οι άδειες που δόθηκαν αφορούσαν δοκιμές στη συχνότητα των 3,5 GHz. Μέχρι σήμερα, το Wi-Fi επέτρεπε την πρόσβαση στο διαδίκτυο σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από hotspots, όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτίρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι πάροχοι του Internet (ISP).

Πλέον ένας φορητός υπολογιστής (laptop) θα μπορεί να συνδυάζει τις ιδιότητες κινητού τηλεφώνου και ραδιοφωνικού πομπού: θα «πιάνει» παντού και θα εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη. Μπορεί πολλοί χρήστες, ήδη, να απολαμβάνουν ασύρματη επικοινωνία μέσω κάποιων περιφερειακών Wi-Fi συσκευών, αλλά με το WiMax οι δυνατότητες ενός laptop δεν θα έχουν περιορισμούς. Με τον ίδιο τρόπο που σήμερα εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης Wi-Fi, μελλοντικά θα εγκαθιστά μια κάρτα WiMAX, η οποία θα παρέχει στο χρήστη απεριόριστες δυνατότητες.

Το WiMax προβλέπεται να αποτελέσει μια πολύ καλή λύση για περιοχές που είναι δύσκολο ή/και μη προσοδοφόρο να επενδύσει ένας παροχέας σε ενσύρματη υποδομή. Ωστόσο, σε περιοχές που ήδη κυριαρχούν το DSL και το Cable τα πράγματα είναι αρκετά δύσκολα. Εκεί, έχει ήδη επενδύσει σε τεχνολογία ο πάροχος με αποτέλεσμα να απολαμβάνει οικονομίες κλίμακας, γεγονός που τον καθιστά απρόθυμο να μεταβεί σε άλλη τεχνολογία. Επιπλέον, οι ταχύτητες πρόσβασης ολοένα και αυξάνονται συναντώντας όλο και περισσότερο τις ανάγκες των χρηστών. Στο μέλλον, τη στιγμή που θα κορεστεί η προσφορά υψηλών ταχυτήτων πρόσβασης, είναι το χρονικό σημείο στο οποίο ο ένας πάροχος θα θέλει να διαφοροποιηθεί από τον άλλο, πιθανώς παρέχοντας εγγυήσεις μετάδοσης στους χρήστες του. Είναι το σημείο, που μπορεί να κάνει την εμφάνισή του το WiMax για να προσφέρει QoS. Επιπλέον, ένα ακόμη στοιχείο για διαφοροποίηση, είναι ότι το πρότυπο από μόνο του δεν υλοποιεί αρκετά σημεία, έτσι ώστε να δίνει ένα ακόμα κίνητρο στους κατασκευαστές.[30], [31]

Σε κάθε περίπτωση, είναι γεγονός ότι όσο θα αυξάνονται οι παρεχόμενες υπηρεσίες (για παράδειγμα μεγαλύτερες ταχύτητες πρόσβασης) τόσο θα αυξάνονται και οι απαιτήσεις των χρηστών. Άρα είναι πιθανό κάποια στιγμή, απαιτητικές εφαρμογές όπως το video-on-demand, που έχει κάνει την εμφάνιση του κυρίως τα τελευταία χρόνια, να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των απαιτήσεων του χρήστη. Εδώ το WiMax με τα επίπεδα υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει, όπως το bandwidth-on-demand που εύκολα μπορεί να υλοποιήσει, πιθανώς να έχει πλεονέκτημα σε σχέση με τις υφιστάμενες τεχνολογίες. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι η τεχνολογία του WiMax έχει καθυστερήσει σημαντικά να εισέλθει στην αγορά και αυτό οφείλεται σε χρονικές συγκυρίες αλλά και στην αδράνεια των κατασκευαστών. Πράγματι, το χρονικό διάστημα των τελευταίων ετών χαρακτηρίζεται από την αποδέσμευση του τοπικού βρόχου (Local Loop Unbundling, LLU) στην Ευρώπη, με αποτέλεσμα οι κατασκευαστές να δρουν προς τις τεχνολογίες DSL/Cable. Ένας ακόμη λόγος για την καθυστέρηση αυτή είναι ότι το WiMax χρησιμοποιεί και συχνότητες φάσματος που χρειάζονται αδειοδότηση και έτσι αφενός δημιουργούνται σκέψεις στο κατά πόσο αξίζει μια τέτοια επένδυση και αφετέρου παρουσιάζονται εκ νέου καθυστερήσεις από τις διενέργειες δημοπρασιών.

Στην Ελλάδα άρχισε να λειτουργεί πιλοτικά το δίκτυο wimax του ΟΤΕ το Σεπτέμβριο του 2008 με δοκιμαστική εκπομπή στο Άγιο Όρος και ακολούθησε το εργαστήριο Έρευνας και Ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων PASIPHAE τον Οκτώβριο του 2008 με δοκιμαστική πιλοτική εκπομπή για ερευνητικές-εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Οι περιοχές καλύψεις είναι όλο το Ηράκλειο Κρήτης.

16.1 Ζώνες συχνοτήτων

Κατά το σχεδιασμό ενός ασύρματου δικτύου που χρησιμοποιεί την τεχνολογία WiMAX υπάρχει η δυνατότητα επιλογής φάσματος αδειοδοτημένου ή μη. Η αδειοδοτημένη ζώνη περιλαμβάνει συχνότητες των 2.5GHz (γνωστά ως Multipoint Distribution Service (MDS) ζώνη, γνωστή και ως Broadband Radio Service [BRS] στις ΗΠΑ) και των 3,5 GHz. Η μη αδειοδοτημένη μπάντα περιλαμβάνει τη ζώνη συχνοτήτων των 5,8 GHz (γνωστή ως Universal National Information Infrastructure [UNII] στις ΗΠΑ)[14].

16.1.1 Αδειοδοτημένη ζώνη συχνοτήτων

Σαφώς, το πλεονέκτημα χρησιμοποίησης συχνότητας στην αδειοδοτημένη μπάντα είναι η προστασία απέναντι σε παρεμβολές από άλλους ασύρματους παρόχους. Βέβαια, στον αντίποδα το μειονέκτημα είναι ότι χρειάζεται να ακολουθηθεί η απαραίτητη νόμιμη διαδικασία χορήγησης άδειας που ποικίλει από χώρα σε χώρα

ανάλογα με τον κανονισμό και μπορεί να είναι αρκετά χρονοβόρα αλλά και εξαιρετικά ακριβή. Οι υψηλές δαπάνες και τα αποκλειστικά δικαιώματα στο φάσμα επιτρέπουν μία πιο προβλέψιμη και σταθερή λύση για τις μεγάλες μητροπολιτικές εφαρμογές και την κίνηση χρήση. Οι χαμηλότερες συχνότητες που συνδέονται με τις αδειοδοτημένες ζώνες (2.5GHz και 3.5GHz) ευνοούν την επικοινωνία NLOS. Εντούτοις, οι ζώνες αυτές αντιμετωπίζουν κάποια ζητήματα παρεμβολής. Δεδομένου ότι οι πάροχοι επεκτείνουν περισσότερα δίκτυα, πρέπει να αντιμετωπίσουν τις αμοιβαίες παρεμβολές μέσα στο δίκτυό τους. Το κατάλληλο σχέδιο και εφαρμογή μπορούν να ανακουφίσουν αυτά τα προβλήματα. Συνοψίζοντας, οι αδειοδοτημένες λύσεις προσφέρουν βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε σύγκριση με τις μη αδειοδοτημένες λύσεις και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ευρείας κάλυψης, point-to-multipoint εφαρμογές, πανταχού υπάρχουσες ευρυζωνικές κινητές υπηρεσίες, σε περιπτώσεις όπου η χορήγηση άδειας επιτρέπει τον έλεγχο της χρήσης του φάσματος και της παρεμβολής και τέλος, φυσικά, όταν το κόστος δεν είναι το μείζον ζήτημα.

16.1.2 Μη αδειοδοτημένη ζώνη

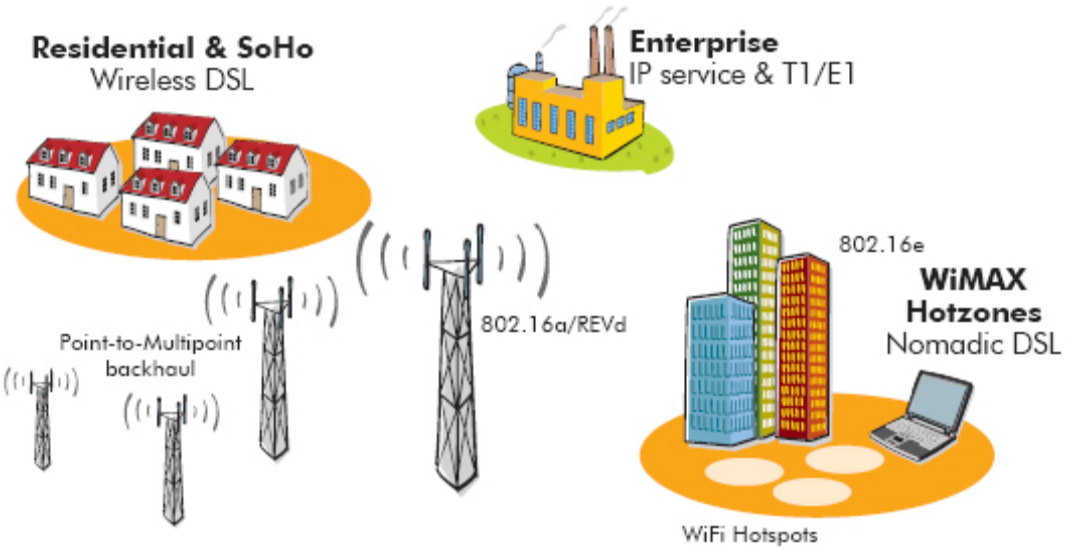
Πολλοί πάροχοι προτιμούν τη χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος, παρόλο που υπάρχει ο κίνδυνος παρεμβολής από γειτονικούς παρόχους, γιατί προσφέρει το πλεονέκτημα της άμεσης χρήσης και των πολύ χαμηλότερων αρχικών δαπανών σε σχέση με την μπάντα των αδειοδοτημένων συχνοτήτων.

Σε αγροτικές περιοχές, που είναι αραιοκατοικημένες, άρα υπάρχει πολύ μικρός αριθμός παρόχων το μη αδειοδοτημένο φάσμα είναι πολλές φορές μία καλή επιλογή, με το κατάλληλο σχέδιο δικτύων να περιλαμβάνει έρευνες των επιθυμητών περιοχών και εξειδικευμένες λύσεις κεραιών. Η επίτευξη της ελαχιστοποίησης των παρεμβολών στις περιοχές αυτές γίνεται εύκολα μέσω συντονισμού της συχνότητας των χειριστών. Επίσης, τοποθετούνται hubs με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιείται λιγότερη από τη μισή διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων του μη αδειοδοτημένου φάσματος.

Οι μη αδειοδοτημένες λύσεις WiMAX είναι κατάλληλες για εφαρμογές point-to-point μεγάλης απόστασης σε αραιοκατοικημένα περιβάλλοντα, point-to-multipoint λύσεις σε αγροτικές περιοχές ή ακόμη και σε αναπτυσσόμενες χώρες, ή όπου η παρεμβολή μπορεί να ελεγχθεί μέσα σε γεωγραφικά όρια (πανεπιστημιουπόλεις, στρατιωτικές εγκαταστάσεις). Ωστόσο, ο κύριος λόγος για την επιλογή μίας μη αδειοδοτημένης λύσης αποτελεί το χαμηλό κόστος, η αμεσότητα και η ευελιξία.Εν τούτοις, η λύση των μη αδειοδοτημένων συχνοτήτων δεν αποτελεί αντικαταστάτη μιας λύσης που βρίσκεται στην αδειοδοτημένη ζώνη. Η επιλογή της μίας ή της άλλης εξαρτάται από της ανάγκες της αγοράς για την οποία προορίζεται και βασίζεται στην αναλογία κόστους και στην ποιότητα παροχής υπηρεσιών (QoS).

17. Αγορές για το WiMax

Ένα μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο που βασίζεται στο WiMax λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο όπως τα κυψελωτά συστήματα επικοινωνίας, με τα BS να βρίσκονται σε στρατηγικά σημεία στο δίκτυο και να επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας με πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, είτε ασύρματα είτε ενσύρματα. Σε αντίθεση με τα κυψελωτά συστήματα, η τοποθεσία των BS δεν καθορίζεται από τον περιορισμό στο διαθέσιμο φάσμα, αλλά από τον περιορισμό στις ταχύτητες που θέλει να διαθέσει ένας BS στην ακτίνα που καλύπτει. Σε κάθε περίπτωση, είναι γεγονός ότι η απόσταση που καλύπτει ένας BS και η δυνατότητα για NLOS, χαρακτηρίζει το WiMax ως μια πολύ ελκυστική οικονομικά λύση που είναι σε θέση να ανταγωνιστεί πολλές από τις υπάρχουσες τεχνολογίες σε διάφορες αγορές[30].



Εικόνα 17.1 Αγορές WiMax

Ευρυζωνική πρόσβαση σε οικιακούς και SOHO (Small Office Home Office) χρήστες: Οι τεχνολογίες που έχουν κατακτήσει αυτή την αγορά είναι οι DSL και το καλωδιακό Internet (Cable Internet). Αυτές οι τεχνολογίες έχουν εδώ και πολλά χρόνια κυριαρχήσει σε αυτή την αγορά με αποτέλεσμα ο άμεσος ανταγωνισμός με αυτές να είναι πολύ δύσκολος. Ήδη οι ταχύτητες πρόσβασης έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Το WiMax δίνει τη δυνατότητα για έναν συμπληρωματικό τρόπο πρόσβασης σε αυτές τις αγορές σε περιπτώσεις που δεν είναι οικονομικά προσοδοφόρο να χρησιμοποιηθούν DSL και Cable. Μια κλασική περίπτωση είναι σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές, που η πληθυσμιακή πυκνότητα δεν

επιτρέπει επενδύσεις σε υποδομές DSL και Cable. Σε περιοχές που υπάρχει κάλυψη από αυτές τις τεχνολογίες, το WiMax μπορεί να αποτελέσει λύση σε περιπτώσεις χρηστών που δεν είναι ικανοποιημένοι από τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Το WiMax έχει δημιουργηθεί περιέχοντας τη δυνατότητα παροχής QoS και έτσι είναι πιο ευέλικτο να ικανοποιήσει ανάγκες απαιτητικών χρηστών. Η πολύπλεξη με το λεγόμενο overbooking που γίνεται στις παραπάνω τεχνολογίες δεν επιτρέπει στον τελικό χρήστη να απολαμβάνει υπηρεσίες με εγγυημένους ρυθμούς μετάδοσης ή/και εγγυημένη καθυστέρηση. Το WiMax προσφέρει όπως έχουμε δει, πέντε διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών με αντίστοιχες εγγυήσεις. Μία ακόμα ενδιαφέρουσα περίπτωση για το WiMax είναι το ότι μπορεί να κάνει πραγματικότητα το γνωστό ως ταχύτητα-υπό-απαίτηση (bandwidth on- demand). Με τις υφιστάμενες συνθήκες, είναι πολύ δύσκολο να ικανοποιηθούν αιτήματα χρηστών τύπου «κάποιο χρονικό διάστημα κάποιας μέρας θέλω τόσο bandwidth» κάτι που είναι πολύ εύκολο στο WiMax. Κατόπιν αίτησης του χρήστη, το δίκτυο εξετάζει αν είναι εφικτό το αίτημα για μετάβαση σε άλλο επίπεδο υπηρεσίας και αν είναι εφικτό, με κατάλληλους μηχανισμούς χρέωσης το αποδέχεται. Με αυτό τρόπο, βρισκόμαστε ένα βήμα πιο κοντά στην πραγματική υλοποίηση εφαρμογών όπως είναι το video-on-demand.

• **Μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις:** σε αυτού του τύπου χρήστες, οι τεχνολογίες που κυριαρχούν είναι DSL/Cable και οι μισθωμένες γραμμές. Πολλές φορές, οι επιχειρήσεις ενδιαφέρονται για συμμετρικές ζεύξεις για να είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν εξωτερικούς χρήστες σε περιπτώσεις, που για παράδειγμα η επιχείρηση διαθέτει web servers. Το WiMax προσφέρει τη δυνατότητα για συμμετρικές και ασύμμετρες υπηρεσίες. Το κόστος των μισθωμένων γραμμών είναι αρκετά υψηλό, με αποτέλεσμα το WiMax να αποτελεί μια πολύ αποτελεσματικά οικονομική λύση. Επίσης, επειδή διαθέτει τα διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών μπορεί να εγγυηθεί την παροχή υπηρεσιών double play (τηλεφωνία και πρόσβαση) στις επιχειρήσεις, μειώνοντας έτσι εκ νέου το κόστος τους για τηλεπικοινωνίες.

• **Wi-Fi Hot Spot Backhaul:** Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια αυξάνονται ολοένα και περισσότερο οι υπηρεσίες hot spot παγκοσμίως. Σε σχολεία, πάρκα, αεροδρόμια κ.α. έχουν δημιουργηθεί σημεία όπου ο επισκέπτης μπορεί να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο από κινητές συσκευές όπως PDAs και laptop. Το WiMax αποτελεί μια πρώτης τάξεως λύση για διασύνδεση των σημείων αυτών. Έτσι μπορεί να καλύψει το κενό μεταξύ των Wi-Fi hot spots και σε περιοχές μακριά από αυτά.

17.1 WiMax και επιχειρηματικές ευκαιρίες

Το εντυπωσιακό με το WiMax είναι ότι προσφέρεται για πολλών ειδών εφαρμογές και για πολλών ειδών χρήσεις.

Το WiMax και γενικότερα τα wireless MAN προσφέρουν έναν εναλλακτικό τρόπο πρόσβασης από ότι τα ενσύρματα δίκτυα όπως digital subscriber line (DSL) ή το καλωδιακό (cable). Είναι γεγονός ότι τα ασύρματα δίκτυα είναι σε θέση να καλύψουν μεγάλες γεωγραφικές περιοχές χωρίς να απαιτείται υποδομή με μεγάλο κόστος όπως συμβαίνει για παράδειγμα στο DSL. Είναι χαρακτηριστικό ότι σύμφωνα με έρευνες για να καλυφθεί, για παράδειγμα περιοχή 200 τετραγωνικών χιλιομέτρων, από έναν παροχέα DSL απαιτούνται πάνω από 11 εκατομμύρια δολάρια, ενώ για να καλυφθεί η ίδια περιοχή ασύρματα μόνο 450 χιλιάδες δολάρια. Το WiMax θα μπορούσε να είναι μια οικονομικά αποτελεσματική λύση σε περιοχές που η πληθυσμιακή πυκνότητα είναι μικρή και επομένως δεν είναι συμφέρουσα η εγκατάσταση υποδομής, και γενικότερα σε περιοχές που η εγκατάσταση ενσύρματης υποδομής είναι αδύνατη για λόγους περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος[19].

Με άλλα λόγια, ένα πολύ πιθανό σενάριο λειτουργίας του WiMax είναι εξής: η τεχνολογία WiMax φέρνει το δίκτυο μέσα σε ένα κτίριο και οι χρήστες εντός του κτιρίου συνδέονται σε αυτό, μέσω άλλων δικτύων όπως Ethernet ή ασύρματο τοπικό δίκτυο (Wireless LAN). Το αποτέλεσμα είναι όλοι οι χρήστες εντός του κτιρίου να μοιράζονται την ίδια σύνδεση στο WiMax δίκτυο. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την LOS τεχνολογία, διαφορετικοί BS διασυνδέονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα, είτε να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου, είτε στην περίπτωση που έχουν αναλάβει να εξυπηρετούν διαφορετικές περιοχές ο καθένας τους, να αυξάνουν τη διαπερατότητα (throughput) του δικτύου. Τελικά μέσω της διασύνδεσης αυτής, τα δεδομένα φθάνουν στον παροχέα (ISP), ο οποίος μέσω του backbone δικτύου τα προωθεί στο Διαδίκτυο.

Συμπερασματικά, το WiMax αποτελεί μια πρόσφατη λύση για ευρυζωνικότητα στην Ελλάδα και στον κόσμο, προσφέροντας υψηλές ταχύτητες και πολύ μεγάλη εμβέλεια κάλυψης. Υποστηρίζει νομαδικότητα και κινητικότητα των χρηστών δίνοντας την δυνατότητα για εξάπλωση της ευρυζωνικότητας(κατά βούληση). Η τεχνολογία αυτή, με την πιστοποίηση πολλών συμβατών συσκευών ωριμάζει σταδιακά για την εφαρμογή όλων αυτών. Και παράλληλα, καθώς το πρότυπο εξελίσσεται, θα μπορεί να προσφέρει ακόμη περισσότερες υπηρεσίες παράλληλα με τα δίκτυα τρίτης γενιάς.

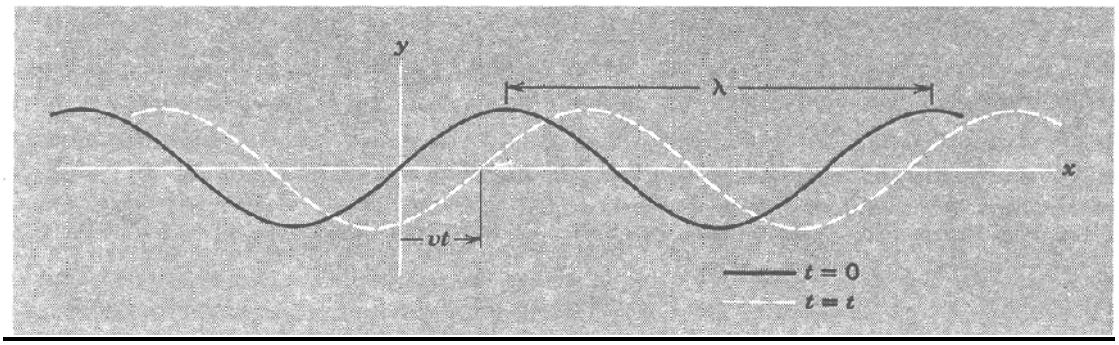
18. Παράρτημα α

18.1 Γενικοί ορισμοί

Υπάρχουν διάφορες έννοιες οι οποίες θα αναφέρονται συχνά από δω και πέρα και καλό είναι να ξεκαθαριστούν από τώρα, όπως ραδιοκύματα, συχνότητα, κύματα, ταλάντωση και διάφορες άλλες. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή[2].

Πότε μια κίνηση λέγεται περιοδική; Μια κίνηση που επαναλαμβάνεται σε ίσους χρόνους με τον ίδιο τρόπο. Μια τέτοια κίνηση όταν γίνεται παλινδρομικά γύρω από ένα σημείο ισορροπίας λέγεται ταλάντωση. Κύμα ονομάζεται κάθε διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια και ορμή με ορισμένη ταχύτητα. Για την παραγωγή ενός κύματος χρειάζεται μια πηγή που να εκτελεί
ταλαντώσεις.

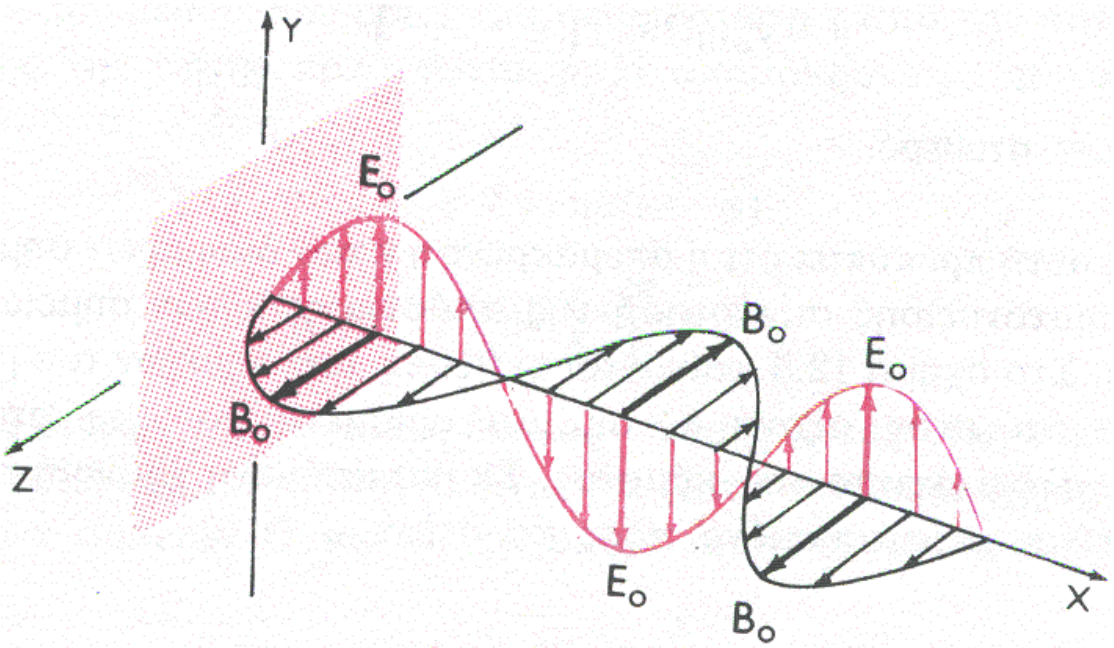
Τα κύματα που μας ενδιαφέρουν είναι τα αρμονικά δηλαδή αυτά που η απόσταση της πηγής από τη θέση ισορροπίας δίνεται από τη σχέση y = y0 ημ(ωt) όπου y0 είναι το πλάτος της ταλάντωσης, ωt η φάση με ω=2πν την κυκλική συχνότητα και τα εγκάρσια, δηλαδή αυτά που οι κινήσεις των σωματιδίων που τα μεταφέρουν είναι κάθετες της διεύθυνσης διάδοσης. Η παράσταση ενός κύματος φαίνεται στο σχήμα σημειώνοντας παράλληλα πως η ταχύτητά συνδέεται με τη συχνότητα ν και το μήκος κύματος λ με τη σχέση: u = λ * ν , όπου το λ είναι η απόσταση (δηλαδή το μήκος κύματος) ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία του που έχουν την ίδια φάση[1], [32].



Σχ.18.1 Παράσταση κύματος τις χρονικές στιγμές t=0, t.

Μία κατηγορία τέτοιων εγκάρσιων αρμονικών κυμάτων είναι τα ηλεκτρομαγνητικά. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα ονομάζουμε το σύστημα δύο κυμάτων,

ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού, που διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός σαν ένα αλλά σε κάθετα επίπεδα. Το ηλεκτρικό κύμα είναι η διάδοση ενός ηλεκτρικού πεδίου ενώ το μαγνητικό κύμα η διάδοση ενός μαγνητικού πεδίου στο χώρο. Άρα το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με την ταχύτητα του φωτός[1].



Σχ.18.2 Παράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Τόση ώρα αναφέρουμε την έννοια συχνότητα και καλό θα ήταν να αναφέρουμε τι ακριβώς είναι. Η συχνότητα, μαζί με την ένταση, είναι το βασικά χαρακτηριστικά του σήματος, του ημιτόνου. Χαρακτηρίζει τη συχνότητα με την οποία αλλάζει η ένταση του ημιτονοειδούς σήματος. Μετράται σε εναλλαγές ανά δευτερόλεπτο και μια εναλλαγή το δευτερόλεπτο (1/sec) είναι η μονάδα Hertz (Hz), ή κύκλος. Η εναλλαγή αυτή μπορεί να αφορά την διαταραχή που λέγαμε πιο πριν.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται η ακτινοβολία που μεταφέρει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι μία συνεχής περιοχή τέτοιας ακτινοβολίας, που εκτείνεται από τις ακτίνες γάμα ως τα ραδιοφωνικά κύματα. Στα διάφορα τμήματα αυτού του φάσματος υπάρχουν και άλλες μορφές ακτινοβολίας όπως: ραδιοκύματα και μικροκύματα από ηλεκτρόνια που κινούνται σε αγωγούς, υπέρυθρο από θερμά αντικείμενα, ορατό φως από πολύ θερμά αντικείμενα, υπεριώδες από ηλεκτρικά τόξα και εκκενώσεις αερίων, ακτίνες Χ από ηλεκτρόνια που κτυπούν ένα στόχο, ακτίνες γάμα από πυρήνες ραδιενεργών

ατόμων. Όλα τα κύματα αυτά είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσεως, έχουν την ίδια ταχύτητα , ενώ η μόνη διαφορά είναι στο μήκος κύματος, άρα και στη συχνότητα. Το μήκος κύματος είναι η απόσταση που διανύει το κύμα στο χρόνο μιας περιόδου στο μέσο μετάδοσης. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα δεν έχει ορισμένο κάτω και άνω φράγμα, θεωρητικά όμως αναφερόμαστε στην περιοχή συχνοτήτων από 0 − 1024 Hz.

Η διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από την κεραία επηρεάζεται κυρίως από δύο παράγοντες: από το έδαφος και από ένα στρώμα της ατμόσφαιρας σε ύψος από 100 ως 350 Km περίπου που ονομάζεται ιονόσφαιρα. Έτσι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από την κεραία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) στα κύματα επιφάνειας και β) τα κύματα χώρου(για περισσότερα βλέπε [33]).

19. Παράρτημα β

19.1 Τεχνικές μετάδοσης

Όπως προαναφέραμε για να μπορέσει η πληροφορία να μεταδοθεί πρέπει να γίνει κάποια διαμόρφωση, έτσι ώστε το σήμα να μεταδοθεί μέσα από τις γραμμές του τηλεφώνου ή από άλλα ασύρματα συστήματα μετάδοσης. Όταν λοιπόν μιλάμε για ασύρματες συνδέσεις το σήμα μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ραδιοκυμάτων κ.τ.λ. μέσα από ένα φάσμα συχνοτήτων και πολλές φορές υπόκειται και κάποια διαμόρφωση. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε δύο τεχνικές μετάδοσης : την μετάδοση σε βασική ζώνη και την μετάδοση σε ζώνη διέλευσης[1], [2].

19.1.1 Μετάδοση σε βασική ζώνη

Στη μετάδοση στη βασική ζώνη (baseband) το σήμα πληροφορίας μεταδίδεται στη αρχική μπάντα συχνοτήτων του (με κεντρική συχνότητα την f=0), χωρίς μετατόπιση του σε κάποια υψηλότερη συχνότητα (διαμόρφωση φέροντος). Χρησιμοποιείται μια μορφή ψηφιακής διαμόρφωσης, η διαμόρφωση παλμών. Ως διαμόρφωση παλμών ονομάζουμε τη διαμόρφωση όπου το σήμα φορέας είναι ακολουθία παλμών και το σήμα πληροφορίας διαμορφώνει κάποιο από τα χαρακτηριστικά όπως το πλάτος τη διάρκεια, τη θέση κλπ.

Έτσι έχουμε διάφορα είδη διαμόρφωσης παλμών, όπως η διαμόρφωση πλάτους παλμών (Pulse Amplitude Modulation) η διαμόρφωση διάρκειας παλμών (Pulse Duration Modulation) και η διαμόρφωση θέσης παλμών (Pulse Position Modulation). Οι ποιο σημαντικές είναι η διαμόρφωση πλάτους παλμών, η απλούστερα PAM, και ειδικότερα στη παλμοκωδική διαμόρφωση PCM (Pulse Code Modulation).

Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (PAM) : Σε αυτό το είδος διαμόρφωσης τα πλάτη μιας σειράς παλμών μεταβάλλονται ανάλογα με τις αντίστοιχες τιμές των δειγμάτων ενός συνεχούς σήματος.

Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM) :Λέγοντας παλμοκωδική διαμόρφωση στην ουσία εννοούμε την ψηφιοποίηση της διαμόρφωσης PAM.

19.1.2 Μετάδοση σε ζώνη διέλευσης

Η μετάδοση σήματος στη βασική ζώνη είναι ικανοποιητική για εφαρμογές όπως η σταθερή τηλεφωνία, όμως δεν επαρκεί για άλλες εφαρμογές όπως π.χ. ασύρματη μετάδοση. Σε τέτοιες περιπτώσεις μετατρέπουμε το σήμα βασικής ζώνης

(baseband) σε σήμα ζώνης διέλευσης (passband), με μια διαδικασία που ονομάζεται διαμόρφωση φέροντος. Με τη διαμόρφωση φέροντος το σήμα βασικής ζώνης που περιέχει την πληροφορία που θέλουμε να μεταδώσουμε, 'επικάθεται' σε ένα σήμα υψηλότερης συχνότητας, το λεγόμενο φέρον σήμα (carrier signal).

Στην ουσία κάποιο από τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος μεταβάλλεται συναρτήσει του σήματος πληροφορίας. Οι βασικοί λόγοι που μας ωθούν στη διαμόρφωση του baseband σήματος πληροφορίας είναι :

Το μήκος των κεραιών πρέπει να είναι της τάξεως του μήκους κύματος λ του σήματος (π.χ. λ / 2, λ / 4). Είναι όμως λ = c/f , όπου c η ταχύτητα του φωτός και f η συχνότητα του σήματος. Συνεπώς όσο μετατοπίζουμε το σήμα σε υψηλότερη συχνότητα, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κεραιών που θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε. Για παράδειγμα ένα σήμα 100 Hz έχει λ = 3km, ενώ με διαμόρφωση στα 100MHz έχει λ = 3m.

Γίνεται δυνατή η χρήση της τεχνικής της πολυπλεξίας σήματος, έτσι π.χ. μπορούμε να μεταδώσουμε δύο ή περισσότερα σήματα ταυτόχρονα, πράγμα αδύνατο αν περιοριζόμασταν μόνο στη μετάδοση σε βασική ζώνη αφού θα ήταν αναπόφευκτες επικαλύψεις ανάμεσα στα σήματα.

Διακρίνουμε δύο τύπους διαμόρφωσης, την αναλογική και τη ψηφιακή.

19.1.2.1 Αναλογική Διαμόρφωση

Ένα αναλογικό σήμα χαρακτηρίζεται από τρία βασικά μεγέθη :

- Το πλάτος του A
- Τη συχνότητά του f
- Τη φάση του φ

Δύο είναι οι βασικές μέθοδοι αναλογικής διαμόρφωσης που είναι η διαμόρφωση κατά πλάτος και η διαμόρφωση κατά συχνότητα.

Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation-AM)

Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος, πρόκειται για διαμόρφωση πλάτους (amplitude modulation) ή AM, όπως είναι ευρύτερα γνωστή.

Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (Frequency Modulation-FM)

Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει τη συχνότητα του φέροντος σήματος, πρόκειται για διαμόρφωση συχνότητας (Frequency modulation) ή FM.

19.1.2.2 Ψηφιακή Διαμόρφωση

Στην εποχή μας χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ψηφιακές μέθοδοι διαμόρφωσης. Η ψηφιακή διαμόρφωση εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα :

Μεγαλύτερη αντοχή στο θόρυβο (αναγέννηση σήματος)

Συμπίεση φωνής → Αύξηση χωρητικότητας συστήματος

Μείωση κόστους

Βελτίωση Ασφάλειας (τεχνικές κωδικοποίησης)

Μικρότερη απαιτούμενη ισχύς : Φωνή και δεδομένα αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο (π.χ. 3G συστήματα)

Βασικές έννοιες που πρέπει να διακρίνουμε πριν συνεχίσουμε είναι αυτές του bit rate και του symbol (ή baud) rate. Bit rate είναι ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται η στοιχειώδης μονάδα πληροφορίας (bit). Baud rate είναι ο αριθμός συμβόλων ανά δευτερόλεπτο. Για ένα σύμβολο που αποτελείται από n bits, έχουμε M καταστάσεις σήματος, όπου M=2n **.** Baud rate = bit rate /αριθμό bits ανά σύμβολο. Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που αποτελεί δείκτη ποιότητας ενός τύπου ψηφιακής διαμόρφωσης είναι η απόδοση φάσματος (spectrum efficiency). Η απόδοση φάσματος περιγράφει πόσο ικανοποιητικά χρησιμοποιείται το διαθέσιμο εύρος ζώνης και μετριέται σε bps/Hz. Το μέτρο της δίνεται από το πηλίκο του ρυθμού μετάδοσης προς το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Π.χ. για ένα σήμα που μεταδίδεται με bitrate 140 Mbits/sec σε ένα εύρος ζώνης 52.5 MHz έχουμε απόδοση φάσματος 140 Mbps/52.5 MHz =2.7bps/Hz.

Τέλος άλλη μια παράμετρος που θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα στις παρακάτω παραγράφους είναι το BER (Bit Error Rate). Σε μια ψηφιακή διαμόρφωση το BER είναι το ποσοστό των bits με σφάλμα προς τον συνολικό αριθμό των μεταδιδόμενων ή λαμβανόμενων bits για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Συνήθως εκφράζεται ως αρνητική δύναμη του 10. Π.χ. 4 λανθασμένα bits για 100.000 bits που μεταδόθηκαν εκφράζεται ως 4 x 10-5, ενώ BER 3 x 10-6 σημαίνει ότι 3 bits είχαν σφάλμα από τα που μεταδόθηκαν.

Ψηφιακή Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Shift Keying- ASK)

Η ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους ή ASK είναι η απλούστερη μορφή ψηφιακής διαμόρφωσης, όπως αντίστοιχα η AM διαμόρφωση είναι και η απλούστερη αναλογική. Και εδώ το πλάτος του ημιτονικού σήματος – φέροντος, μεταβάλλεται αναλογικά με την τιμή του ψηφιακού σήματος πληροφορία.

Ψηφιακή Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Shift Keying- FSK)

Όπως και στην περίπτωση της FM διαμόρφωσης, έτσι και στη ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας ή FSK, η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται με διακριτό τρόπο ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος

πληροφορίας. Στην απλούστερη περίπτωση αυτό σημαίνει μία τιμή συχνότητας για τη δυαδική τιμή «1» και μία άλλη τιμή συχνότητας για τη δυαδική τιμή «0».

Ψηφιακή Διαμόρφωση Φάσης (Phase Shift Keying- PSK)

Στην περίπτωση αυτή είναι η φάση του ημιτονικού φέροντος που μεταβάλλεται συναρτήσει του σήματος πληροφορίας. Η πιο απλή μορφή της είναι η δυαδική PSK (Binary Phase Shift Keying – BPSK) όπου χρησιμοποιούνται δύο φάσεις για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων 0 και 1.

Ψηφιακή Διαμόρφωση (Gaussian) Minimum Shift Keying –(G) MSK

Η διαμόρφωση MSK είναι μια ειδική περίπτωση της FSK, όπου η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης χρησιμοποιούμενης συχνότητας είναι ίση με το μισό του bitrate. Π.χ. για bitrate 1200 bps, πρέπει fmax – fmin =1200/2=600 Hz. Η GMSK είναι μια μορφή της MSK όπου το απαιτούμενο εύρος ζώνης μειώνεται ακόμα περισσότερο με το πέρασμα της διαμορφωμένης κυματομορφής από ειδικό χαμηλοπερατό φίλτρο (Gaussian filter). Η GMSK έχει καλύτερη απόδοση φάσματος και χαμηλότερο BER από την MSK.

Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Η διαμόρφωση QAM είναι στην ουσία ένας συνδυασμός PSK και διαμόρφωσης πλάτους. Το QAM σήμα έχει τόσες καταστάσεις όσοι είναι οι πιθανοί συνδυασμοί πλάτους και φάσης των φερόντων σημάτων. Π.χ. αν έχουμε 2 διαφορετικές τιμές πλάτους και 4 διαφορετικές φάσεις έχουμε 2 x 4 = 8 διαφορετικές καταστάσεις. Αυτή είναι η διαμόρφωση 8-QAM.

20. Παράρτημα γ

20.1 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

Οι βασικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης είναι οι εξής: Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση στη Συχνότητα (Frequency Division Multiple Access – FDMA), Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση στο Χρόνο (Time Division Multiple Access – TDMA) και Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA)[1], [2].

20.1.1 FDMA

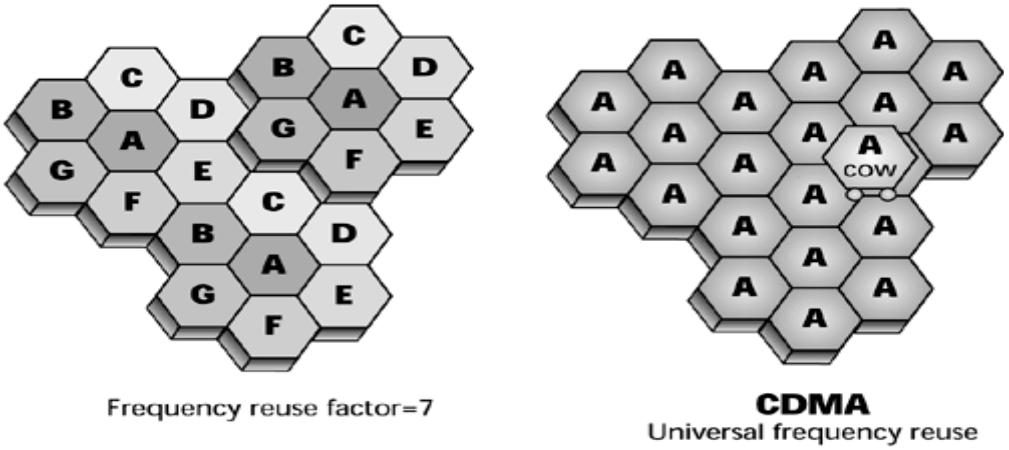
Η FDMA χρησιμοποιείται σε αναλογικά κυψελωτά δίκτυα. Κάθε χρήστης εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα. Με την FDMA όλοι εκπέμπουν ταυτόχρονα, αλλά κάθε εκπομπή καταλαμβάνει διαφορετική μπάντα συχνοτήτων. Για τις σημερινές απαιτήσεις η χωρητικότητα των FDMA συστημάτων είναι μικρή, περίπου 60 χρήστες ανά κυψέλη. Έτσι μόνο με αυτή τη τεχνική δε θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός ασύρματων χρηστών. Πλεονεκτήματα της FDMA είναι το συγκριτικά χαμηλό κόστος υλοποίησης καθώς και το ότι δε χρειάζεται μηχανισμούς χρονισμού για το συγχρονισμό των σταθμών βάσης όπως η TDMA.

20.1.2 TDMA

Η TDMA χρησιμοποιείται σε ψηφιακά κυψελωτά και PCS συστήματα. Στην ουσία είναι ένας συνδυασμός Frequency Division Multiplexing (FDM) και Time Division Multiplexing (TDM). Πρώτα διαιρείται το διαθέσιμο φάσμα σε έναν αριθμό καναλιών. Έπειτα σε κάθε κανάλι εφαρμόζουμε TDM ώστε να μπορεί να σηκώνει πολλαπλούς χρήστες πολυπλεγμένους στο χρόνο. Πολλά σύγχρονα πρότυπα κυψελωτών δικτύων στηρίζονται στη TDMA όπως τα GSM (Global System for Mobile Communications), UWC (Universal Wireless Communications), και JDC (Japanese Digital Cellular). Στο GSM για παράδειγμα κάθε κανάλι μπορεί να εξυπηρετήσει 8 χρήστες, όπου ο καθένας εκπέμπει/λαμβάνει σε διαφορετική χρονοθυρίδα (time slot). Πλεονεκτήματα της σε σχέση με την FDMA είναι ότι παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα και απόδοση φάσματος καθώς και η δυνατότητα χρήσης ‘έξυπνων’ ψηφιακών συσκευών (smart devices).

20.1.3 CDMA

Η CDMA είναι η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος στις μέρες μας.



Εικόνα 20.1 Τεχνική πολλαπλής πρόσβασης

Στην CDMA οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό γίνεται δυνατό γιατί κάθε ‘συνομιλία’ κωδικοποιείται με μοναδικό τρόπο. Έτσι κάθε δέκτης μπορεί να ξεχωρίσει την εκπομπή που απευθύνεται σ’ αυτόν. Είναι η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που επιτυγχάνει τη μέγιστη πυκνότητα κάλυψης. Ένα κλασικό παράδειγμα για τη κατανόηση της λειτουργία της CDMA είναι αυτό του ‘κοκτέηλ πάρτι’ . Φανταστείτε ότι βρίσκεστε σε ένα πάρτι και γύρω σας μιλάνε ταυτόχρονα ένας Έλληνας, ένας Ιάπωνας και ένας Ινδός. Ακούτε τις ομιλίες τους και επικεντρώνετε την προσοχή σας σε αυτή που περιέχει κατανοητές σε σας λέξεις. Είστε με άλλα λόγια ικανοί να φιλτράρετε τις συζητήσεις που δε σας ενδιαφέρουν γιατί αναγνωρίσατε έναν κώδικα (γλώσσα) κατανοητό σε σας.

Υπάρχουν 2 γενιές CDMA. Η πρώτη γενιά έχει εύρος ζώνης 1.25 MHz. Η δεύτερη γενιά CDMA γνωστή και ως Wideband CDMA (WCDMA), λειτουργεί με εύρος ζώνης 5, 10 ή 15 MHz. Η WCDMA μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερη πυκνότητα χρηστών, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και είναι περισσότερο ασφαλής από την CDMA. Στην CDMA δεν απαιτείται χρονικός συγχρονισμός, άρα και μηχανισμοί χρονισμού (clocking devices) όπως στην TDMA. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στις παρεμβολές. Παρέχει σαφώς μεγαλύτερη χωρητικότητα από τις FDMA και TDMA . Έχει απόδοση φάσματος 10-20 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με ένα αναλογικό δίκτυο. Μειονέκτημα της CDMA το ότι περικλείει πολύπλοκους μηχανισμούς ελέγχου ισχύος.

21. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Εθνικό και Καποδιστριακό πανεπηστήμιο Αθηνών, Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών Τομέας Επικοινωνιών και Επεξεργασίας Σήματος, Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες (ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ).

[2] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, “Σχεδίαση και Προσομοίωση Συστήματος WiMAX”, Διπλωματική εργασία Κωνσταντίνου Α. Στεφάνου, Ιούλιος 2006.

[3] Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Μάθημα Εισαγωγή στο Internet, Μέρος Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, p.1-7.

[4] Εθνική επιτροπή τηλεπικοινωνιών και ταχυδρομείων, «Γνωρίστε την ευρυζωνικότητα», Available from : www.eett.gr/broadband

[5] Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος Δίκτυα δημόσιας χρήσης και διασύνδεση δικτύων, «WiMax – IEEE 802.16», Μπακούλη Άννα.

[6] Στα πλαίσια εκπαιδευτικής άσκησης του μαθήματος Τηλεκπαίδευσης του τμήματος τηλεπληροφορικής και διοίκησης για το WiMax, μέρος «Πρότυπο 802.16 και αρχιτεκτονική», Ευάγγελος Παπαστόλου, Ιανουάριος 2008, Available from : http://papvag.blogspot.com/2008/01/ieee-80216.html

[7] Προώθηση ευρυζωνικότητας στην Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Ροδόπης – Έβρου, μέρος «ευρυζωνικές τεχνολογίες – WiMax», Available from : http://nere.gr.virtuals-24.irismedia.gr/index.php?sec=415&cid=748

[8] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική εργασία της Δήμητρας Χ. Μπουζή, Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, Αθήνα, Οκτώβριος 2008.

[9] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Μελέτη ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης WLAN και WIMAX, διπλωματική εργασία, Χρυσάνθη Θ. Γκέκα, Αθήνα, Ιούλιος 2007.

[10] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Μελέτη ασύρματων ευρυζωνικών δίκτυα WIMAX, διπλωματική εργασία, Παναγιώτης Γ. Τσελίκης, Αθήνα Σεπτέμβριος 2006.(υπηρεσία προγραμματισμού, διάδοση στο ασύρματο περιβάλλον, ανάλυση ασπειλής, στην ελλαδα)

[11] Jakub Wolnicki, «The IEEE 802.16 WiMAX Broadband Wireless Access, Physical Layer (PHY), Medium Access Control Layer (MAC),Radio Resource Management (RRM)» Advisors: Maran Kumar Pereirasamy Dr.Ing.Christian Hartmann, Ιανουάριος 2005, p 1-20.

[12] Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Στην Επιστήμη Των Υπολογιστών Διπλωματική Εργασία Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης «Ανάλυση απόδοσης του προτύπου IEEE 802.16 για εφαρμογές μετάδοσης πακέτων φωνής, σε καταστάσεις υψηλού φόρτου» Παπαντωνάκος Εμμανουήλ Επιβλέπων: Ξυλωμένος Γιώργος, Ιούνιος 2007

[13] Ανώνυμος(2006), Τίτλος «WIMAX», κεφάλαιο 3 «How Wimax works», 27 Απριλίου 2006.

[14] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society, «IEEE Standard for Local and metropolitan area networks», Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Τροποποίηση 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Φεβρουάριος 2006.

[15] Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής Και Τηλεπικοινωνιών, Πτυχιακή Εργασία **«**WiMAX ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ UMTS**»** Αλέξανδρος Νέστορας, Λάρισα 2006.

[16] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΥΦΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ, διπλωματική εργασία «Μοντελοποίηση δικτύων 4ης γενιάς σε περιβάλλον εξομοίωσης OPNET», Χριστοφίδης Κ. Φάνος, Αθήνα, Ιούλιος 2006.

[17] MAINAK CHATTERJEE AND SHAMIK SENGUPTA, UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA SAMRAT GANGULY, NEC LABORATORIES AMERICA, «FEEDBACK-BASED REAL-TIME STREAMING OVER WIMAX», Φεβρουάριος 2007, p1-8.

[18] From Wikipedia, the free encyclopedia, for WiMax, about Mac and PHY and for Mobile Wimax, Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/Wimax

[19] Prepared on Behalf of the WiMAX Forum, «Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation», Φεβρουάριος 2006, p 1-53.

[20] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, «Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου - Case Study: Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε.», Διπλωματική εργασία των Ιωάννη Α. Τερζάκη και Δημητρίου Κ. Τσαπάρα, Αθήνα Απρίλιος 2007.

[17] Internetworking Technologies Handbook, Quality of Service Networking (chapter 49), p 1-32

[22] From Wikipedia, the free encyclopedia, for Quality of service, Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/QoS

[23] BO RONG AND YI QIAN, UNIVERSITY OF PUERTO RICO HSIAO-HWA CHEN, NATIONAL SUN YAT-SEN UNIVERSITY, «ADAPTIVE POWER ALLOCATION AND CALL ADMISSION CONTROL IN MULTISERVICE WIMAX ACCESS NETWORKS», Φεβρουάριος 2007, p 1-6.

[24] Laura Cottatellucci, «Resource Allocation in WiMAX», Φεβρουάριος 2008, p1-34

[25] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Διπλωματική εργασία «Μελέτη Μηχανισμών Ελέγχου Αποδοχής Ροών βασισμένων σε μετρήσεις» Αναστάσιος Α. Ζαφειρόπουλος, Ιούλιος 2004.

[26] Yang Xiao, WiMax / MobileFi : Advanced Research and Technology, CRC Press 2007, Auerbach Publications, p. 423.

[27] Mathias Bohge , James Gross , Michael Meyer , Adam Wolisz, « Dynamic Resource Allocation in OFDM Systems: An Overview of Cross-Layer Optimization Principles and Techniques», Οκτώβριος 2006, p 1-19.

[28] Peshala Pahalawatta, Randall Berry, Thrasyvoulos Pappas, Aggelos Katsaggelos, « Content-Aware Resource Allocation and Packet Scheduling for Video Transmission Over Wireless Networks», Δεκέμβριος 2006, p 1-23.

[29] Claudio Cicconetti, Alessandro Erta, Luciano Lenzini, and Enzo Mingozzi, «Performance Evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS Support», VOL. 6, NO. 1, p 3-12, Ιανουάριος 2007

[30] Syed Ahson Mohammad Ilyas, WiMax : Technologies Performance Analysis and QoS, CRC Press 2007, p. 279.

[31] Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, « ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΠΟΛΥΚΥΨΕΛΩΤΑ OFDMA ΣΥΣΤΉΜΑΤΑ», Διπλωματική εργασία του τειακογιαννακης Ν. Ιωάννη, Αθήνα, Μάιος 2007.

[32] The Greek Technology Team, Κατηγορία WiMax , Μέρος : Το WiMax στην Ελλάδα, Available from : http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX.

[33] Wikia Science, Ασύρματη Τηλεπικοινωνία, θέματα - τομείς : Κεραίες, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, συχνότητα, Ηλεκτρικά σήματα, Available from : http://el.science.wikia.com/wiki/Ασύρματη_Τηλεπικοινωνία.