

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Μεταπτυχιακή Κατεύθυνση: Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα



Διπλωματική Εργασία

*Παροχή QoS (Quality of Service) σε ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα
WMAN-802.16 (WiMAX)*

Επιβλέπων: Δεμέστιχας Παναγιώτης

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιά

Επιμέλεια: Κουφός Σπυρίδων **ΑΜ:** ΜΕ 07055

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Ασύρματη Ευρυζωνικότητα (Broadband Wireless).....	9
1.2 Σημαντικές ημερομηνίες στην ανάπτυξη του Broadband Wireless.....	10
1.3 Το WiMAX και άλλες ευρυζωνικές ασύρματες τεχνολογίες.....	12
1.4 Άλλα συγκρίσιμα συστήματα.....	14
1.5 Τεχνικές προκλήσεις για το Broadband Wireless.....	15
1.6 Μερικές από τις βασικές τεχνικές προκλήσεις σχεδιασμού.....	16
1.7 Συμπεράσματα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : WiMAX	19
2.1 Το υπόβαθρο του IEEE 802.16 και του WiMAX.....	19
2.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου 802.16.....	21
2.3 Σταθερό και Κινητό WiMAX (IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005).....	22
2.4 Σύνοψη.....	24
2.5 Εμφανή χαρακτηριστικά γνωρίσματα του WiMAX.....	25
2.5.1 OFDM-based φυσικό στρώμα.....	25
2.5.2 Πολύ υψηλά μέγιστα (peak) data rates.....	26
2.5.3 Υποστήριξη για προηγμένες τεχνικές κεραιών.....	26
2.5.4 Εξελικτική-βαθμωτή υποστήριξη εύρους ζώνης και data rate.....	26
2.5.5 Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC).....	27
2.5.6 Αναμεταδόσεις στο link layer.....	27
2.5.7 Υποστήριξη για TDD και FDD.....	27
2.5.8 Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA).....	28
2.5.9 Ευέλικτη και δυναμική κατανομή πόρων ανά χρήστη.....	28
2.5.10 Υποστήριξη του Quality-of-service.....	28
2.5.11 Ασφάλεια.....	29
2.5.12 Υποστήριξη για την κίνηση (mobility).....	29
2.5.13 IP-based αρχιτεκτονική.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Το Φυσικό Στρώμα του WiMAX.....	31
3.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά του OFDM.....	31
3.1.1 Τα Πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις του OFDM.....	33
3.1.2 Οι Παράμετροι του OFDM στο WiMAX.....	35
3.1.3 Το OFDM-PHY στο σταθερό WiMAX.....	36
3.1.4 Το OFDMA-PHY στο κινητό WiMAX.....	36
3.2 Subchannelization: OFDMA.....	37
3.2.1 Subchannelization Σχήματα.....	38
3.2.2 Η Δομή των slots και των πλαισίων.....	40
3.2.2.1 Medium Access Protocol.....	42

3.2.2.2 Ranging Κανάλι.....	44
3.2.2.3 Κώδικες Χρήσης Διαστήματος-Interval Usage Codes (IUC).....	46
3.2.2.4 Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση στο WiMAX.....	46
3.3 PHY-Layer Data Rates.....	48

Κεφάλαιο 4^ο : Το Media Access Control (MAC).....50

4.1 Μηχανισμοί Πρόσβασης Καναλιού.....	55
4.2 Ποιότητα Υπηρεσίας στο MAC Επίπεδο (MAC layer QoS).....	56
4.2.1 QoS Παράμετροι.....	58
4.2.2 QoS Scheduling services-classes.....	58
4.2.3 Ροή Υπηρεσίας και Λειτουργίες του QoS.....	60
4.2.4 Τα Επίπεδα Προτεραιότητας του QoS.....	62
4.3 Τα χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ισχύος-ενέργειας.....	64
4.4 Mobility Support-Υποστήριξη Κίνησης-Κινητικότητας.....	65
4.5 Security-Ασφάλεια.....	66
4.6 Multicast and Broadcast Υπηρεσίες.....	67

Κεφάλαιο 5^ο : End-to-end IP-based QoS.....68

5.1 Οι Μηχανισμοί του QoS στα δίκτυα πακέτων.....	71
5.1.1 Μηχανισμοί του επιπέδου ελέγχου.....	73
5.1.2 Μηχανισμοί του επιπέδου δεδομένων.....	75
5.2 Tradeoffs-Ανταλλαγές.....	77
5.3 Οι τεχνολογίες του IP QoS (IntServ-DiffServ-MPLS).....	77
5.3.1 Η Αρχιτεκτονική των Ενσωματωμένων Υπηρεσιών(IntServ).....	78
5.3.2 Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες - Differentiated Services.....	79
5.3.3 Multiprotocol Label Switching (MPLS).....	81

Κεφάλαιο 6^ο : Reference Network Architecture.....82

6.1 Τα Μέρη του Δικτύου.....	83
6.2 Οι Επιχειρησιακές Οντότητες.....	84
6.3 Οι Λειτουργικές Οντότητες.....	85
6.4 Τα Σημεία Αναφοράς-Reference Points.....	86

Κεφάλαιο 7^ο : Το WiMAX Forum.....88

7.1 Μέλη.....	88
7.2 Όραμα και Αποστολή.....	88
7.3 Στρατηγικοί στόχοι.....	88
7.4 Ομάδες Εργασίας.....	89
7.4.1 Ομάδα Εργασίας Εφαρμογών.....	89
7.4.2 Ομάδα Εργασίας Πιστοποίησης.....	89
7.4.3 Ομάδα εργασίας για το Global Roaming.....	90
7.4.4 Ομάδα Εργασίας Μάρκετινγκ.....	90
7.4.5 Ομάδα Εργασίας Δικτύου.....	90
7.4.6 Ομάδα εργασίας για τις Ρυθμίσεις.....	90
7.4.7 Ομάδα εργασίας για τους φορείς παροχής υπηρεσιών.....	91

7.4.8 Τεχνική ομάδα εργασίας.....	91
Κεφάλαιο 8^ο : Validation-Επικύρωση.....	92
8.1 Εργαλεία-Λογισμικό Υλοποίησης.....	92
8.2 1 ^ο Σενάριο Προσομοίωσης.....	95
8.2.1 Αποτελέσματα 1 ^ο σεναρίου.....	95
8.3 2 ^ο Σενάριο Προσομοίωσης.....	101
8.3.1 Αποτελέσματα 2 ^ο σεναρίου.....	101
8.4 Συμπεράσματα.....	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	113
Βιβλιογραφία	117

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογική αιχμή που χαρακτηρίζει την εποχή μας και το πλήθος των εφαρμογών που αυτή συνεπάγεται καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για ψηφιακή μετάδοση μεγάλων αποστάσεων με υψηλή ποιότητα υπηρεσίας, μικρή πολυπλοκότητα υλοποίησης, εξοικονόμηση φάσματος, ταχύτερες μεταδόσεις και πρωτίστως με μικρό κόστος .

Μια κατηγορία δικτύων με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα. Αναφερόμαστε στα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως και στην ανάπτυξή τους που είναι μεγάλη και ταχύτατη.

Η **WiMAX (worldwide interoperability for microwave access)** τεχνολογία είναι σχεδιασμένη να υλοποιεί fixed και mobile εφαρμογές μαζί. Ανήκει στα **IEEE 802.16** πρότυπα και συγκεκριμένα σε αυτή την εργασία ασχολούμαστε με τα πρότυπα **IEEE 802.16e-2005** και **IEEE 802.16-2004** για mobile και fixed εφαρμογές του **WiMAX** αντίστοιχα. Τις βελτιώσεις και τις προσθήκες δηλαδή που έγιναν στο **802.16e-2005** σε σχέση με το **IEEE 802.16-2004**

Μερικές από τις βασικές τεχνικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει το WiMAX ώστε να γίνει μια πρωτοπόρα, αξιόπιστη, πιο γρήγορη και φτηνή λύση. Για παράδειγμα: **υψηλή φασματική απόδοση και κάλυψη, προκειμένου να παραδοθούν οι ευρυζωνικές υπηρεσίες σε έναν μεγάλο αριθμό χρηστών, που χρησιμοποιούν περιορισμένο διαθέσιμο φάσμα, υποστηρικτικές, αποδοτικές και πολυσύνθετες υπηρεσίες με ποικίλες QoS (throughput, delay, jitter etc.) απαιτήσεις, υποστήριξη της κινητικότητας, προσαρμογή των IP-based πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικής για το ασύρματο περιβάλλον ώστε να επιτύχει χαμηλότερο κόστος κ.λπ.**

Μία από τις πιο μεγάλες και πιο επίπονες προκλήσεις του **WiMAX** αλλά και κάθε ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη και πιο αξιόπιστη παροχή ποιότητας υπηρεσίας **QoS (Quality of Service)** στους χρήστες.

Σε αυτήν την εργασία γίνεται μια ανάλυση και των δύο ειδών του **WiMAX QoS**:

- A) Το QoS του MAC στρώματος (**MAC QoS**) και
- B) **End-to-end IP-based QoS**

Αναλύονται οι μηχανισμοί, οι κλάσεις και οι απαιτήσεις του **QoS** ώστε να είναι καλή και αξιόπιστη η παροχή του στους χρήστες.

Επίσης παρουσιάζεται η **Reference** αρχιτεκτονική του δικτύου και γίνεται αναφορά στο **WiMAX Forum** και τις λειτουργίες του

Τέλος γίνεται μια **επικύρωση-validation** του **WiMAX QoS** μέσω της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ασύρματη Ευρυζωνικότητα (Broadband Wireless)

Το “**Broadband Wireless**” έχει ως κύριο σκοπό του να φέρει την εμπειρία του Broadband μέσα σε ένα wireless (ασύρματο) πλαίσιο, το οποίο προσφέρει στους χρήστες συγκεκριμένα μοναδικά οφέλη και εξαιρετική ευκολία. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί βασικοί τύποι ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Ο **πρώτος τύπος** προσπαθεί να παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών παρόμοιων με το παραδοσιακό «fixed-line» broadband αλλά χρησιμοποιώντας το wireless(ασύρματα) ως μέσο μετάδοσης.

Αυτός ο τύπος καλείται ως **fixed wireless broadband**, και μπορεί να θεωρηθεί ως ο ανταγωνιστής του DSL ή του καλωδιακού modem

Ο **δεύτερος τύπος** του broadband wireless, ο οποίος καλείται **mobile broadband**, προσφέρει την πρόσθετη λειτουργία του **portability** (φορητότητας), **nomadicity** (νομαδικότητας), και **mobility** (κινητικότητα). Το mobile broadband προσπαθεί να φέρει broadband εφαρμογές σε νέα εμπειρικά σενάρια για το χρήστη.

Η **WiMAX** (worldwide interoperability for microwave access) τεχνολογία είναι σχεδιασμένη να υλοποιεί fixed και mobile εφαρμογές μαζί.

Όλοι οι broadband χρήστες παγκοσμίως αναγνωρίζουν ότι έχει αλλάξει δραματικά το πώς μοιραζόμαστε τις πληροφορίες, το πώς διεκπεραιώνουμε τις εργασίες μας και το πώς «αναζητούμε» την διασκέδαση μας.

Η κατάσταση της broadband access(πρόσβασης) σήμερα έχει ως εξής:

- a. **Digital Subscriber Line (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) ή DSL ή xDSL** περιγράφει μια οικογένεια τεχνολογιών που παρέχουν μετάδοση δεδομένων πάνω από το παραδοσιακά τηλεφωνικά καλώδια. Η πιο δημοφιλής τεχνολογία DSL είναι το ADSL και η βελτιωμένη έκδοσή του, το ADSL2+.
- b. **Cable Modem Technology (Τεχνολογία Καλωδιακού Μόντεμ)**

Αυτές είναι οι δύο κυρίαρχες τεχνολογίες broadband access στην αγορά σήμερα.

Και οι δύο τεχνολογίες παρέχουν τυπικά μέχρι μερικά μεγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο (Mbps) δεδομένων σε κάθε χρήστη, και οι συνεχόμενοι πρόοδοι καθιστούν τις δεκάδες και εκατοντάδες των μεγαμπίτ ανά δευτερόλεπτο πιθανές. Από την αρχική χρησιμοποίησή τους προς το τέλος της δεκαετίας του '90, αυτές οι υπηρεσίες έχουν απολαύσει ιδιαίτερη αύξηση.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν περισσότερους από 80 εκατομμύρια ευρυζωνικούς συνδρομητές, που περιλαμβάνουν περισσότερο από το μισό των εγχώριων χρηστών του Ίντερνετ. Παγκοσμίως, αυτός ο αριθμός είναι περισσότερος από 350 εκατομμύρια σήμερα και προβλέπεται να αυξηθεί σε περισσότερο από 450 εκατομμύρια μέχρι το 2012. Η διαθεσιμότητα της ασύρματης λύσης για την ευρεία ζώνη θα μπορέσει ενδεχομένως να επιταχύνει αυτήν την αύξηση.

Η ευρυζωνική πρόσβαση όχι μόνο παρέχει γρηγορότερο Web surfing και γρηγορότερο download αρχείων αλλά και επιτρέπει διάφορες εφαρμογές πολυμέσων, όπως:

- **real-time audio και video streaming**
- **multimedia conferencing και**
- **interactive gaming.**

Οι ευρυζωνικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται επίσης για τη φωνητική τηλεφωνία χρησιμοποιώντας την τεχνολογία **voice-over-Internet Protocol (VoIP)**. Πιο προηγμένα ευρυζωνικά συστήματα πρόσβασης, όπως το **fiber-to-the-home (FTTH)** και η πολύ υψηλών ταχυτήτων ροής δεδομένων **digital subscriber loop (VDSL)**, επιτρέπουν τέτοιες εφαρμογές όπως **entertainment-quality video**, περιλαμβάνοντας **high-definition TV (HDTV)** και **video on demand (VoD)**. Δεδομένου ότι η ευρυζωνική αγορά συνεχίζει να αυξάνεται, διάφορες νέες εφαρμογές είναι πιθανό να προκύψουν, και είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς ποια θα πετύχει στο μέλλον.

1.2 Σημαντικές ημερομηνίες στην ανάπτυξη του **Broadband Wireless**

Φεβρουάριος 1997: Η AT&T αναγγέλλει την ανάπτυξη «fixed wireless technology code» που ονομάζεται “Project Angel”

Φεβρουάριος 1997: Η FCC «δημοπρατεί» 30MHz φάσμα σε 2.3GHz μπάντα για υπηρεσίες ασύρματων επικοινωνιών (WCS)

Σεπτέμβριος 1997: Η American Telecasting (που αποκτήθηκε αργότερα από την Sprint) αναγγέλλει τις υπηρεσίες ασύρματης πρόσβασης Διαδικτύου στη ζώνη MMDS που προσφέρει 750kbps downstream με τηλεφωνικό dial-up modem

Σεπτέμβριος 1998: Η FCC χαλαρώνει τους κανόνες για την MMDS (πολυδιαυλικές πολυσημειακές υπηρεσίες διανομής-multichannel multipoint distribution services) ζώνη για να επιτρέψει τις διπλής κατεύθυνσης επικοινωνίες

Απρίλιος 1999: Η MCI και η Sprint αποκτούν διάφορους ασύρματους καλωδιακούς χειριστές-operators για να πάρουν πρόσβαση στο MMDS φάσμα

Ιούλιος 1999: Πρώτη συνεδρίαση της ομάδας εργασίας του IEEE 802.16 group.

Μάρτιος 2000: Η AT&T κάνει την έναρξη της πρώτης εμπορικής σταθερής μεγάλης ταχύτητας ασύρματης υπηρεσίας μετά από χρόνια δοκιμής

Μάιος 2000: Η Sprint προωθεί την πρώτη επέκταση του MMDS στο Phoenix, Αριζόνα, χρησιμοποιώντας την πρώτη γενιά LOS τεχνολογίας

Ιούνιος 2001: Καθιερώνεται το WiMAX φόρουμ

Οκτώβριος 2001: Η Sprint σταματά τις υλοποιήσεις του MMDS

Δεκέμβριος 2001: Η AT&T διακόπτει τις σταθερές ασύρματες υπηρεσίες

Δεκέμβριος 2001: Τα IEEE 802.16 πρότυπα ολοκληρώθηκαν για > 11GHz.

Φεβρουάριος 2002: Η Κορέα διαθέτει φάσμα στη ζώνη 2.3GHz για την ασύρματη ευρεία ζώνη (WiBro)

Ιανουάριος 2003: Το IEEE 802.16a πρότυπο ολοκληρώνεται

Ιούνιος 2004 : Το IEEE 802.16-2004 standard ολοκληρώθηκε και εγκρίθηκε

Σεπτέμβριος 2004: Η Intel αρχίζει δοκιμάζει το πρώτο WiMAX chipset, το αποκαλούμενο Rosedale

Δεκέμβριος 2005: Το IEEE 802.16e πρότυπο ολοκληρώθηκε και εγκρίθηκε

Ιανουάριος 2006: Το πρώτο επικυρωμένο προϊόν του WiMAX φόρουμ που αναγγέλλεται για σταθερές εφαρμογές

Ιούνιος 2006: Οι εμπορικές υπηρεσίες WiBro λανσαρίστηκαν στην Κορέα

August 2006: Η Sprint Nextel αναγγέλλει τα σχέδια για να υλοποιήσει το κινητό WiMAX στις Ηνωμένες Πολιτείες

Σεπτέμβριος 2009: Η 4G παγκόσμια διάσκεψη και EXPO του 2009 στο Σικάγο.

Σεπτέμβριος 2009: Η Motorola WiMAX βγάζει στην αγορά το wi4 portfolio WiMAX στα 3.5 GHz (802.16e)

Δεκάδες WiMAX προϊόντα έχουν βγει στην αγορά τον τελευταίο χρόνο και είναι άκρως επιτυχημένα

1.3 Το WiMAX και άλλες ευρυζωνικές ασύρματες τεχνολογίες

Το WiMAX δεν είναι η μόνη λύση για την παροχή των ευρυζωνικών ασύρματων υπηρεσιών. Διάφορες ιδιόκτητες λύσεις, ιδιαίτερα για τις σταθερές εφαρμογές, είναι ήδη στην αγορά. Μερικές ιδιόκτητες λύσεις, όπως η τεχνολογία i-Burst από την ArrayComm και το Flash-OFDM από την Flarion επίσης υποστηρίζουν τις κινητές (mobile) εφαρμογές.

Εκτός από τις ιδιόκτητες λύσεις, υπάρχουν βασισμένες σε πρότυπα εναλλακτικές λύσεις που τουλάχιστον μερικώς επικαλύπτονται με WiMAX, ιδιαίτερα για τις φορητές και κινητές εφαρμογές. Βραχυπρόθεσμα, η σημαντικότερη αυτών των εναλλακτικών λύσεων είναι τα κυψελοειδή συστήματα 3^{ης} γενιάς και τα IEEE 802.11 συστήματα Wi-Fi.

Σε αυτό το σημείο, συγκρίνουμε και αντιπαραβάλλουμε τις διάφορες standard-based ευρυζωνικές ασύρματες τεχνολογίες και δίνουμε έμφαση στις διαφορετικές πτυχές του WiMAX.

Στον παρακάτω πίνακα 1.1 βλέπουμε μια σύγκριση του WiMAX με άλλες Ασύρματες Ευρυζωνικές τεχνολογίες.

Table 1.1 Σύγκριση του WiMAX με άλλες Ασύρματες Ευρυζωνικές τεχνολογίες [5]

Parameter	Fixed WiMAX	Mobile WiMAX	HSPA	1x EV-DO Rev A	Wi-Fi
Standards	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005	3GPP Release 6	3GPP2	IEEE 802.11a/g/n
Peak down link data rate	9.4Mbps in 3.5MHz with 3:1 DL-to-UL ratio TDD; 6.1Mbps with 1:1	46Mbps ^a with 3:1 DL-to-UL ratio TDD; 32Mbps with 1:1	14.4Mbps using all 15 codes; 7.2Mbps with 10 codes	3.1Mbps; Rev. B will support 4.9Mbps	54 Mbps ^b shared using 802.11a/g; more than 100Mbps peak layer 2 throughput using 802.11n
Peak uplink data rate	3.3Mbps in 3.5MHz using 3:1 DL-to-UL ratio; 6.5Mbps with 1:1	7Mbps in 10MHz using 3:1 DL-to-UL ratio; 4Mbps using 1:1	1.4Mbps initially; 5.8Mbps later	1.8Mbps	
Bandwidth	3.5MHz and 7MHz in 3.5GHz band; 10MHz in 5.8GHz band	3.5MHz, 7MHz, 5MHz, 10MHz, and 8.75MHz initially	5MHz	1.25MHz	20MHz for 802.11a/g; 20/40MHz for 802.11n
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM	QPSK, 8 PSK, 16 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Multiplexing	TDM	TDM/OFDMA	TDM/CDMA	TDM/CDMA	CSMA
Duplexing	TDD, FDD	TDD initially	FDD	FDD	TDD
Frequency	3.5GHz and 5.8GHz initially	2.3GHz, 2.5GHz, and 3.5GHz initially	800/900/1,800/1,900/2,100MHz	800/900/1,800/1,900MHz	2.4GHz, 5GHz
Coverage (typical)	3–5 miles	< 2 miles	1–3 miles	1–3 miles	< 100 ft indoors; < 1000 ft outdoors
Mobility	Not applicable	Mid	High	High	Low

Στην εικόνα-διάγραμμα 1.1 βλέπουμε την αναλογία μεταξύ της ταχύτητας και της κίνησης στο WiMAX και σε άλλες τεχνολογίες

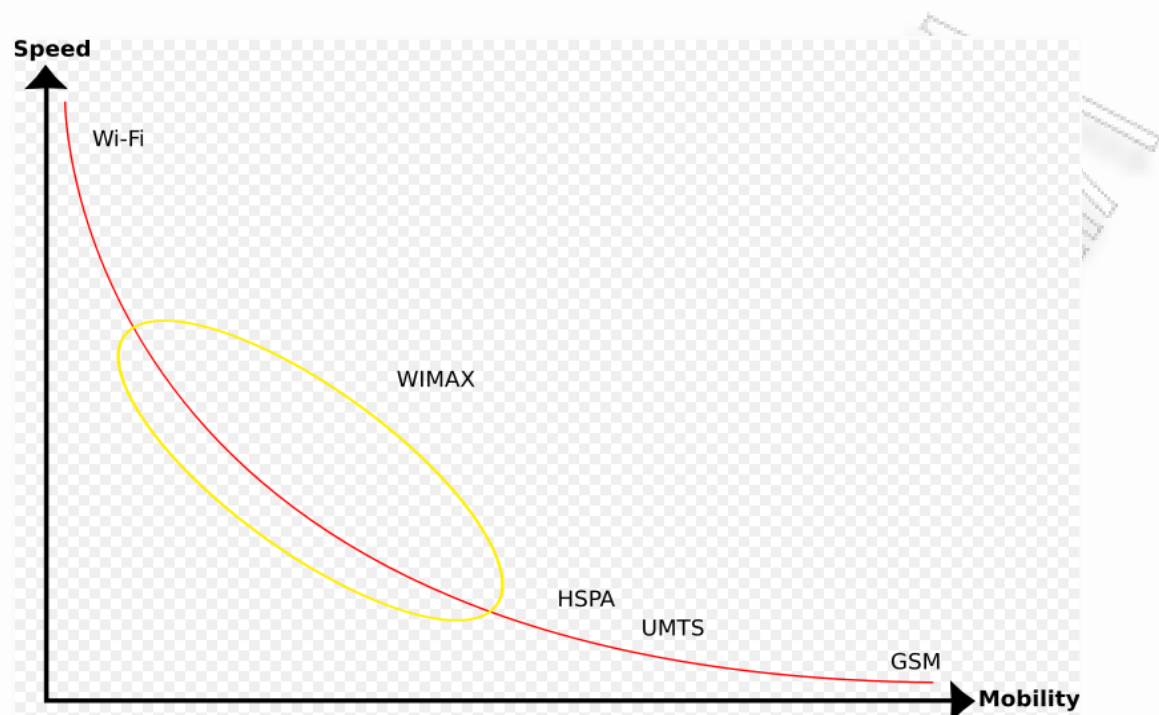


Figure 1.1 Speed vs Mobility of wireless systems: Wi-Fi, HSPA, UMTS, GSM, WiMax

1.4 Άλλα συγκρίσιμα συστήματα

Μέχρι τώρα, έχουμε περιορίσει τη σύγκριση μας WiMAX με τις 3G και τις Wi-Fi τεχνολογίες. Δύο άλλες λύσεις προτύπων θα μπορούσαν να προκύψουν στο μέλλον με κάποια επικάλυψη από WiMAX: τα IEEE 802.20 και IEEE 802.22 πρότυπα που βρίσκονται υπό ανάπτυξη. Τα IEEE 802.20 πρότυπα στοχεύουν στις ευρυζωνικές λύσεις συγκεκριμένα για την κινητικότητα των οχημάτων μέχρι τα 250 kmph.

Αυτά τα πρότυπα είναι πιθανό να καθοριστούν για τη λειτουργία κάτω από 3.5GHz για να μεταδώσουν μέγιστη ροή δεδομένων στους χρήστες από 4Mbps και 1.2Mbps στο downlink και uplink, αντίστοιχα. Αυτή η προσπάθεια ανάπτυξης των standards άρχισε μερικά έτη πριν αλλά δεν έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο, εξ αιτίας της έλλειψης συναίνεσης ως προς τεχνολογία και σε ζητήματα που αφορούν τη διαδικασία τυποποίησης.

Τα IEEE 802.22 πρότυπα στοχεύουν συγκεκριμένα να φέρουν την ευρυζωνική πρόσβαση σε αγροτικές και απομονωμένες περιοχές μέσω των ασύρματων δικτύων περιφερειακής περιοχής (**WRAN**). Ο βασικός στόχος του 802.22 είναι να καθορίσει ένα **cognitive radio** που μπορεί να εκμεταλλευτεί τα αχρησιμοποίητα τηλεοπτικά κανάλια που υπάρχουν σε αυτές τις αραιοκατοικημένες περιοχές.

Η λειτουργία στις VHF και τις χαμηλές UHF ζώνες παρέχει ευνοϊκούς όρους διάδοσης που μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη κάλυψη. Αυτή η προσπάθεια ανάπτυξης παρακινείται από το γεγονός ότι η **FCC (Federal Communications Commission)** έχει επιτρέψει τη χρήση αυτού του φάσματος από τον Νοέμβριο του 2008 χωρίς άδειες εφ' όσον χρησιμοποιείται μια cognitive radio λύση που προσδιορίζει και λειτουργεί στις αχρησιμοποίητες μερίδες του φάσματος. Το IEEE 802.22 είναι σε προχωρημένα στάδια ανάπτυξης και αναμένεται να παρέχει σταθερές ευρυζωνικές εφαρμογές πάνω από μεγαλύτερες περιοχές κάλυψης με χαμηλές πυκνότητες χρηστών

1.5 Τεχνικές προκλήσεις για το Broadband Wireless

Μέχρι τώρα, έχουν αναφερθεί η **ιστορία**, οι **εφαρμογές**, και οι **επιχειρησιακές προκλήσεις** του Broadband Wireless. Εξετάζουμε τώρα τις τεχνικές προκλήσεις της ανάπτυξης και της υλοποίησης ενός επιτυχούς ευρυζωνικού ασύρματου συστήματος.

Για να εισπράξουν ευρεία αποδοχή και επιτυχία, τα ευρυζωνικά ασύρματα συστήματα πρέπει να μεταδώσουν πολλαπλά megabits ανά δευτερόλεπτο-Throughput σε end χρήστες, με γερό QoS που να υποστηρίζει ποικίλες υπηρεσίες, όπως φωνή, δεδομένα, και πολυμέσα. Λαμβάνοντας υπόψη την αξιοπρόσεκτη επιτυχία του Διαδικτύου και τη μεγάλη ποικιλία των αναδύμενων IP-based εφαρμογών, είναι κρίσιμο ότι τα ευρυζωνικά ασύρματα συστήματα χτίζονται για να υποστηρίξουν αυτές τις IP-based εφαρμογές και υπηρεσίες αποτελεσματικά.

Τα σταθερά (fixed) ευρυζωνικά συστήματα πρέπει ιδανικά, να παραδίδουν αυτές τις υπηρεσίες σε εσωτερικές (indoor) τοποθεσίες, χρησιμοποιώντας τους subscriber stations που μπορούν εύκολα να αυτοεγκατασταθούν από τον τελικό χρήστη (enduser). Τα κινητά ευρυζωνικά συστήματα πρέπει να παραδώσουν τις ευρυζωνικές εφαρμογές στα lap-top και τις φορητές συσκευές ενώ κινούνται με υψηλές ταχύτητες.

Οι πελάτες απαιτούν να γίνει όλο αυτό χωρίς θυσία της ποιότητας, της αξιοπιστίας, ή της ασφάλειας. Για το WiMAX για να είναι επιτυχές, πρέπει να λειτουργεί με σημαντικά καλύτερη απόδοση από τις τρέχουσες εναλλακτικές λύσεις, όπως το 3G και το Wi-Fi. Αυτός είναι πράγματι ένας υψηλός πήχης.

Η κάλυψη αυτών των αυστηρών απαιτήσεων υπηρεσίας σε συνδυασμό με διάφορους περιορισμούς που επιβάλλονται από το air interface κάνει το σχεδιασμό των συστημάτων του broadband wireless μια εξαιρετικά απαιτητική τεχνική πρόκληση.

1.6 Μερικές από τις βασικές τεχνικές προκλήσεις σχεδιασμού

- Ανάπτυξη αξιόπιστων σχημάτων μετάδοσης και λήψης για να ωθήσουν τα ευρυζωνικά δεδομένα μέσω ενός εχθρικού-κακού ασύρματου καναλιού
- Επίτευξη υψηλής φασματικής απόδοσης και κάλυψης, προκειμένου να παραδοθούν οι ευρυζωνικές υπηρεσίες σε έναν μεγάλο αριθμό χρηστών, που χρησιμοποιούν περιορισμένο διαθέσιμο φάσμα
- Υποστηρικτικές, αποδοτικές και πολυσύνθετες υπηρεσίες με ποικίλες **QoS** (*throughput, delay, jitter* etc.) απαιτήσεις.
- Υποστήριξη της κινητικότητας μέσω του *seamless* (χωρίς να γίνεται αισθητό) *handover* και *roaming*
- Επίτευξη χαμηλής κατανάλωσης ισχύος για την υποστήριξη φορητών συσκευών που χρησιμοποιούν μπαταρία
- Παροχή «γερής»-robust ασφάλειας
- Προσαρμογή των IP-based πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικής για το ασύρματο περιβάλλον ώστε να επιτύχει χαμηλότερο κόστος και σύγκλιση με τα ενσύρματα δίκτυα

Όπως γίνεται συχνά στην εφαρμοσμένη μηχανική, λύσεις που είναι αποτελεσματικές σε μια πρόκληση μπορούν να επιδεινώσουν μια άλλη.

Πρέπει να πραγματοποιούνται αποτελεσματικά trade-offs στο σχεδιασμό ώστε να βρεθεί η σωστή ισορροπία μεταξύ των ανταγωνιστικών απαιτήσεων όπως για παράδειγμα, μεταξύ της κάλυψης και της ικανότητας (coverage και capacity)

Στον πίνακα 1.2 παρακάτω γίνεται μια σύνοψη των παραπάνω τεχνικών προκλήσεων που έχει να υπερκεράσει το Broadband Wireless και τις ενδεικτικές λύσεις σε κάθε μία από τις προκλήσεις αυτές.

Table 1.2 Βασικές τεχνικές προκλήσεις για το Broadband Wireless [5].

Service Requirements	Technical Challenge	Potential Solution
Non-line-of-sight coverage	Mitigation of multipath fading and interference	Diversity, channel coding, etc.
High data rate and capacity	Achieving high spectral efficiency	Cellular architecture, adaptive modulation and coding, spatial multiplexing, etc.
	Overcoming intersymbol interference	OFDM, equalization, etc.
	Interference mitigation	Adaptive antennas, sectorization, dynamic channel allocation, CDMA, etc.
Quality of service	Supporting voice, data, video, etc. on a single access network	Complex MAC layer
	Radio resource management	Efficient scheduling algorithms
	End-to-end quality of service	IP QoS: DiffServ, IntServ, MPLS, etc.
Mobility	Ability to be reached regardless of location	Roaming database, location update, paging
	Session continuity while moving from the coverage area of one base station to another	Seamless handover
	Session continuity across diverse networks	IP-based mobility: mobile IP
Portability	Reduce battery power consumption on portable subscriber terminals	Power-efficient modulation; sleep, idle modes and fast switching between modes; low-power circuit; efficient signal-processing algorithms
Security	Protect privacy and integrity of user data	Encryption
	Prevent unauthorized access to network	Authentication and access control
Low cost	Provide efficient and reliable communication using IP architecture and protocols	Adaptation of IP-based protocols for wireless; adapt layer 2 protocols for IP

1.7 Συμπεράσματα

- Το *Broadband wireless* είναι μια σημαντικά αυξανόμενη αγορά για τη τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία.
- Το *Broadband wireless* έχει διαγράψει μια πορεία, και η εμφάνιση των προτύπων WiMAX προσφέρει μια σημαντική νέα ευκαιρία για την επιτυχία.
- Τα *Broadband wireless* συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραδώσουν ποικίλες εφαρμογές και υπηρεσίες και σε σταθερούς και σε κινητούς χρήστες.
- Το WiMAX θα μπορούσε ενδεχομένως να υλοποιηθεί σε ποικίλες ζώνες φάσματος: 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz, και 5.8GHz.
- Το WiMAX αντιμετωπίζει διάφορες ανταγωνιστικές προκλήσεις και από τις *fixed* και από τις *mobile broadband 3^{ης}* γενιάς εναλλακτικές τεχνολογίες.
- Οι απαιτήσεις των υπηρεσιών και οι πρόσθετοι περιορισμοί της ασύρματης ευρείας ζώνης κάνουν το τεχνικό σχεδιασμό του *broadband wireless* αρκετά προκλητικό.

Κεφάλαιο 2^ο

WiMAX

2.1 Το υπόβαθρο του IEEE 802.16 και του WiMAX

Το *WiMAX* είναι βασισμένο στα standards των ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων (*WMAN*) που αναπτύσσονται από την ομάδα *IEEE 802.16* και που υιοθετούνται και από την *IEEE* και από την ομάδα *ETSI HIPERMAN*.

Η ομάδα *IEEE 802.16* διαμορφώθηκε το *1998* για να αναπτύξει ένα air-interface πρότυπο για την ασύρματη ευρεία ζώνη. Η αρχική εστίαση της ομάδας ήταν η ανάπτυξη ενός LOS-based point-to-multipoint ασύρματου ευρυζωνικού συστήματος για λειτουργία στη ζώνη 10GHz-66GHz.

Το αρχικό πρότυπο 802.16, που ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 βασίστηκε σε ένα single-carrier φυσικό (PHY) στρώμα με ένα burst-time division (TDM) MAC στρώμα. Πολλά από τα θέματα σχετικά με το MAC στρώμα προσαρμόστηκαν για το wireless από το δημοφιλές πρότυπο του καλωδιακού μόντεμ.

Παρακάτω στην εικόνα 2.1 βλέπουμε το πώς είναι και από τι αποτελείται ένα δίκτυο WiMAX.

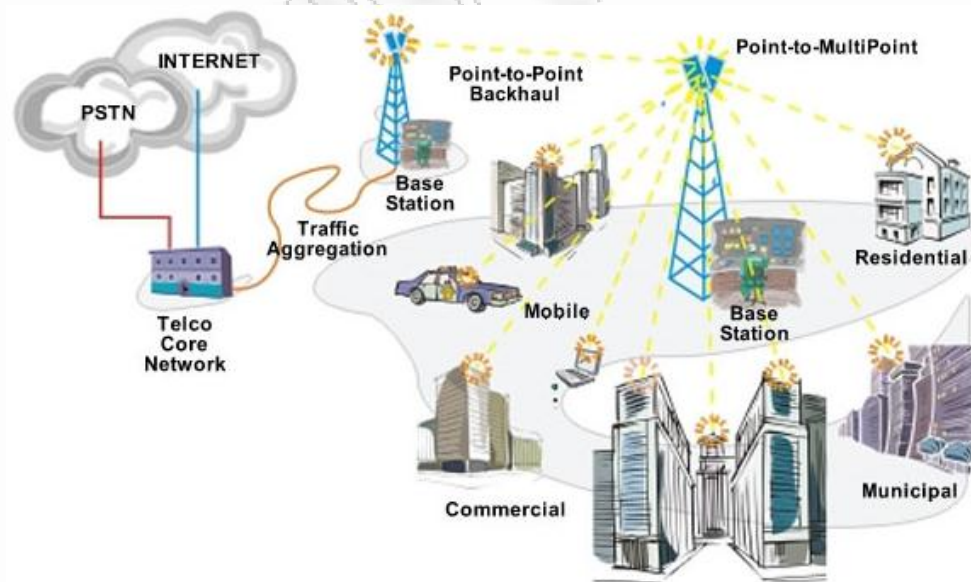


Figure 2.1 Αναπαράσταση ενός δικτύου WiMAX

Η ομάδα IEEE 802.16 παρήγαγε στη συνέχεια το 802.16a, μια τροποποίηση στο

πρότυπο, για να περιλάβει τις NLOS εφαρμογές στη ζώνη 2GHz-11GHz, χρησιμοποιώντας ένα orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)-based φυσικό στρώμα.

Προσθήκες στο MAC στρώμα, όπως η υποστήριξη για την orthogonal frequency division multiple access (OFDMA), συμπεριλήφθηκαν επίσης.

Οι περαιτέρω αναθεωρήσεις οδήγησαν σε νέα πρότυπα το 2004, στο αποκαλούμενο IEEE 802.16-2004, το οποίο αντικατέστησε όλες τις προγενέστερες εκδόσεις και αποτέλεσε τη βάση για την πρώτη λύση WiMAX. Αυτές οι πρώτες λύσεις WiMAX βασισμένες στο IEEE 802.16-2004 στόχευαν τις σταθερές εφαρμογές, το οποίο καλείται και ως σταθερό (fixed) WiMAX.

Τον Δεκέμβρη του 2005, η ομάδα IEEE ολοκλήρωσε και ενέκρινε το IEEE 802.16e-2005, μια τροποποίηση του IEEE 802.16-2004 προτύπου στο οποίο πρόσθεσαν την υποστήριξη της κινητικότητας. Η IEEE 802.16e-2005 αποτελεί τη βάση της λύσης του WiMAX για τις νομαδικές και τις κινητές εφαρμογές το οποίο καλείται και ως κινητό (mobile) WiMAX.

2.2 Τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου 802.16

Ο πίνακας 2.1 συγκεντρώνει τα βασικά χαρακτηριστικά των προτύπων 802.16, 802.16-2004 και 802.16e-2005 και παρακάτω γίνεται μια πιο αναλυτική περιγραφή τους.

Table 2.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου 802.16, 802.16-2004 και 802.16e-2005 [5]

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Status	Completed December 2001	Completed June 2004	Completed December 2005
Frequency band	10GHz-66GHz	2GHz-11GHz	2GHz-11GHz for fixed; 2GHz-6GHz for mobile applications
Application	Fixed LOS	Fixed NLOS	Fixed and mobile NLOS
MAC architecture	Point-to-multipoint, mesh	Point-to-multipoint, mesh	Point-to-multipoint, mesh
Transmission scheme	Single carrier only	Single carrier, 256 OFDM or 2,048 OFDM	Single carrier, 256 OFDM or scalable OFDM with 128, 512, 1,024, or 2,048 subcarriers
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Gross data rate	32Mbps-134.4Mbps	1Mbps-75Mbps	1 Mbps-75Mbps
Multiplexing	Burst TDM/TDMA	Burst TDM/TDMA/ OFDMA	Burst TDM/TDMA/ OFDMA
Duplexing	TDD and FDD	TDD and FDD	TDD and FDD
Channel bandwidths	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Air-interface designation	WirelessMAN-SC	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHUMAN ^a	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHUMAN ^a
WiMAX implementation	None	256 - OFDM as Fixed WiMAX	Scalable OFDMA as Mobile WiMAX

Αυτά τα πρότυπα προσφέρουν μια ποικιλία από εντελώς διαφορετικές επιλογές σχεδιασμού.

Παραδείγματα χάριν, υπάρχουν πολλαπλές επιλογές φυσικού στρώματος: ένα single-carrier-based φυσικό στρώμα το οποίο ονομάζεται Wireless-MAN-SCa, ένα OFDM-based φυσικό στρώμα αποκαλούμενο Wireless-MAN-OFDM, και ένα OFDMA-based φυσικό στρώμα αποκαλούμενο Wireless-OFDMA. Ομοίως, υπάρχουν πολλαπλές επιλογές για την αρχιτεκτονική της MAC, τη ζώνη συχνότητας λειτουργίας, τη διπλεξία-duplexing κ.λπ.

Αυτά τα πρότυπα αναπτύχθηκαν για να ταιριάξουν ποικίλες εφαρμογές και σενάρια υλοποίησης και επέκτασης, και ως εκ τούτου να προσφέρουν έναν μεγάλο αριθμό επιλογών σχεδιασμού για τους υπεύθυνους για την ανάπτυξη συστημάτων.

Στην πραγματικότητα, κάποιος θα μπορούσε να πει ότι το IEEE 802.16 είναι μια

συλλογή προτύπων, όχι ένα ενιαίο διαλειτουργικό πρότυπο. Για πρακτικούς λόγους της διαλειτουργικότητας, το πεδίο των προτύπων πρέπει να μειωθεί, και ένα μικρότερο σύνολο επιλογών σχεδιασμού πρέπει να καθοριστεί για την εφαρμογή

2.3 Σταθερό και Κινητό WiMAX (IEEE 802.16-2004 ή IEEE 802.16e-2005)

Το WiMAX φόρουμ (είναι μια κατευθυνόμενη από τη βιομηχανία, μη-κερδοσκοπική οργάνωση διαμορφωμένη για να πιστοποιήσει και να προωθήσει τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα των ευρυζωνικών ασύρματων προϊόντων που βασίζονται στα εναρμονισμένα IEEE 802.16/ETSI πρότυπα και HiperMAN) καθορίζει ένα περιορισμένο αριθμό από προφίλ συστήματος (**system profiles**) και προφίλ πιστοποίησης (**certification profiles**). Ένα προφίλ συστήματος (system profile) καθορίζει το υποσύνολο των υποχρεωτικών και προαιρετικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του φυσικού και του MAC στρώματος που επιλέγονται από το WiMAX φόρουμ από τα IEEE 802.16-2004 ή IEEE 802.16e-2005 πρότυπα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η υποχρεωτική και προαιρετική κατάσταση ενός ιδιαίτερου χαρακτηριστικού γνωρίσματος μέσα σε ένα system profile του WiMAX μπορεί να είναι διαφορετική από αυτό που είναι στα αρχικά IEEE πρότυπα.

Αυτήν την περίοδο, το WiMAX φόρουμ έχει δύο διαφορετικά system profiles: το ένα βασισμένο στο IEEE 802.16-2004, OFDM PHY, το οποίο καλείται ως το fixed system profile και το άλλο βασισμένο στο IEEE 802.16e-2005 εξελίξιμο-βαθμωτό (scalable) OFDMA PHY, το οποίο καλείται ως το mobility system profile

Ένα προφίλ πιστοποίησης (certification profile) ορίζεται ως ένα ιδιαίτερο στιγμιότυπο ενός προφίλ συστήματος (system profile) όπου η συχνότητα λειτουργίας, το εύρος ζώνης καναλιών, και η διπλεξία-duplexing επίσης διευκρινίζονται. Ο εξοπλισμός του WiMAX πιστοποιείται για τη διαλειτουργικότητα ενάντια σε ένα ιδιαίτερο προφίλ πιστοποίησης.

Το WiMAX φόρουμ έχει καθορίσει ως εδώ **πέντε σταθερά (fixed)** προφίλ πιστοποίησης και **δεκατέσσερα κινητά (mobility)** προφίλ πιστοποίησης που παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Υπάρχουν δύο σταθερά WiMAX προφίλ ανάλογα με τον εξοπλισμό που έχει πιστοποιηθεί. Αυτά είναι συστήματα 3.5GHz που λειτουργούν σ' ένα κανάλι 3.5MHz, που χρησιμοποιεί το σταθερό προφίλ συστήματος βασισμένο στο IEEE 802.16-2004 φυσικό στρώμα OFDM με ένα point-to-multipoint MAC. Ένα από τα προφίλ χρησιμοποιεί (**FDD**), και το άλλο (**TDD**).

Table 2.2 Τα αρχικά προφίλ πιστοποίησης για το σταθερό και το κινητό WiMAX [5].

Fixed and Mobile WiMAX Initial Certification Profiles					
Band Index	Frequency Band	Channel Bandwidth	OFDM FFT Size	Duplexing	Notes
Fixed WiMAX Profiles					
1	3.5 GHz	3.5MHz	256	FDD	Products already certified
		3.5MHz	256	TDD	
		7MHz	256	FDD	
		7MHz	256	TDD	
2	5.8GHz	10MHz	256	TDD	
Mobile WiMAX Profiles					
1	2.3GHz–2.4GHz	5MHz	512	TDD	Both bandwidths must be supported by mobile station (MS)
		10MHz	1,024	TDD	
		8.75MHz	1,024	TDD	
2	2.305GHz–2.320GHz, 2.345GHz–2.360GHz	3.5MHz	512	TDD	
		5MHz	512	TDD	
		10MHz	1,024	TDD	
3	2.496GHz–2.69GHz	5MHz	512	TDD	Both bandwidths must be supported by mobile station (MS)
		10MHz	1,024	TDD	
4	3.3GHz–3.4GHz	5MHz	512	TDD	
		7MHz	1,024	TDD	
		10MHz	1,024	TDD	
5	3.4GHz–3.8GHz, 3.4GHz–3.6GHz, 3.6GHz–3.8GHz	5MHz	512	TDD	
		7MHz	1,024	TDD	
		10MHz	1,024	TDD	

Με την ολοκλήρωση του IEEE 802.16e-2005 προτύπου, το ενδιαφέρον μέσα στην WiMAX ομάδα έχει μετατοπιστεί αισθητά προς την ανάπτυξη και την πιστοποίηση των κινητών (mobility) προφίλ συστήματος WiMAX βασισμένων σε αυτά τα νεώτερα πρότυπα.

Όλα τα κινητά προφίλ WiMAX χρησιμοποιούν εξελίξιμο (scalable) OFDMA στο φυσικό στρώμα. Τουλάχιστον αρχικά, όλα τα κινητά προφίλ θα χρησιμοποιήσουν το point-to-multipoint MAC. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι όλα τα τρέχοντα κινητά προφίλ πιστοποίησης είναι TDD-based

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι IEEE 802.16e-2004 και IEEE 802.16-2005 προδιαγραφές προτύπων περιορίζονται στις πτυχές του ελέγχου και των δεδομένων του air-interface. Μερικές πτυχές της διαχείρισης δικτύου καθορίζονται στο IEEE 802.16g.

Για ένα πλήρες end-to-end σύστημα, ιδιαίτερα στα πλαίσια της κίνησης, διάφορες

πρόσθετες end-to-end πτυχές διαχείρισης των υπηρεσιών πρέπει να διευκρινιστούν. Αυτός ο στόχος εκτελείται από την ομάδα εργασίας δικτύων του WiMAX (NWG) φόρουμ. Το WiMAX NWG αναπτύσσει μια end-to-end δικτυακή αρχιτεκτονική και συμπληρώνει μερικά από τα κομμάτια που λείπουν.

2.4 Σύνοψη

Το IEEE 802.16e-2005 βελτιώνει το IEEE 802.16-2004 στα εξής:

- ✓ Προσθέτοντας υποστήριξη για mobility (soft και hard handover μεταξύ των σταθμών βάσεις). Αυτός δείχνει πως είναι ένας από τους πιο σημαντικούς σκοπούς και επιδιώξεις του 802.16e-2005 και είναι εν πολλύς η μεγάλη βάση του 'Mobile WiMAX.
- ✓ Έγινε πιο εξελίξιμος-βαθμωτός (scalable) ο γρήγορος μετασχηματισμός Fourier Fast Fourier transform (FFT) στο εύρος ζώνης των καναλιών προκειμένου να κρατηθεί το διάστημα των carriers σταθερό στα διαφορετικά εύρη ζώνης καναλιών (χαρακτηριστικά 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz ή 20 MHz). Το σταθερό διάστημα των carriers οδηγεί σε μια υψηλότερη απόδοση φάσματος στα ευρέα-wide κανάλια, και μια μείωση δαπανών στα στενά-narrow κανάλια. Επίσης γνωστό ως εξελικτικό-Scalable OFDMA (SOFDMA). Άλλες ζώνες μη πολλαπλάσιες των 1.25 MHz καθορίζονται στα πρότυπα, αλλά λόγω των επιτρεπόμενων αριθμών carriers FFT που είναι μόνο 128, 512, 1024 και 2048, άλλες ζώνες συχνότητας δεν θα έχουν ακριβώς το ίδιο διάστημα μεταξύ των carriers, το οποίο μπορεί να μην είναι το βέλτιστο για τις εφαρμογές.
- ✓ Προηγμένα σχήματα διαφορησιμότητας της κεραίας antenna diversity , και ένα υβριδικό αυτόματο επανάληψης-αιτήματος σχήμα hybrid automatic repeat-request (HARQ)
- ✓ Προσαρμοστικά Συστήματα Κεραίων Adaptive Antenna Systems (AAS) και τεχνολογία MIMO
- ✓ Πυκνότερο sub--channelization, και με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η εσωτερική διείσδυση
- ✓ Εισαγωγή του Turbo Coding και του Low-Density ελέγχου ισότητας Low-Density Parity Check (LDPC)
- ✓ Εισάγοντας το download sub--channelization, το οποίο επιτρέπει στους administrators να ανταλλάσουν κάλυψη(coverage) με ικανότητα(capacity) ή αντίστροφα

- ✓ Αλγόριθμος Fast Fourier μετασχηματισμού
- ✓ Προσθήκη μιας πρόσθετης QoS κλάσης για τις εφαρμογές VoIP (ErtPS)

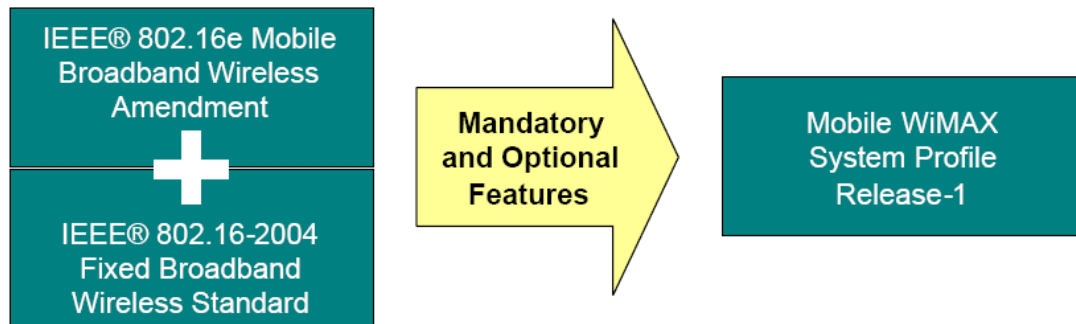


Figure 2.2 Κινητό-Mobile WiMAX [12].

2.5 Εμφανή χαρακτηριστικά γνωρίσματα του WiMAX

Το WiMAX είναι μια ασύρματη ευρυζωνική λύση που προσφέρει ένα πλούσιο σύνολο χαρακτηριστικών γνωρισμάτων με πολλή ευελιξία από την άποψη των επιλογών επέκτασης και των πιθανών προσφορών υπηρεσιών. Μερικά από τα εμφανέστερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που αξίζουν τον τονισμό είναι τα ακόλουθα:

2.5.1 OFDM-based φυσικό στρώμα:

Το φυσικό στρώμα του WiMAX (PHY) είναι βασισμένο στο OFDM, ένα σχήμα που προσφέρει καλή αντίσταση στις πολλαπλές διαδρομές του σήματος (multipath), και επιτρέπει στο WiMAX να λειτουργήσει με NLOS όρους. Το OFDM είναι τώρα ευρέως αναγνωρίσιμο ως μέθοδος επιλογής για τη μετρίαση των πολλαπλών διαδρομών για το broadband wireless.

2.5.2 Πολύ υψηλά μέγιστα (peak) data rates:

Το WiMAX είναι σε θέση να υποστηρίξει πολύ υψηλά μέγιστα data rates. Στην πραγματικότητα, το μέγιστο PHY data rate μπορεί να φτάσει τα 74Mbps κατά τη λειτουργία χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα των 20MHz. Πιο χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας ένα φάσμα 10MHz που λειτουργεί χρησιμοποιώντας το σχήμα TDD με μια αναλογία downlink--uplink 3:1, το μέγιστο PHY data rate είναι 25Mbps και 6.7Mbps για το downlink και uplink, αντίστοιχα.

Αυτά τα μέγιστα PHY data rates επιτυγχάνονται κατά τη χρησιμοποίηση της διαμόρφωσης 64 QAM με 5/6 κωδικοποίηση διόρθωση-λαθών. Υπό πολύ καλές συνθήκες σήματος, ακόμα υψηλότερα peak data rates μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές και με χωρική πολυπλεξία

2.5.3 Υποστήριξη για προηγμένες τεχνικές κεραιών:

Η χρήση των multiple-input multiple-output τεχνικών κεραιών (MIMO) όπως, beamforming, space-time coding, and spatial multiplexing μαζί με ευέλικτα σχήματα sub-channelization, την προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση επιτρέπουν την κινητή (mobile) WiMAX τεχνολογία να υποστηρίξει downlink data rates (DL) μέχρι 128 Mbps ανά τομέα και peak uplink (UL) data rates μέχρι 56 Mbps ανά τομέα στο εύρος ζώνης 20 MHz (DL 2x2 MIMO, UL 1x2 εικονικό MIMO).

2.5.4 Εξελικτική-βαθμωτή υποστήριξη εύρους ζώνης και data rate:

Το WiMAX έχει μια εξελικτική-βαθμωτή αρχιτεκτονική φυσικού στρώματος που επιτρέπει στα data rates να εξελίσσονται εύκολα με διαθέσιμο εύρος ζώνης. Αυτή η εξελιξιμότητα υποστηρίζεται από το OFDMA, όπου το FFT (fast fourier transform) μέγεθος μπορεί να βαθμοποιηθεί με βάση το διαθέσιμο εύρος ζώνης καναλιών.

Παραδείγματος χάριν, ένα σύστημα WiMAX μπορεί να χρησιμοποιήσει 128-, 512, 1.048 και 2.048 μπιτ FFTs σε σχέση με το εάν το εύρος ζώνης είναι 1.25MHz, 5MHz, 10MHz ή 20MHz, αντίστοιχα. Αυτό το scaling μπορεί να γίνει δυναμικά για να υποστηρίξει το roaming χρηστών σε διαφορετικά δίκτυα που μπορούν να έχουν διαφορετικές κατανομές εύρους ζώνης

2.5.5 Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive modulation and coding) (AMC):

Το WiMAX υποστηρίζει διάφορα σχήματα διαμόρφωσης και διόρθωσης λάθους κωδικοποίησης (FEC) και επιτρέπει στο σχήμα να αλλαχτεί σε μια ανά χρήστη και ανά πλαίσιο βάση, σε σχέση με τις συνθήκες του καναλιού. Το AMC είναι ένας αποτελεσματικός μηχανισμός για να μεγιστοποιήσει το throughput σε ένα time-varying (ποικίλου χρόνου) κανάλι.

Ο αλγόριθμος προσαρμογής χαρακτηριστικά απαιτεί τη χρήση του υψηλότερου σχήματος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που μπορεί να υποστηριχθεί από τη σήματος προς θόρυβο και παρεμβολής αναλογία στο δέκτη έτσι ώστε σε κάθε χρήστη να παρέχεται το υψηλότερο πιθανό data rate που μπορεί να υποστηριχθεί από τις αντίστοιχες συνδέσεις τους.

2.5.6 Αναμεταδόσεις στο link layer:

Για συνδέσεις που απαιτούν ενισχυμένη αξιοπιστία, το WiMAX υποστηρίζει αυτόματα αιτήματα αναμετάδοσης (**automatic retransmission requests**) (ARQ) στο link layer. Οι ARQ-συνδέσεις απαιτούν κάθε διαβιβασθέν πακέτο να αναγνωρίζεται (acknowledgement) από το δέκτη και τα μη αναγνωρισμένα πακέτα υποτίθεται ότι χάνονται και αναμεταδίδονται. Το WiMAX επίσης προαιρετικά υποστηρίζει το υβριδικό-ARQ, το οποίο είναι ένα αποτελεσματικό υβρίδιο μεταξύ FEC και ARQ

2.5.7 Υποστήριξη για TDD και FDD:

Τα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005 υποστηρίζουν και χρονική διπλεξία (time division duplexing) TDD και συχνотική (frequency division duplexing) FDD, καθώς επίσης και ένα ημιαμφίδρομο (half-duplex) FDD, το οποίο επιτρέπει μια χαμηλού κόστους εφαρμογή συστημάτων. Το TDD ευνοείται από μια πλειοψηφία εφαρμογών λόγω των πλεονεκτημάτων του:

- a. Ευελιξία στην επιλογή των αναλογιών του *uplink-to-downlink data rate*
- b. Δυνατότητα να εκμεταλεντεί την αμοιβαιότητα του καναλιού
- c. Δυνατότητα να εφαρμόσει σε μη-ζευγαρωμένο φάσμα, και
- d. Λιγότερο σύνθετο σχέδιο πομποδεκτών.

Όλα τα αρχικά WiMAX profiles είναι βασισμένα σε TDD, εκτός από δύο σταθερά WiMAX profiles στα 3.5GHz

2.5.8 Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA):

Το Κινητό (mobile) WiMAX χρησιμοποιεί OFDM ως τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, με την οποία διαφορετικοί χρήστες μπορούν να ανατεθούν σε διαφορετικά υποσύνολα των OFDM τόνων. Το OFDMA διευκολύνει την εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας συχνότητας και της πολλαπλών χρηστών ποικιλομορφίας για να βελτιώσει σημαντικά την ικανότητα (capacity) των συστημάτων.

2.5.9 Ευέλικτη και δυναμική κατανομή πόρων ανά χρήστη:

Η κατανομή των πόρων και στο uplink και στο downlink ελέγχεται από έναν scheduler στο σταθμό βάσης. Η ικανότητα μοιράζεται μεταξύ των πολλαπλών χρηστών κατά απαίτηση, χρησιμοποιώντας ένα burst TDM σχήμα. Κατά τη χρησιμοποίηση του OFDMA-PHY, η πολυπλεξία γίνεται πρόσθετα στη διάσταση της συχνότητας, με τη διάθεση διαφορετικών υποσυνόλων των OFDM carriers σε διαφορετικούς χρήστες.

Πόροι μπορούν να διατεθούν επίσης στο χωρικό πεδίο κατά την χρησιμοποίηση των προαιρετικών προηγμένων συστημάτων κεραιών (**advanced antenna systems**) (AAS). Το πρότυπο επιτρέπει στους πόρους του εύρους ζώνης να διατίθενται στο χρόνο, τη συχνότητα, και στο χώρο και έχει έναν ευέλικτο μηχανισμό για να μεταβιβάσει τις πληροφορίες της κατανομής των πόρων σε μια frame-by-frame βάση.

2.5.10 Υποστήριξη του Quality-of-service:

Η **θεμελιώδης** προϋπόθεση της αρχιτεκτονικής του ελέγχου του μέσου προσπέλασης (MAC) του IEEE 802.16 είναι το **QoS**.

Το MAC στρώμα του WiMAX έχει μια προσανατολισμένη προς τη σύνδεση αρχιτεκτονική που έχει ως σκοπό να υποστηρίξει ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών φωνής και πολυμέσων. Το σύστημα προσφέρει υποστήριξη για σταθερό bit rate, μεταβλητό bit rate, πραγματικού χρόνου, και μη-πραγματικού-χρόνου traffic flows, σε αντίθεση με το best-effort data traffic. Το MAC του WiMAX έχει ως σκοπό να υποστηρίξει έναν μεγάλο αριθμό χρηστών, με τις πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό, κάθε ένα με τις δικές του QoS απαιτήσεις.

Καθορίζει ροές υπηρεσιών που μπορούν να χαρτογραφηθούν σε σωστές granular-(κοκκώδεις) IP sessions ή πιο «χονδροειδών»-coarse διαφοροποιημένων-υπηρεσιών code points ώστε να επιτευχθεί end-to-end IP-based QoS.

Επιπλέον, το sub-channelization και τα βασισμένα στο πρωτοκόλλο μέσης πρόσβασης medium access protocol (MAP) signaling σχήματα παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για βέλτιστο scheduling της μετάδοσης και του unicast traffic using space, της συχνότητας, και των φυσικών χρονικών πόρων πάνω από το air-interface σε μια frame-by-frame βάση.

2.5.11 Ασφάλεια:

Το κινητό (mobile) WiMAX ενσωματώνει τις πιο προηγμένες ιδιότητες ασφαλείας που χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο στα συστήματα ασύρματης πρόσβασης. Αυτές περιλαμβάνουν το πρωτόκολλο αυθεντικοποίησης (Extensible Authentication Protocol) (**EAP**) που επιτρέπει μια ποικιλία πιστοποιητικών των χρηστών, συμπεριλαμβανομένου του ονόματος χρήστη/του κωδικού πρόσβασης, τα ψηφιακά πιστοποιητικά, και τις έξυπνες κάρτες, το προηγμένο πρότυπο κρυπτογράφησης (Advanced Encryption Standard) (**AES**) βασισμένο στην επικυρωμένη κρυπτογράφηση, και το cipher-based κώδικα επικύρωσης μηνυμάτων (Cipher-based Message Authentication Code) (**CMAC**) και Hashed Message Authentication Code (**HMAC**).

2.5.12 Υποστήριξη για την κίνηση (mobility):

Η ποικιλία του mobile WiMAX συστήματος έχει τους μηχανισμούς για να υποστηρίξει τα ασφαλή seamless handovers («latencies» λανθανουσες καταστάσεις λιγότερες από 50 ms) για τις ανεκτικές ως προς την καθυστέρηση πλήρης-κινητικότητα εφαρμογές, όπως το VoIP. Το σύστημα έχει επίσης ενσωματώσει μηχανισμούς υποστήριξης εξοικονόμησης ενέργειας

που επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των φορητών συσκευών των συνδρομητών.

Οι φυσικές αυξήσεις στρώματος, όπως η συχνότερη εκτίμηση καναλιών, uplink το subchannelization, και ο έλεγχος δύναμης, διευκρινίζονται επίσης υπέρ των κινητών εφαρμογών. Τα εύκαμπτα βασικά διοικητικά σχέδια βεβαιώνουν ότι η ασφάλεια διατηρείται κατά τη διάρκεια της παράδοσης

2.5.13 IP-based αρχιτεκτονική:

Το WiMAX φόρουμ έχει καθορίσει μια δικτυακή αρχιτεκτονική που είναι βασισμένη σε μια all-IP πλατφόρμα. Όλες οι end-to-end υπηρεσίες παραδίδονται πάνω από μια IP αρχιτεκτονική που στηρίζεται στα IP-based πρωτόκολλα για:

1. *End-to-end μεταφορά*
2. *QoS*
3. *Διαχείριση συνόδου (session)*
4. *Ασφάλεια*
5. *Κινητικότητα (mobility)*

Η εμπιστοσύνη στο IP επιτρέπει στο WiMAX να οδηγήσει στην πτώση των δαπανών της IP επεξεργασίας, να διευκολύνει την εύκολη σύγκλιση με άλλα δίκτυα, και να εκμεταλλευτεί το πλούσιο περιβάλλον που υπάρχει για το IP για την ανάπτυξη εφαρμογών.

Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται η δομή του air-interface πρωτοκόλλου. Αποτελείται από δύο βασικά μέρη όπως βλέπουμε:

A) **MAC** (Convergence Sub-Layer, Upper **MAC** Sub-Layer, Lower **MAC** Sub-Layer)

B) **PHY** (Physical Layer)

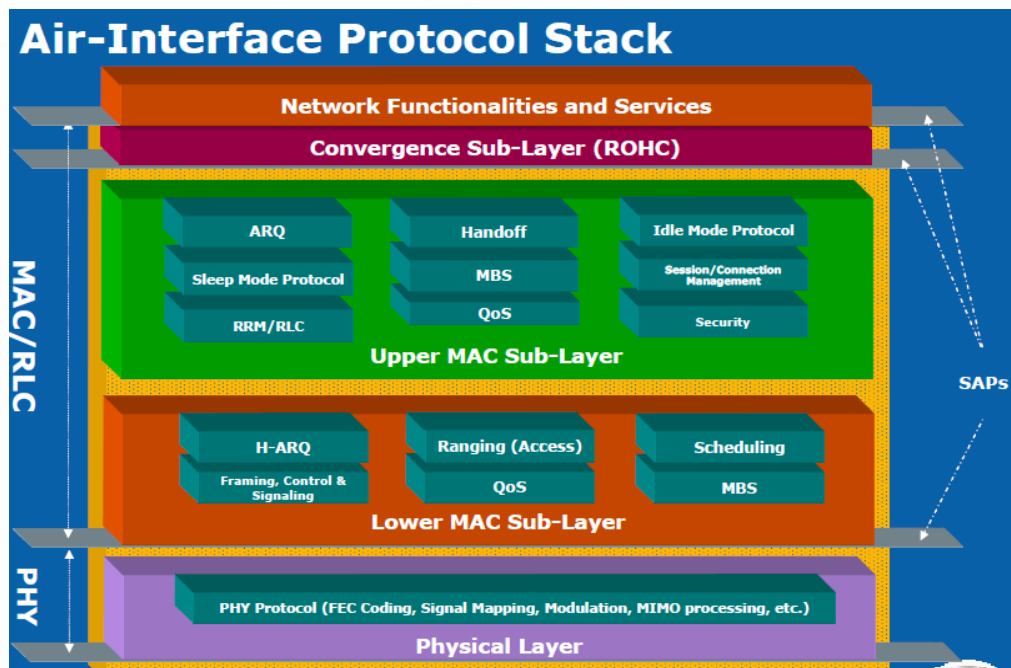


Figure 2.3 Η δομή του air-interface πρωτοκόλλου [12].

Κεφάλαιο 3^ο

Το Φυσικό Στρώμα (Physical Layer) του WiMAX

Σε ένα δίκτυο, ο σκοπός του φυσικού στρώματος PHY είναι να παραδοθούν αξιόπιστα τα bits πληροφοριών από τον πομπό στο δέκτη, που χρησιμοποιεί το φυσικό μέσο, όπως η ραδιοσυχνότητα, τα φωτεινά κύματα, ή τα καλώδια χαλκού. Συνήθως, το φυσικό στρώμα δεν ενημερώνεται για τις απαιτήσεις ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS) και δεν γνωρίζει τη φύση της εφαρμογής, όπως VoIP, HTTP, ή την FTP. Το φυσικό στρώμα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως σωλήνας (pipe) αρμόδιος για την ανταλλαγή πληροφοριών πάνω από μια μονή ζεύξη μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη.

Το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι βασισμένο στο OFDM. Το OFDM είναι το επιλεγμένο σχήμα μετάδοσης για να επιτύχει υψηλής ταχύτητας δεδομένα, βίντεο, και επικοινωνίες πολυμέσων και χρησιμοποιείται από ποικίλα εμπορικά ευρυζωνικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένου του DSL, Wi-Fi, Digital Video Broadcast-Handheld (DVB-H), και MediaFLO, πέραν του WiMAX.

Το OFDM είναι ένα κομψό και αποδοτικό σχήμα για την υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων σε ένα non-line-of-sight ή πολλαπλών διαδρομών (multipath) ράδιο-περιβάλλον. Παρακάτω, υπάρχει μια περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του OFDM και παρέχει μια επισκόπηση του φυσικού στρώματος του WiMAX.

3.1 Τα βασικά χαρακτηριστικά του “*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*” OFDM

Το OFDM ανήκει σε μια οικογένεια σχημάτων μετάδοσης η οποία ονομάζεται διαμόρφωση πολλαπλών carriers «*multicarrier modulation*», η οποία είναι βασισμένη στην ιδέα της διαίρεσης ενός δεδομένου υψηλού bit-rate stream δεδομένων σε διάφορα παράλληλα χαμηλότερου bit-rate streams και διαμορφώνει κάθε stream σε ξεχωριστά carriers, που συχνά αποκαλούνται subcarriers ή tones.

Τα multicarrier σχήματα διαμόρφωσης αποβάλλουν ή ελαχιστοποιούν τη διασυμβολική παρεμβολή «*intersymbol interference*» (ISI) με το να κάνουν τη διάρκεια συμβόλου αρκετά μεγάλη έτσι ώστε οι καθυστερήσεις που περιλαμβάνονται στο κανάλι-το delay spread αποτελεί ένα καλό μέτρο αυτού στα ασύρματα κανάλια-αποτελούν ένα ασήμαντο (τυπικά, <10 τοις εκατό) μέρος της διάρκειας συμβόλων.

Επομένως, στα high-data-rate συστήματα στα οποία η διάρκεια συμβόλων είναι μικρή, όντας αντιστρόφως ανάλογος προς το data rate, χωρίζοντας το stream δεδομένων σε πολλά παράλληλα streams αυξάνει τη διάρκεια συμβόλου κάθε stream έτσι ώστε η καθυστέρηση που διαδίδεται να είναι μόνο ένα μικρό μέρος της διάρκειας συμβόλου. Το OFDM είναι μια φασματικά αποδοτική έκδοση της multicarrier διαμόρφωσης, όπου οι subcarriers επιλέγονται έτσι ώστε να είναι όλοι

ορθογώνιοι ο ένας με τον άλλον μέσα στη διάρκεια συμβόλου, και με αυτόν τον τρόπο αποφεύγοντας την ανάγκη ύπαρξης των nonoverlapping subcarrier καναλιών για να εξαλείψουν την intercarrier παρεμβολή.

Επιλέγοντας τον πρώτο subcarrier να έχει μια συχνότητα τέτοια ώστε έχει έναν ακέραιο αριθμό κύκλων σε μια περίοδο συμβόλου, και θέτοντας το διάστημα μεταξύ των γειτονικών subcarriers (εύρος ζώνης subcarrier) για να είναι $BSC = B/L$, όπου το B είναι το ονομαστικό εύρος ζώνης (ίσος με το data rate), και L είναι ο αριθμός των subcarriers, εξασφαλίζει ότι όλοι οι τόνοι είναι ορθογώνιοι ο ένας στον άλλο κατά τη διάρκεια της περιόδου συμβόλου.

Μπορεί να δειχθεί ότι το OFDM σήμα είναι ισοδύναμο με τον αντίστροφο διακριτό μετασχηματισμό Φουριέ «inverse discrete Fourier transform» (IDFT) του block ακολουθίας δεδομένων παίρνοντας L την κάθε φορά. Αυτό το κάνει εξαιρετικά εύκολο να εφαρμόσει OFDM πομπούς και δέκτες σε διακριτό χρόνο χρησιμοποιώντας IFFT (αντίστροφο γρήγορο Fourier) και FFT, αντίστοιχα.

Προκειμένου να εξαληφθεί πλήρως η διασυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference) ISI, τα διαστήματα ασφαλείας (guard intervals) χρησιμοποιούνται μεταξύ των OFDM συμβόλων. Με το να καταστήσει το διάστημα ασφαλείας μεγαλύτερο από την αναμενόμενη πολυδιαδρομική διασπορά καθυστέρησης, το ISI μπορεί να εξαληφθεί πλήρως.

Η προσθήκη ενός διαστήματος ασφαλείας, εντούτοις, συνεπάγεται απώλεια ισχύς και μια μείωση στην αποδοτικότητα του εύρους ζώνης. Το ποσό ισχύς σπαταλείται εξαρτάται από το πόσο μεγάλο μέρος της διάρκειας του OFDM συμβόλου αποτελεί το διάστημα ασφαλείας.

Επομένως, όσο μεγαλύτερη η περίοδος συμβόλου - για δεδομένο data rate, αυτό σημαίνει περισσότερα subcarriers – τόσο μικρότερη απώλεια ισχύς και αποδοτικότητας εύρους ζώνης.

Το μέγεθος του FFT σε ένα OFDM σχήμα πρέπει να επιλεχτεί προσεκτικά ως ισορροπία μεταξύ: **προστασίας ενάντια των πολλαπλών διαδρομών, της μετατόπισης Doppler, και του σχεδιασμού κόστους/πολυπλοκότητας.** Για ένα δεδομένο εύρος ζώνης, επιλέγοντας ένα μεγάλο μέγεθος FFT θα μείωνε το διάστημα των subcarriers και θα αύξανε το χρόνο συμβόλου.

Αυτό το καθιστά ευκολότερο να προστατεύσει από την πολυδιαδρομική διασπρά καθυστέρησης. Ένα μειωμένο διάστημα μεταξύ των subcarriers, εντούτοις, καθιστά επίσης το σύστημα πιο τρωτό στην intercarrier παρεμβολή εξ αιτίας του Doppler στις κινητές εφαρμογές. Οι ανταγωνιστικές επιρροές της καθυστέρησης και του Doppler που διαδίδονται σε ένα OFDM σχήμα απαιτούν προσεκτική εξισορρόπηση.

3.1.1 Τα Πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις του OFDM

Το OFDM απολαμβάνει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες λύσεις για υψηλών ταχυτήτων μετάδοση.

- **Μειωμένη υπολογιστική πολυπλοκότητα:**

Το OFDM μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα χρησιμοποιώντας FFT/IFFT, και οι απαιτήσεις επεξεργασίας αυξάνονται μόνο ελαφρώς γρηγορότερα από ότι γραμμικά με το data rate ή το εύρος ζώνης. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα του OFDM μπορεί να εκφραστεί από τον τύπο $O(B \log B T_m)$, όπου το B είναι το εύρος ζώνης και το T_m είναι η διασπορά καθυστέρησης. Αυτή η πολυπλοκότητα είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή ενός τυποποιημένου εξισωτή "equalizer", το οποίο έχει μια πολυπλοκότητα $O(B^2 T_m)$.

- **«Χαριτωμένη» υποβάθμιση της απόδοσης κάτω από υπερβολική καθυστέρηση:**

Η απόδοση ενός συστήματος OFDM υποβιβάζεται «χαριτωμένα» όταν η καθυστέρηση υπερβαίνει το μέγεθος για το οποίο είχε σχεδιαστεί.

Με άλλα λόγια, το OFDM είναι καλοταίριασμένο για προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, η οποία επιτρέπει στο σύστημα να κάνει το καλύτερο από τις διαθέσιμες συνθήκες του καναλιού. Αυτό αντιπαραβάλλεται με την απότομη υποβάθμιση εξ αιτίας της λανθασμένης διάδοσης που η εμπειρία των single-carriers συστημάτων ως υπέρβασης του μεγέθους της καθυστέρησης για την οποία σχεδιάστηκε ο equalizer.

- **Εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας συχνότητας:**

Το OFDM διευκολύνει την κωδικοποίηση και το *interleaving* (είναι ένας τρόπος να τακτοποιηθούν τα στοιχεία με έναν μη-παρακείμενο τρόπο ώστε να αυξηθεί η απόδοση) στους subcarriers στο πεδίο της συχνότητας, το οποίο μπορεί να παρέχει ευρωστία ενάντια στα burst errors που προκαλούνται από μερίδες του transmitted φάσματος που εξασθενούν βαθιά. Στην πραγματικότητα, το WiMAX καθορίζει συνδυασμούς των subcarriers που επιτρέπουν στα συστήματα να το εκμεταλλευτούν.

- **Χρήση ως ένα πολλαπλής πρόσβασης (multiaccess) σχήμα:**

Το OFDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολλαπλής πρόσβασης (multiaccess) σχήμα, όπου διαφορετικοί τόνοι χωρίζονται μεταξύ πολλαπλών χρηστών. Αυτό το σχήμα αναφέρεται ως OFDMA και αξιοποιείται στο κινητό WiMAX. Αυτό το σχήμα προσφέρει επίσης τη δυνατότητα να παρασχεθεί λεπτή κοκκοποίηση (granularity) στην κατανομή καναλιών. Σε σχετικά αργά time-varying κανάλια, είναι δυνατό να ενισχυθεί σημαντικά η ικανότητα με την προσαρμογή του data rate ανά συνδρομητή σε σχέση με το σηματοθορυβικό λόγο εκείνου του συγκεκριμένου subcarrier.

- **Η Ευρωστία ενάντια στις παρεμβολές της στενής ζώνης (narrowband):**

Το OFDM είναι σχετικά γερό ενάντια στις "περιορισμένης ζώνης" παρεμβολές, δεδομένου ότι τέτοια παρεμβολή έχει επιπτώσεις μόνο σε ένα μέρος των subcarriers.

• **Κατάλληλο για συνεπή αποδιαμόρφωση:**

Είναι σχετικά εύκολο να γίνει πειραματική εκτίμηση του καναλιού στα OFDM συστήματα, η οποία τα καθιστά κατάλληλα για συνεπή σχήματα αποδιαμόρφωσης που είναι περισσότερο αποδοτικά σε ισχύ.

Παρ'όλα αυτά τα πλεονεκτήματα, οι τεχνικές OFDM αντιμετωπίζουν επίσης διάφορες προκλήσεις.

1. Υπάρχει το πρόβλημα που συνδέεται με τα OFDM σήματα που έχουν μια high peak-to-average ratio που προκαλεί τις μη γραμμικές και άλλες παραμορφώσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκειες ισχύος που πρέπει να αντιμετωπιστούν.
2. Τα OFDM σήματα είναι πολύ ευαίσθητα στη φάση του θορύβου και τη διασπορά συχνότητας, και το σχέδιο αυτό πρέπει να μετριάσει αυτές τις ατέλειες. Αυτό το καθιστά επίσης κρίσιμο για να έχει ακριβή συγχρονισμό συχνότητας

3.1.2 Οι Παράμετροι του OFDM στο WiMAX

Οι σταθερές και οι κινητές εκδόσεις του WiMAX έχουν ελαφρώς διαφορετικές εφαρμογές όσον αφορά το φυσικό στρώμα του OFDM. Το σταθερό WiMAX, που είναι βασισμένο στο IEEE 802.16-2004, χρησιμοποιεί ένα 256 FFT-based OFDM φυσικό στρώμα. Το mobile WiMAX, που είναι βασισμένο στο IEEE 802.16e-2005 πρότυπο, χρησιμοποιεί ένα εξελιξίμο-βαθμωτό OFDMA-based φυσικό στρώμα. Στην περίπτωση του mobile WiMAX, τα μεγέθη FFT μπορούν να ποικίλουν από 128 μέχρι 2.048 μπιτ.

Ο πίνακας 3.1 παρουσιάζει τις OFDM παραμέτρους και για το OFDM-PHY και για το OFDMA-PHY.

Οι παράμετροι που παρουσιάζονται εδώ είναι μόνο για ένα περιορισμένο σύνολο profiles που είναι πιθανό να υλοποιηθούν και δεν αποτελούν το πλήρες σύνολο των πιθανών τιμών.

Table 3.1 Οι OFDM παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο WiMAX [5].

Parameter	Fixed WiMAX OFDM-PHY		Mobile WiMAX Scalable OFDMA-PHY ^a		
	256	128	512	1,024	2,048
FFT size	256	128	512	1,024	2,048
Number of used data subcarriers ^b	192	72	360	720	1,440
Number of pilot subcarriers	8	12	60	120	240
Number of null/guardband subcarriers	56	44	92	184	368
Cyclic prefix or guard time (T _g /T _b)	1/32, 1/16, 1/8, 1/4				
Oversampling rate (F _s /BW)	Depends on bandwidth: 7/6 for 256 OFDM, 8/7 for multiples of 1.75MHz, and 28/25 for multiples of 1.25MHz, 1.5MHz, 2MHz, or 2.75MHz.				
Channel bandwidth (MHz)	3.5	1.25	5	10	20
Subcarrier frequency spacing (kHz)	15.625		10.94		
Useful symbol time (μs)	64		91.4		
Guard time assuming 12.5% (μs)	8		11.4		
OFDM symbol duration (μs)	72		102.9		
Number of OFDM symbols in 5 ms frame	69		48.0		

Αν και το εξελίξιμο σχήμα OFDMA αναφέρεται στο κινητό WiMAX, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε σταθερές και σε νομαδικές και σε κινητές εφαρμογές

3.1.3 Το OFDM-PHY στο σταθερό WiMAX

Για αυτήν την έκδοση το μέγεθος του FFT είναι καθορισμένο στα 256, από τα οποία τα 192 subcarriers χρησιμοποιήθηκαν για τη μεταφορά δεδομένων, 8 χρησιμοποιήθηκαν ως πιλοτικοί subcarriers για λόγους εκτίμησης του καναλιού και συγχρονισμού, και το υπόλοιπο χρησιμοποιήθηκε ως subcarriers ασφάλειας της ζώνης. Δεδομένου ότι το μέγεθος του FFT είναι καθορισμένο, το διάστημα των subcarriers ποικίλλει σε σχέση με το εύρος ζώνης του καναλιού. Όταν μεγαλύτερα εύρη ζώνης χρησιμοποιούνται, το διάστημα μεταξύ των subcarriers αυξάνεται, και ο χρόνος συμβόλου μειώνεται.

Μειώνοντας τον χρόνο συμβόλου συνεπάγεται ότι ένα μεγαλύτερο μέρος πρέπει να διατεθεί ως χρόνος ασφάλειας για να υπερνικήσει την καθυστέρηση που διαδίδεται. Όπως ο πίνακας 2.3 παρουσιάζει, το WiMAX επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα χρόνων ασφάλειας που επιτρέπει στους σχεδιαστές συστημάτων να κάνουν τις κατάλληλες ανταλλαγές μεταξύ της φασματικής απόδοσης και της ευρωστίας της καθυστέρησης.

Για τη μέγιστη ευρωστία της καθυστέρησης, ένας χρόνος ασφάλειας της τάξης του 25 τοις εκατό μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ο οποίος μπορεί να προσαρμόσει την καθυστέρηση διάδοσης μέχρι τα 16 μs κατά τη λειτουργία σε ένα κανάλι 3.5MHz και μέχρι τα 8 μs κατά τη λειτουργία σε ένα 7MHz κανάλι. Σε σχετικά «καλά» πολυδιαδρομικά κανάλια, τα χρονικά έξοδα ασφαλείας μπορούν να μειωθούν και να φτάσουν στο ελάχιστο ποσοστό του 3 τοις εκατό.

3.1.4 Το OFDMA-PHY στο κινητό WiMAX

Στο κινητό WiMAX, το μέγεθος του FFT είναι εξελικτικό από 128 έως 2.048. Εδώ, όταν το διαθέσιμο εύρος ζώνης αυξάνεται, το μέγεθος του FFT αυξάνεται επίσης έτσι ώστε το διάστημα των subcarriers να είναι πάντα 10.94kHz. Αυτό κρατά την OFDM διάρκεια συμβόλου, η οποία είναι η βασική μονάδα των πόρων, σταθερή και επομένως κάνει το «scaling» να έχει την ελάχιστη επίδραση στα υψηλότερα στρώματα.

Μια scalable σχεδίαση κρατά επίσης τις δαπάνες χαμηλές. Το 10.94kHz διάστημα των subcarriers επιλέχτηκε ως μια καλή **ισορροπία** μεταξύ της ικανοποίησης των απαιτήσεων:

- a. της καθυστέρησης και του
- b. Doppler

για τη λειτουργία σε μικτά σταθερά και κινητά περιβάλλοντα. Αυτό το διάστημα των subcarriers μπορεί να υποστηρίξει τιμές μέχρι 20 μs και την κίνηση με όχημα μέχρι τα 125 kmph κατά τη λειτουργία στα 3.5GHz. Ένα 10.94kHz διάστημα subcarriers συνεπάγεται ότι 128, 512, 1.024, και 2.048 FFT χρησιμοποιούνται όταν το εύρος ζώνης καναλιού είναι 1.25MHz, 5MHz, 10MHz και 20MHz αντίστοιχα.

Πρέπει, εντούτοις, να σημειωθεί ότι το κινητό WiMAX μπορεί επίσης να περιλάβει πρόσθετα profiles εύρους ζώνης. Παραδείγματος χάριν, ένα profile συμβατό με το WiBro θα χρησιμοποιήσει ένα εύρος ζώνης των 8.75MHz και 1.024 FFT. Αυτό προφανώς απαιτεί ένα διαφορετικό διάστημα subcarriers και ως εκ τούτου δεν θα έχει τις ίδιες ιδιότητες εξελιξιμότητας.

3.2 Subchannelization: OFDMA

Οι διαθέσιμοι subcarriers μπορούν να διαιρεθούν σε αρκετές υποομάδες από subcarriers αποκαλούμενων ως subchannels. Το σταθερό **WiMAX** που είναι βασισμένο στο OFDM-PHY επιτρέπει μια περιορισμένη μορφή **subchannelization** στο uplink μόνο. Το πρότυπο καθορίζει 16 subchannels, όπου 1, 2, 4, 8, ή όλα τα σύνολα μπορούν να ανατεθούν σε έναν συνδρομητικό σταθμό (**subscriber station**) (**SS**) στο uplink.

Το Uplink **subchannelization** στο σταθερό WiMAX επιτρέπει στους σταθμούς συνδρομητών να μεταδώσουν χρησιμοποιώντας μόνο ένα μέρος (όπως το 1/16) του εύρους ζώνης που διατίθεται σε αυτούς από το σταθμό βάσης, ο οποίος παρέχει βελτιώσεις στο link budget που μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να ενισχύσουν την απόδοση του range ή/και να βελτιώσουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των

συνδρομητικών σταθμών. Ένας παράγοντας **subchannelization** της τάξης του 1/16 παρέχει μια 12 dB αύξηση στο link budget.

Στο **mobile WiMAX** που είναι βασισμένο στο **OFDMA-PHY**, εντούτοις, επιτρέπει το **subchannelization** και στο **uplink** και στο **downlink**, και εδώ, τα subchannels ανατίθενται από το σταθμό βάσης. Επομένως, διαφορετικά subchannels μπορούν να ανατεθούν σε διαφορετικούς χρήστες ως μηχανισμός πολλαπλής-πρόσβασης. Αυτός ο τύπος πολλαπλής πρόσβασης “**multiaccess**” ονομάζεται «**orthogonal frequency division multiple access**» (**OFDMA**). Τα subchannels αποτελούνται είτε από παρακαείμενους subcarriers είτε από subcarriers που διανέμονται ψευδοτυχαία στο φάσμα της συχνότητας. Τα Subchannels που διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας τους διανεμημένους subcarriers παρέχουν περισσότερη ποικιλομορφία συχνότητας, η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τις κινητές εφαρμογές.

3.2.1 Subchannelization Σχήματα

- **FUSC**: Κάθε σχισμή (slot) είναι 48 subcarriers από ένα OFDM σύμβολο.
- **Downlink PUSC**: Κάθε slot είναι 24 subcarriers από δύο OFDM σύμβολα
- **Uplink PUSC and TUSC**: Κάθε slot είναι 16 subcarriers από τρία OFDM σύμβολα
- **Band AMC**: Κάθε slot είναι 8, 16, ή 24 subcarriers από 6, 3, ή 2 OFDM σύμβολα.

Το **WiMAX** καθορίζει διάφορα subchannelization σχήματα βασισμένα στους διανεμημένους subcarriers και για το uplink και για το downlink. Το ένα, λέγεται μερική χρήση των subcarriers (**partial usage of subcarriers**) (**PUSC**), είναι υποχρεωτικό για όλες τις κινητές εφαρμογές του WiMAX. Τα αρχικά profiles του WiMAX καθορίζουν 15 και 17 subchannels για το downlink και το uplink, αντίστοιχα, για την PUSC λειτουργία σε εύρος ζώνης 5MHz. Για λειτουργία στα 10MHz, είναι 30 και 35 κανάλια, αντίστοιχα.

Τα OFDMA σχήματα που αναφέραμε απεικονίζονται πιο κάτω στην εικόνα 3.1.

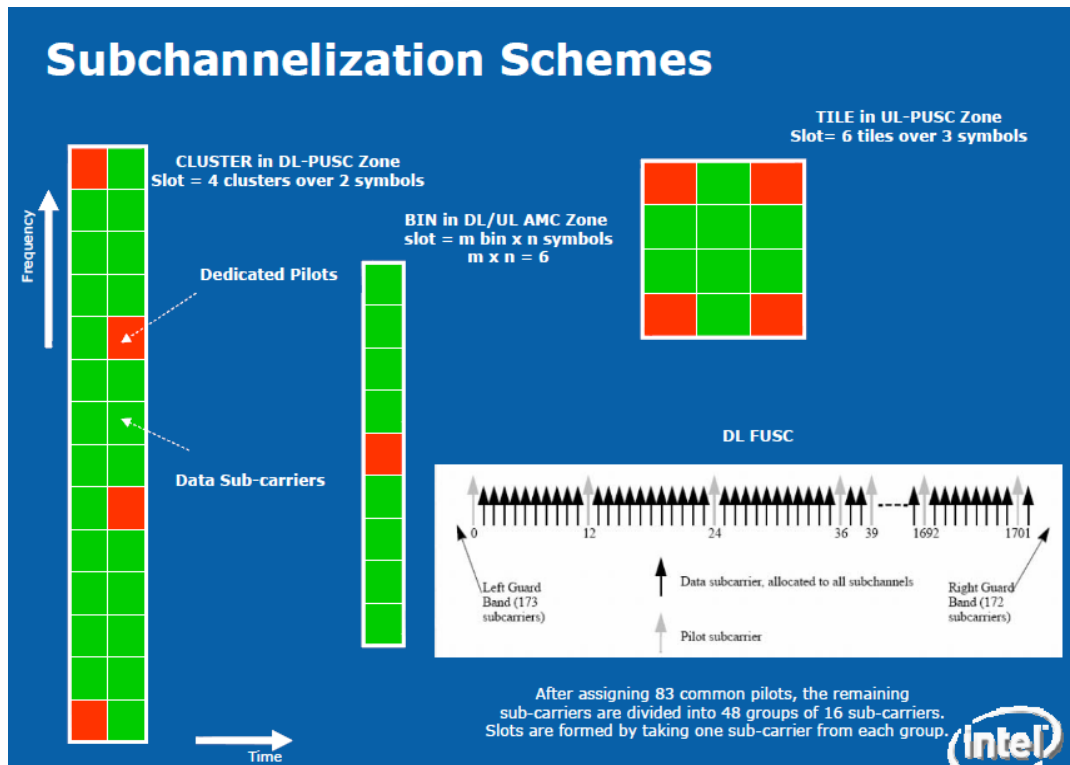


Figure 3.1 Subchannelization Σχήματα [12].

Το subchannelization σχήμα βασισμένο στους παρακείμενους subcarriers στο WiMAX καλείται ζώνη προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (*adaptive modulation and coding*) (AMC). Αν και η ποικιλομορφία συχνότητας χάνεται, η ζώνη AMC επιτρέπει στους σχεδιαστές συστημάτων να εκμεταλλευτούν την πολλαπλών χρηστών (multiuser) ποικιλομορφία, αναθέτοντας τα subchannels στους χρήστες βασισμένα στη συχνοτική απάντηση (response) τους.

Η πολλαπλών χρηστών ποικιλομορφία μπορεί να παρέχει σημαντικά κέρδη στη γενική ικανότητα του συστήματος, εάν το σύστημα προσπαθεί να παρέχει σε κάθε χρήστη ένα subchannel που μεγιστοποιεί το λαμβανόμενο του SINR. Γενικά, τα παρακείμενα subchannels ταιριάζουν πιο πολύ σε fixed και χαμηλής κινητικότητας εφαρμογές.

Η εικόνα 3.2 περιλαμβάνει τα κύρια χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα του OFDMA:

- Η πολλαπλή πρόσβαση στο OFDMA είναι 2 διαστάσεων (**χρονική και συχνοτική**)
- Οι πολλαπλοί χρήστες χρησιμοποιούν ξεχωριστά subchannels για πολλαπλή πρόσβαση:
 - a. *Βελτιωμένο capacity*
 - b. *Βελτιωμένο scheduling και*
 - c. *Βελτιωμένη υποστήριξη του QoS*
 - d. *Μειωμένη παρεμβολή*
 - e. *Βελτιωμένο link margin*

- Εύκαμπτο Subchannelization
 - a. Ψευδο-τυχαία ανταλλαγή-μετάθεση (PUSC) για συχνοτική διαφορησιμότητα ή
 - b. Συνεχής ανάθεση AMC για την επίτευξη beamforming)
- Κλιμακωτή κατασκευή-δομή για την υποστήριξη κυμαινόμενων-variable εύρων ζώνης

OFDMA Concept

- In OFDMA multiple access is two dimensional (time and frequency)
- Multiple users use separate subchannels for multiple access
 - Improved capacity
 - Improved scheduling and QoS support
 - Reduced interference (no intra-cell interference)
 - Improved link margin (subchannelization gain)
- Flexible subchannelization
 - Pseudo-random permutation (PUSC) for frequency diversity, or
 - Contiguous assignment (AMC) to enable beamforming
- Scalable structure to support variable bandwidths

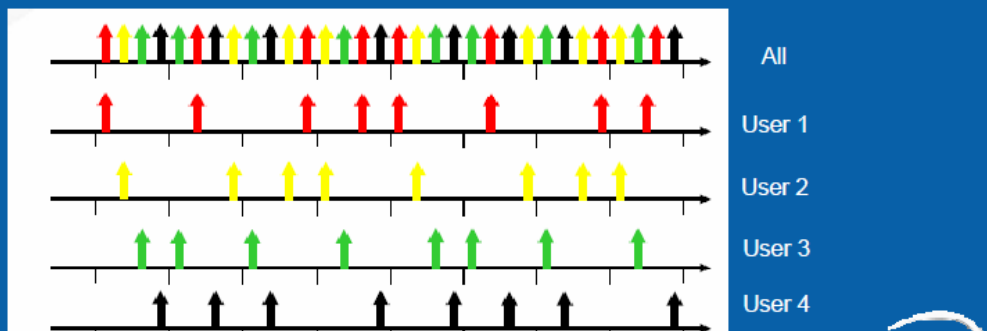
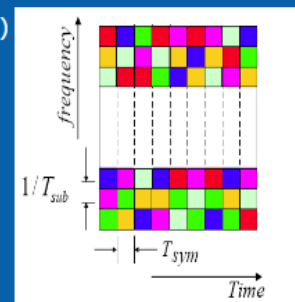


Figure 3.2 To OFDMA Concept [12].

OFDMA Numerology

Transmission Bandwidth (MHz)	1.25	5	10	20
Sampling Frequency (MHz) $f_s = 8000 \lfloor nBW / 8000 \rfloor$ $n = 28 / 25$	1.4	5.6	11.2	22.4
FFT Size	128	512	1024	2048
Sub-Carrier Spacing (kHz)	10.94	10.94	10.94	10.94
Tu (us)	91.4	91.4	91.4	91.4
Cyclic Prefix (CP)	Ts (us)		Number of OFDM Symbols per Frame	Idle Time (us)
Tg=1/4 Tu	91.4 + 22.85=114.25		43	87.25
Tg=1/8 Tu	91.4 + 11.42=102.82		48	64.64
Tg=1/16 Tu	91.4 + 5.71=97.11		51	47.39
Tg=1/32 Tu	91.4 + 2.86=94.26		53	4.22

Frame Size – (Number of OFDM Symbols) * Ts
The idle time in FDD mode may be used for channel or noise measurements




Figure 3.3 Οι τιμές των μεταβλητών του OFDMA [12].

3.2.2 Η Δομή των slots και των πλαισίων

Το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι επίσης αρμόδιο για την κατανομή των slots και διαμόρφωση πάνω από τον αέρα. Ο ελάχιστος πόρος χρόνου-συχνότητας που μπορεί να διατεθεί από ένα σύστημα WiMAX σε μια δεδομένη σύνδεση καλείται σχισμή(slot).

Κάθε slot αποτελείται από ένα subchannel πάνω από ένα, δύο, ή τριών συμβόλων OFDM, ανάλογα με το ιδιαίτερο σχήμα subchannelization που χρησιμοποιείται. Μια παρακείμενη σειρά από slots που ορίζονται σε έναν δεδομένο χρήστη καλείται περιοχή δεδομένων του χρήστη, οι **scheduling algorithms** θα μπορούσαν να αναθέσουν τις περιοχές δεδομένων σε διαφορετικούς χρήστες, βασισμένες στη ζήτηση-(on demand), τις QoS απαιτήσεις, και τις συνθήκες του καναλιού.

Το σχήμα 2.3.4 παρουσιάζει ένα OFDMA και OFDM πλαίσιο κατά τη λειτουργία του TDD σχήματος. Το πλαίσιο διαιρείται σε δύο subframes: ένα downlink πλαίσιο που ακολουθείται από ένα uplink πλαίσιο μετά από ένα μικρό διάστημα ασφαλείας. Η αναλογία downlink--uplink πλαισίου μπορεί να ποικίλει από 3:1 έως 1:1 για να υποστηρίξει τα διαφορετικά traffic profiles. Το WiMAX υποστηρίζει επίσης frequency division duplexing(FDD), οπότε σ'αυτή την περίπτωση η δομή πλαισίου είναι η ίδια εκτός από το ότι και το downlink και το uplink μεταδίδονται ταυτόχρονα

από διαφορετικούς subcarriers. Μερικά από τα τωρινά WiMAX συστήματα χρησιμοποιούν FDD.

Οι περισσότερες υλοποιήσεις του WiMAX, εντούτοις, είναι πιο συχνά με τον TDD σχήμα λόγω των **πλεονεκτημάτων** του.

Το **TDD**:

- ✓ επιτρέπει μια πιο εύκαμπτη διανομή του εύρους ζώνης μεταξύ uplink και downlink,
- ✓ δεν απαιτεί ταξινομημένο κατά ζεύγος φάσμα,
- ✓ έχει ένα αμοιβαίο κανάλι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χωρική επεξεργασία και
- ✓ έχει ένα απλούστερο σχέδιο για τους πομποδέκτες.

Το **μειονέκτημα** του TDD είναι:

- ✓ η ανάγκη για συγχρονισμό με τους πολλαπλούς σταθμούς βάσης για να εξασφαλιστεί συνύπαρξη χωρίς παρεμβολές.

Οι κανονισμοί των ταξινομημένων κατά ζεύγος ζωνών, εντούτοις, μπορούν να αναγκάσουν μερικούς χειριστές να επεκτείνουν το **WiMAX** στη χρήση και του **FDD** σχήματος.

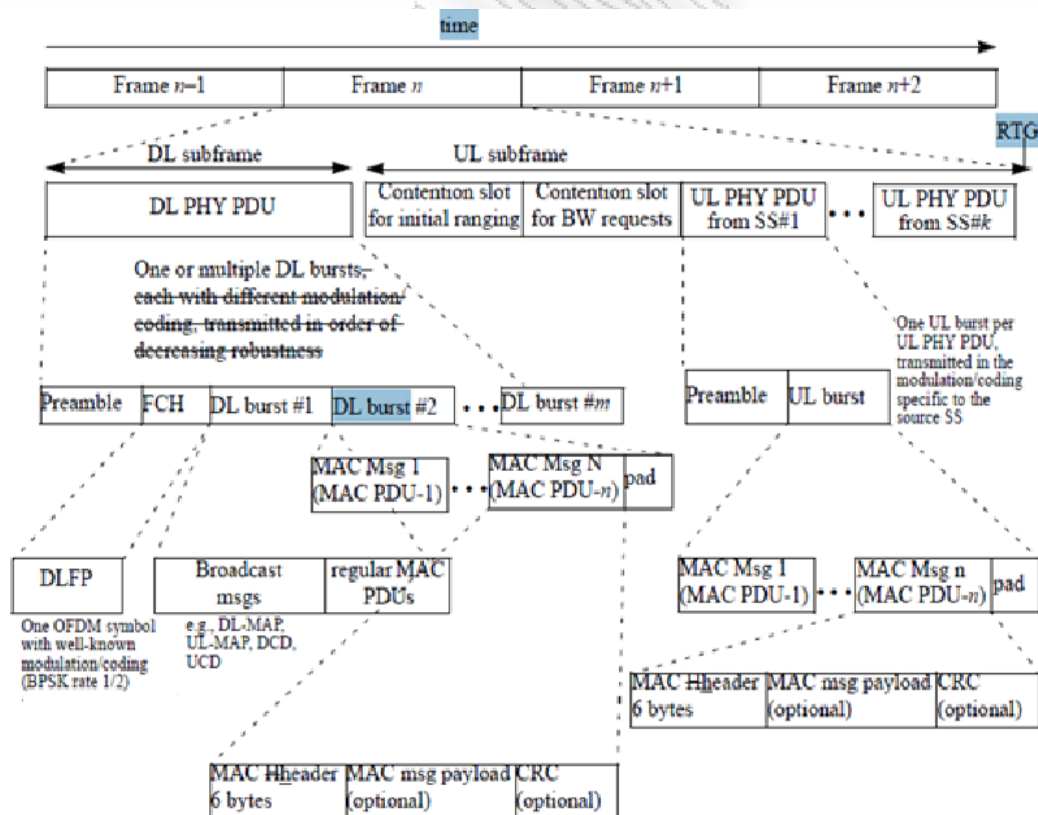


Figure 3.4 Παράδειγμα της OFDMA δομής πλαισίου με TDD [3].

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4, το downlink subframe αρχίζει με ένα **downlink preamble** που χρησιμοποιείται για τις διαδικασίες του φυσικού στρώματος, όπως ο χρονικός και συχνοτικός συγχρονισμός και η αρχική εκτίμηση του καναλιού. Το **downlink preamble** ακολουθείται από μια επιγραφή ελέγχου πλαισίου «frame control header» (**FCH**), η οποία παρέχει τις πληροφορίες διαμόρφωσης πλαισίου, όπως το **μήκος των μηνυμάτων (medium access protocol) MAP, το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, και οι χρησιμοποιήσιμοι subcarriers.**

Οι πολλαπλοί χρήστες είναι καταναμημένες περιοχές δεδομένων μέσα στο πλαίσιο, και αυτές οι κατανομές διευκρινίζονται στα uplink και downlink μηνύματα **MAP** (DL-MAP και UL-MAP) που διαδίδονται ευρέως ακολουθώντας το **FCH downlink υπο-πλαίσιο-(subframe).**

3.2.2.1 Medium Access Protocol

Τα MAP μηνύματα περιλαμβάνουν το **burst profile** για κάθε χρήστη, το οποίο καθορίζει το σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται σε εκείνη την σύνδεση. Δεδομένου ότι το MAP περιέχει τις κρίσιμες πληροφορίες που πρέπει να φθάσουν σε όλους τους χρήστες, στέλνεται συχνά μέσω μιας πολύ αξιόπιστης σύνδεσης, όπως η **BPSK με κωδικοποίηση 1/2 και επαναληπτική κωδικοποίηση.**

Η εικόνα 3.5 απεικονίζει τι περιέχει ένα **MAP**:

- a. Πληροφορίες για την DL/UL burst κατανομή
- b. Μήνυμα Ελέγχου του Φυσικού Στρώματος (Στοιχείο Πληροφορίας-Information Element (IE))

Επίσης τι περιέχει ένα κανονικό MAP: DL-MAP και UL-MAP:

- a. Μηνύματα Διαχείρισης (GMH και CRC)
- b. DL-MAP IEs και UL-MAP IEs
- c. Burst Profile (DIUC και UIUC)

Medium Access Protocol (MAP)

Message-Based Control and Signaling

MAP Contains

- Information on DL/UL burst allocation
- Physical layer control message (IE: Information Element)

Normal MAP : DL-MAP & UL-MAP

- Management Messages (GMH and CRC)
- DL-MAP IEs and UL-MAP IEs
- Burst Profile (DIUC and UIUC)

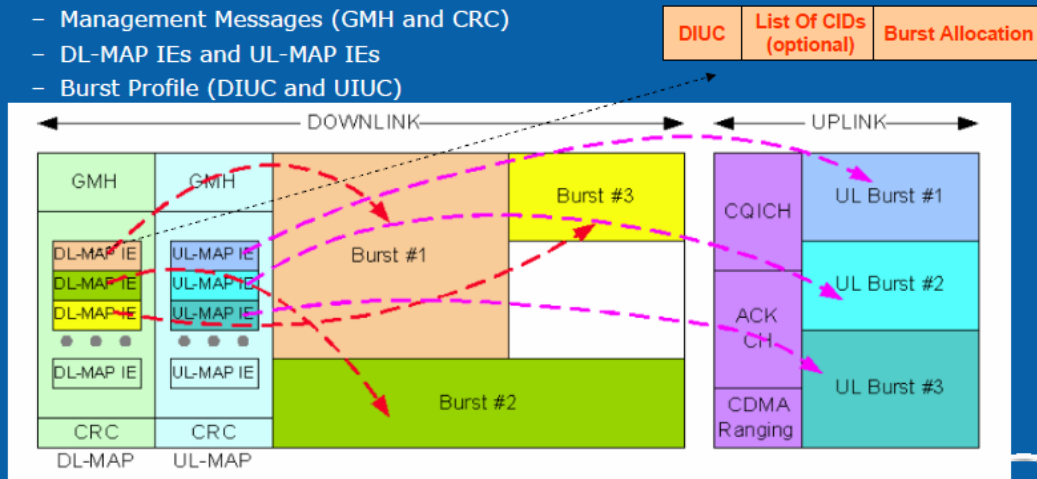


Figure 3.5 Medium Access Control (Normal MAP) [12].

Αν και τα MAP μηνύματα είναι ένας κοινός τρόπος για το σταθμό βάσης να ενημερώνει τους διάφορους χρήστες για τις κατανομές του και τα burst profiles σε μια ανά-πλαίσιο βάση, θα μπορούσε να διαμορφώσει ένα σημαντικό overhead, ιδιαίτερα όταν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός χρηστών με μικρά πακέτα (π.χ., VoIP) για τα οποία οι κατανομές πρέπει να διευκρινιστούν.

Για να μετριάσουν την ανησυχία του overhead, τα κινητά WiMAX συστήματα μπορούν προαιρετικά να χρησιμοποιήσουν πολλαπλά sub-MAP μηνύματα όπου τα αφιερωμένα (dedicated) μηνύματα ελέγχου σε διαφορετικούς χρήστες διαδίδονται με υψηλότερα rates, βασισμένα στις μεμονωμένες SINR καταστάσεις τους. Η μετάδοση MAP μηνυμάτων μπορούν επίσης προαιρετικά να συμπιεστούν για πρόσθετη αποδοτικότητα.

Η εικόνα 3.6 απεικονίζει τι περιέχει ένα συμπιεσμένο MAP: συμπιεσμένο DL-MAP και συμπιεσμένο UL-MAP:

- Καθόλου GMH και ένα CRC
- DL-MAP IEs και UL-MAP IEs
- Burst Profile (DIUC και UIUC)

Medium Access Protocol (MAP)

Message-Based Control and Signaling

Compressed MAP: Compressed DL-MAP & UL-MAP

- No GMH and one CRC
- DL-MAP IEs and UL-MAP IEs
- Burst Profile (DIUC and UIUC)

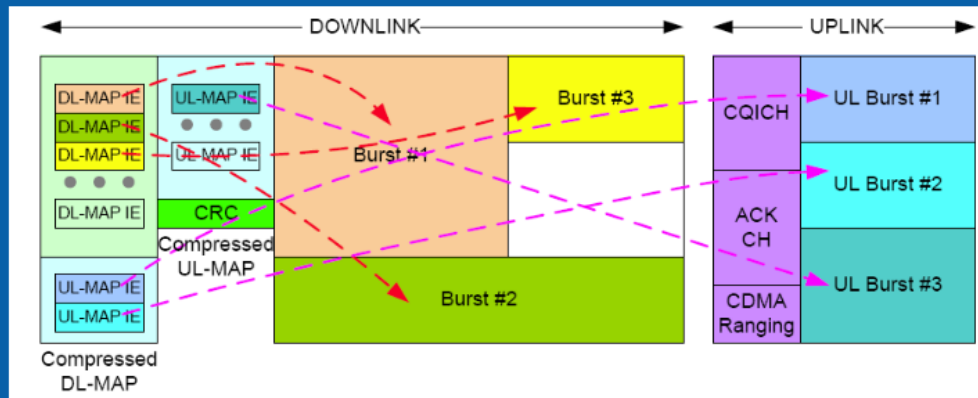


Figure 3.6 Medium Access Control (Συμπιεσμένο MAP) [12].

Το WiMAX είναι αρκετά εύκαμπτο από την άποψη του πώς πολλαπλοί χρήστες και πακέτα πολυπλέκονται σε ένα ενιαίο πλαίσιο. Ένα ενιαίο downlink πλαίσιο μπορεί να περιέχει πολλαπλά bursts ποικίλων μεγεθών και τύπων δεδομένων για διάφορους χρήστες.

Το μέγεθος πλαισίου είναι επίσης μεταβλητό σε μια πλαίσιο-ανά-πλαίσιο βάση από 2 έως 20 ms, και κάθε burst μπορεί να περιέχει πολλαπλά αλυσιδωτά πακέτα καθορισμένου-μεγέθους ή μεταβλητού-μεγέθους ή μέρη πακέτων που παραλαμβάνονται από τα υψηλότερα στρώματα. Τουλάχιστον αρχικά, εντούτοις, όλος ο εξοπλισμός του WiMAX θα υποστηρίξει μόνο 5 ms πλαίσια.

Το uplink subframe αποτελείται από διάφορα uplink bursts από διαφορετικούς χρήστες. Μια μερίδα του uplink subframe τίθεται για contention-based πρόσβαση που χρησιμοποιείται για ποικίλους λόγους.

3.2.2.2 Ranging Κανάλι

Αυτό το subframe χρησιμοποιείται κυρίως ως ένα ranging «κυμαινόμενο» κανάλι για να εκτελέσει κλειστού βρόγχου ρυθμίσεις, ως προς την συχνότητα, το χρόνο, και την ισχύ κατά τη διάρκεια της εισόδου στο δίκτυο καθώς επίσης και περιοδικά στη συνέχεια. Το ranging κανάλι μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από συνδρομητικούς σταθμούς ή από κινητούς σταθμούς (SS/MS) για να υποβάλει αιτήματα εύρους ζώνης (bandwidth requests) στο uplink

Επιπλέον, τα best-effort δεδομένα μπορούν να σταλούν σε αυτό το contention-based κανάλι, ιδιαίτερα όταν το ποσό των δεδομένων που στέλνουν είναι πάρα πολύ μικρό ώστε να δικαιολογήσουν την αίτηση για ένα κανάλι.

Η εικόνα 3.8 απεικονίζει τους διάφορους τύπους **Ranging**:

- Αρχικό-initial ranging/handoff ranging
- Περιοδικό ranging
- Ranging υποβολής αιτήματος εύρους ζώνης

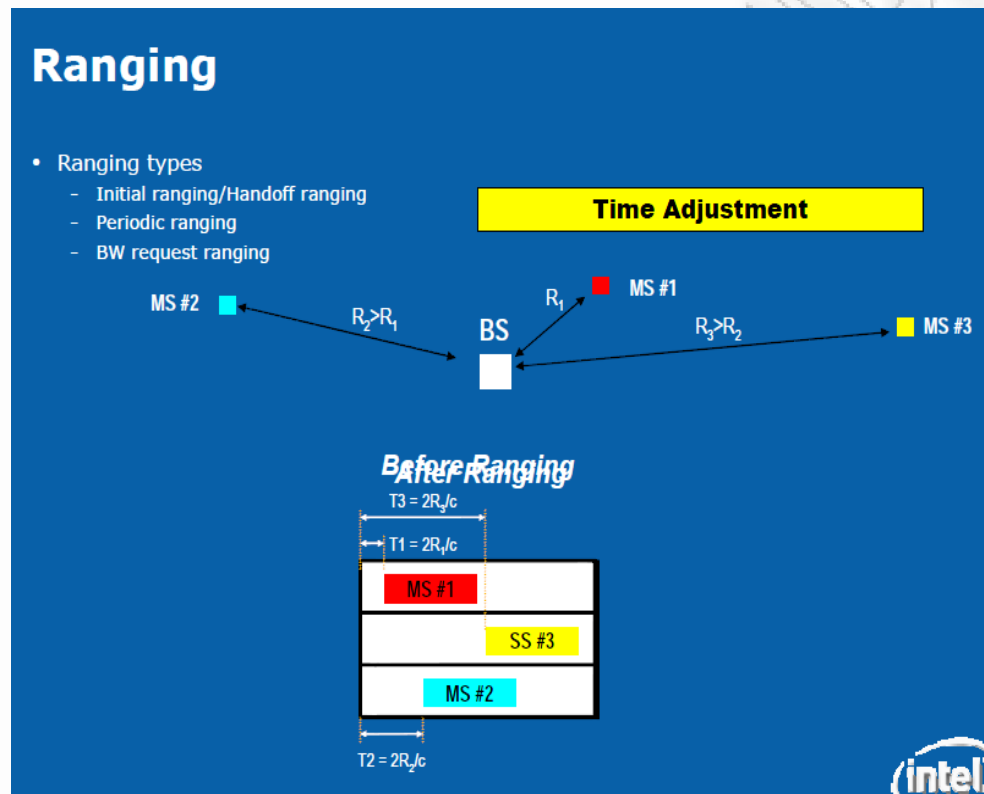


Figure 3.7 Τύποι Ranging [12].

Εκτός από το ranging κανάλι και τα traffic bursts, το uplink subframe έχει ένα κανάλι που λειτουργεί ως δείκτης της ποιότητας του καναλιού «**channel-quality indicator channel**» (**CQICH**) για τον SS για να ανατροφοδοτεί τις πληροφορίες όσον αφορά την ποιότητα του καναλιού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το scheduler του σταθμού βάσης (BS) και ένα κανάλι αναγνώρισης «**acknowledgment channel**» (**ACK**) για το συνδρομητικό σταθμό για να ανατροφοδοτήσουν τις αναγνώρισεις στον downlink.

Ranging

- The process in which the MS acquires frequency, time and power adjustments, after which all MS transmissions are aligned with the UL sub-frame received by the BS
- Process is based on MS transmitting a signal and BS responding with required adjustments (close-loop)

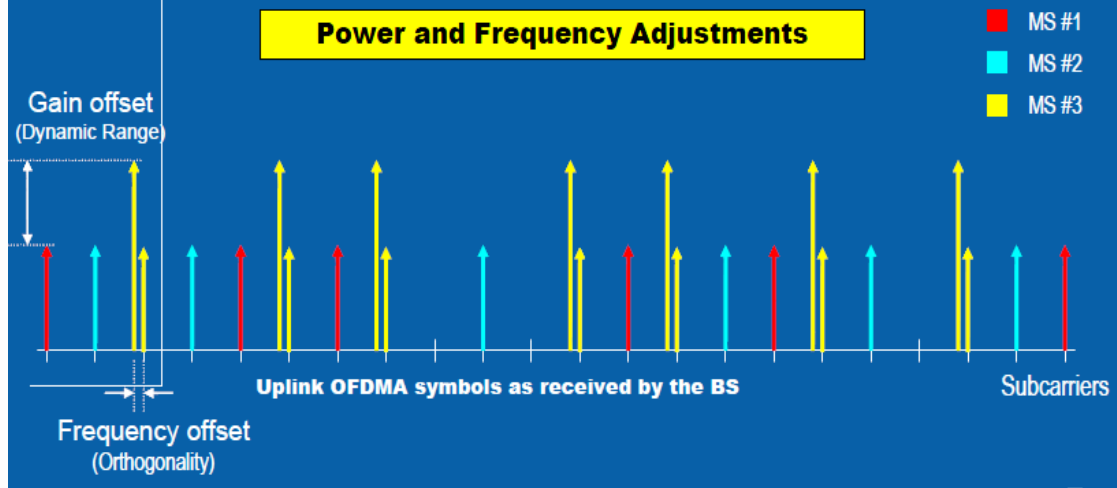


Figure 3.8 Περιορισμοί ως προς την Ισχύ και την Συχνότητα

Για να χειριστεί τις χρονικές παραλλαγές, το **WiMAX** προαιρετικά υποστηρίζει την επανάληψη των (preambles) συχνότερα. Στο Uplink, οι σύντομοι preambles, που αποκαλούνται «midambles», μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά από 8, 16, ή 32 σύμβολα, στο downlink, ένας σύντομος preamble μπορεί να εισαχθεί στην αρχή κάθε burst. Υπολογίζεται ότι έχοντας ένα midamble κάθε 10 σύμβολα επιτρέπεται η κίνηση μέχρι τα 150 kmph.

3.2.2.3 Κώδικες Χρήσης Διαστήματος-Interval Usage Codes (IUC)

Το **DIUC** (Downlink Κώδικας Χρήσης Διαστήματος) περιλαμβάνει:

Το downlink burst profile - CINR για κάθε DIUC (τύπος MCS), το BS EIRP, μέγιστο RSS για το αρχικό ranging, TTG και RTG, H-ARQ ACK καθυστέρηση για το DL burst, τον HO τύπο και παραμέτρους, κ.λπ.

- 0~12 DL Burst Profiles MCS σχήματα που χρησιμοποιούνται στο burst
- 13 Gap/PAPR PAPR και ζώνες ασφαλείας
- 14 Extended DIUC 2 IE ελέγχου
- 15 Extended DIUC IE ελέγχου

Το UIUC (Uplink Κώδικας Χρήσης Διαστήματος) περιλαμβάνει:

Το Uplink burst profile – το CINR για κάθε UIUC (τύπος MCS), την Uplink κεντρική συχνότητα, το UL allocated subchannel bitmap, τους Ranging παραμέτρους, τους Band AMC παραμέτρους, την H-ARQ ACK καθυστέρηση για UL burst, τους UL OLPC παραμέτρους, etc.

- 0 Ταχείας ανάδρασης ζώνη καναλιού-Fast feedback channel Zone για CQI etc.
- 1~10 UL Burst Profiles MCS σχήματα που χρησιμοποιούνται στο burst
- 11 Extended DIUC 2 IE ελέγχου
- 12 CDMA ranging/BW Ranging / BW request zone
- 13 PAPR/Safety PAPR and ζώνες ασφαλείας
- 14 CDMA κατανομή IE για CDMA BW request
- 15 Extended DIUC IE ελέγχου

3.2.2.4 Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση στο WiMAX

Το WiMAX υποστηρίζει ποικίλα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και επιτρέπει στο σχέδιο να αλλάξει σε μια burst-by-burst βάση ανά σύνδεση, ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού. Χρησιμοποιώντας το δείκτη ανατροφοδότησης ποιότητας-καναλιού, ο κινητός σταθμός μπορεί να παρέχει στο σταθμό βάσης ανατροφοδότηση για την ποιότητα του καναλιού στο downlink. Για το uplink, ο σταθμός βάσης μπορεί να υπολογίσει την ποιότητα καναλιού, βασισμένος στη λαμβανόμενη ποιότητα του σήματος.

Ο scheduler του σταθμού βάσης μπορεί να λάβει υπόψη την ποιότητα καναλιού κάθε χρήστη στο uplink και στο downlink και να ορίσει ένα σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που μεγιστοποιεί το throughput για το διαθέσιμο σηματοθορυβικό λόγο. Η προσαρμοστική διαμόρφωση και η κωδικοποίηση αυξάνει σημαντικά τη γενική ικανότητα των συστημάτων, δεδομένου ότι επιτρέπει την σε πραγματικό χρόνο ανταλλαγή (trade off) μεταξύ του throughput και της ευρωστίας σε κάθε σύνδεση.

Η εικόνα 3.9 απεικονίζει τα διάφορα σχήματα προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που υποστηρίζονται από το WiMAX.

Στο downlink, οι QPSK, 16 QAM, και 64 QAM είναι υποχρεωτικές και για σταθερό και για κινητό WiMAX ενώ η 64 QAM είναι προαιρετική στο uplink. Η κωδικοποίηση FEC που χρησιμοποιεί συνελκτικούς κώδικες είναι υποχρεωτική. Οι συνελκτικοί κώδικες συνδυάζονται με έναν εξωτερικό Reed-Solomon κώδικα στο downlink για το OFDM-PHY.

Το πρότυπο υποστηρίζει προαιρετικά τους turbo κώδικες και τους ελέγχους ισότητας χαμηλής πυκνότητας «**low-density parity check**» (**LDPC**) σε μια ποικιλία από code

rates. Ένα σύνολο από 52 συνδυασμούς σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης καθορίζονται στο WiMAX ως burst profiles.

		DL	UL
Modulation		QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM (optional)
Code Rate	CC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	CTC	1/2, 2/3, 3/4, 5/6	1/2, 2/3, 5/6
	Repetition	x2, x4, x6	x2, x4, x6

Figure 3.9 Σχήματα Προσαρμοστικής Διαμόρφωσης και Κωδικοποίησης [12].

3.3 PHY-Layer Data Rates

Επειδή το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι αρκετά ευέλικτο, η απόδοση του data rate ποικίλλει βασισμένη στις παραμέτρους λειτουργίας. Οι παράμετροι που έχουν ένα σημαντικό αντίκτυπο στο **data rate** του φυσικού στρώματος είναι:

- A. Το εύρος ζώνης του καναλιού και
- B. Το σχέδιο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται

Άλλες παράμετροι, όπως ο αριθμός των subchannels, ο OFDM χρόνος ασφαλείας, και το oversampling rate ασκούν επίσης κάποια επίδραση.

Ο πίνακας 3.2 παρακάτω καταγράφει το data rate του φυσικού στρώματος στα διάφορα εύρη ζωνών, καθώς επίσης και σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Τα rates που παρουσιάζονται είναι το συνολικό data rate του φυσικού στρώματος που μοιράζεται μεταξύ όλων των χρηστών στον τομέα για την περίπτωση του TDD, υποθέτοντας μια 3:1 αναλογία downlink-uplink.

Οι υπολογισμοί εδώ υποθέτουν ένα μέγεθος πλαισίου της τάξης των 5 ms, ένα OFDM διάστημα ασφαλείας overhead του 12.5 τοις εκατό, και ένα PUSC σχήμα μεταλλαγής subcarriers. Επίσης υποτίθεται ότι όλα τα χρησιμοποιήσιμα OFDM σύμβολα δεδομένων είναι διαθέσιμα για το traffic των χρηστών εκτός από ένα σύμβολο που χρησιμοποιείται για το overhead του downlink πλαισίου.

Οι αριθμοί που παρουσιάζονται εδώ δεν υποθέτουν χωρική πολυπλεξία χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές στον πομπό ή το δέκτη, η χρήση των οποίων μπορεί να αυξήσει περαιτέρω τα μέγιστα rates σε πλούσια πολυδιαδρομικά κανάλια.

Table 3.2 Το data rate του Φυσικού Στρώματος σε ποικίλα Εύρη Ζώνης

Channel bandwidth	3.5MHz	1.25MHz	5MHz	10MHz	8.75MHz ^a					
PHY mode	256 OFDM	128 OFDMA	512 OFDMA	1,024 OFDMA	1,024 OFDMA					
Oversampling	8/7	28/25	28/25	28/25	28/25					
Modulation and Code Rate	PHY-Layer Data Rate (kbps)									
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
BPSK, 1/2	946	326	Not applicable							
QPSK, 1/2	1,882	653	504	154	2,520	653	5,040	1,344	4,464	1,120
QPSK, 3/4	2,822	979	756	230	3,780	979	7,560	2,016	6,696	1,680
16 QAM, 1/2	3,763	1,306	1,008	307	5,040	1,306	10,080	2,688	8,928	2,240
16 QAM, 3/4	5,645	1,958	1,512	461	7,560	1,958	15,120	4,032	13,392	3,360
64 QAM, 1/2	5,645	1,958	1,512	461	7,560	1,958	15,120	4,032	13,392	3,360
64 QAM, 2/3	7,526	2,611	2,016	614	10,080	2,611	20,160	5,376	17,856	4,480
64 QAM, 3/4	8,467	2,938	2,268	691	11,340	2,938	22,680	6,048	20,088	5,040
64 QAM, 5/6	9,408	3,264	2,520	768	12,600	3,264	25,200	6,720	22,320	5,600

Κεφάλαιο 4^ο

4 Το Media Access Control (MAC)

Το στρώμα MAC, που βρίσκεται επάνω από το φυσικό στρώμα, είναι αρμόδιο για τον έλεγχο και την πολυπλεξία διάφορων τέτοιων συνδέσεων πάνω από το ίδιο φυσικό μέσο.

Σημαντικοί τομείς του MAC στρώματος :

1. Μηχανισμοί πρόσβασης στο κανάλι
2. Ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS)
3. Χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ισχύος
4. Υποστήριξη κίνησης
5. Ασφάλεια
6. Multicast and Broadcast υπηρεσίες

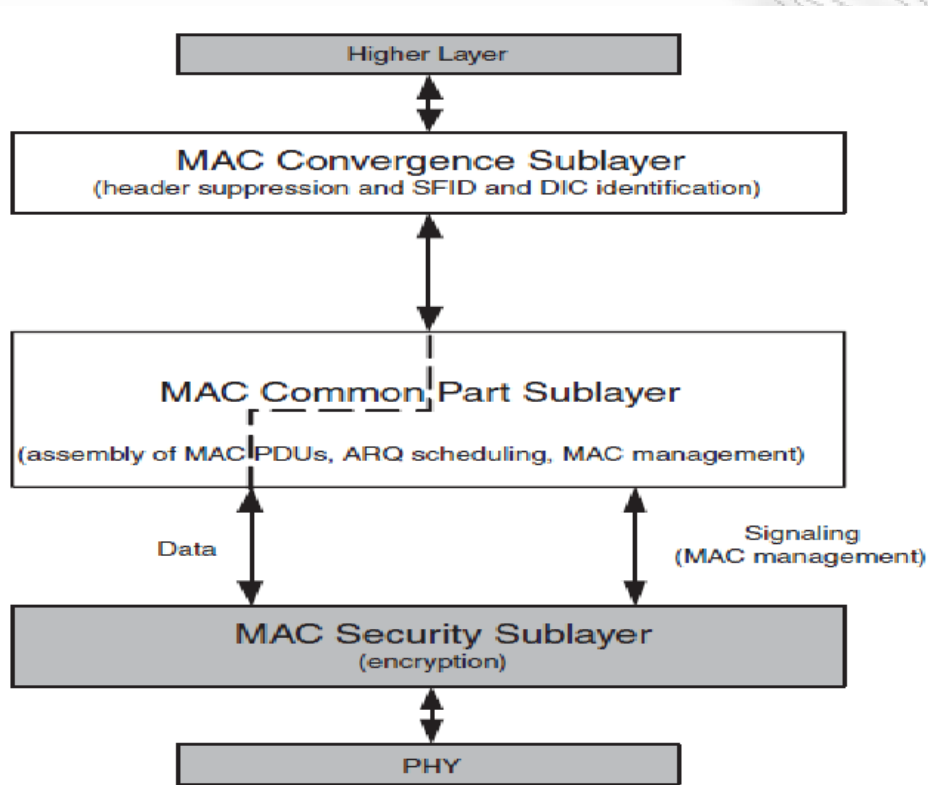
Μερικές από τις σημαντικές λειτουργίες του MAC στρώματος του WiMAX

- Τμηματοποιεί ή συνδέει τα *service data units (SDUs)* που παραλαμβάνονται από υψηλότερα στρώματα στο MAC PDU (*protocol data units*), η οποία είναι η **βασική δομική μονάδα του ωφέλιμου «φορτίου» του MAC στρώματος.**
- Επιλέγει το κατάλληλο burst profile και το επίπεδο ισχύος που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των MAC PDUs
- Αναμεταδίδει τα MAC PDUs που *παραλήφθηκαν λανθασμένα* από το δέκτη όταν χρησιμοποιείται η αυτοματοποιημένη επανάληψη αιτήματος «*automated repeat request*» (ARQ)
- Παρέχει έλεγχο του QoS και χειρισμό της προτεραιότητας των MAC PDUs.
- Προγραμματίζει-Schedule τα MAC PDUs πάνω από τους πόρους του φυσικού στρώματος
- Παρέχει υποστήριξη στα υψηλότερα στρώματα για τη διαχείριση της κίνησης(Traffic)
- Παρέχει ασφάλεια και διαχείριση των «κλειδιών»
- Παρέχει τη λειτουργία εξοικονόμησης ισχύος-(Power Consumption) και τη λειτουργία «μη απασχόλησης -idle mode»

Το IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16e-2005 σχέδιο του MAC περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα σύγκλισης «*convergence sublayer*» που μπορεί να διασυνδεθεί με μια

ποικιλία πρωτοκόλλων υψηλότερων-στρωμάτων, όπως το ATM, το TDM Voice, το Ethernet, το IP, και οποιοδήποτε άγνωστο μελλοντικό πρωτόκολλο. Λαμβάνοντας υπόψη την υπεροχή του IP και του Ethernet στη βιομηχανία, το WiMAX φόρουμ έχει αποφασίσει να υποστηρίξει μόνο το IP και το Ethernet αυτή τη στιγμή.

Figure 4.1 Το MAC στρώμα του WiMAX [5].



Εκτός από την παροχή μιας χαρτογράφησης (mapping) **προς και από** τα υψηλότερα στρώματα, το υπόστρωμα σύγκλισης υποστηρίζει την καταστολή των MSDU headers για να μειώσει τα overheads των υψηλότερων στρωμάτων σε κάθε πακέτο.

Το MAC του WiMAX σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει πολύ υψηλά data rates ενώ παράλληλα για να παραδίδει ποιότητα εξυπηρέτησης (**Qos**) παρόμοια με αυτήν του ATM και του DOCSIS. Το MAC του WiMAX χρησιμοποιεί ένα μεταβλητού-μήκους MPDU και προσφέρει μεγάλη ευελιξία με σκοπό να επιτρέπει την αποδοτική μετάδοσή τους.

Παραδείγματος χάριν, πολλαπλά MPDUs των ίδιων ή διαφορετικών μηκών μπορούν να αθροιστούν σε ένα ενιαίο burst για να εξαλείψουν τα overheads του φυσικού στρώματος. Ομοίως, πολλαπλά MSDUs από την ίδια υπηρεσία ενός υψηλότερου στρώματος μπορούν να συνδεθούν σε ένα ενιαίο MPDU για να σώσουν τα overheads των MAC headers.

Αντιθέτως, μεγάλα MSDUs μπορούν να τεμαχιστούν σε μικρότερα MPDUs και να σταλούν σε πολλαπλά πλαίσια. Η εικόνα παρακάτω παρουσιάζει παραδείγματα των διάφορων πλαισίων της MAC PDU. Κάθε πλαίσιο της MAC προτάσσεται με ένα γενικό **MAC header (GMH)** που περιέχει ένα προσδιοριστή σύνδεσης «**connection**

identifier» (CID), το μήκος του πλαισίου, και bits για να χαρακτηρίσουν την παρουσία του CRC, subheaders, και εάν το ωφέλιμο φορτίο κρυπτογραφείται, τότε με ποιο κλειδί.

Το ωφέλιμο φορτίο του MAC είναι είτε μια μετάδοση είτε ένα μήνυμα διαχείρισης. Εκτός από τα MSDUs, το ωφέλιμο φορτίο μετάδοσης μπορεί να περιέχει αιτήματα εύρους ζώνης ή αιτήματα αναμετάδοσης. Ο τύπος του ωφέλιμου φορτίου μετάδοσης προσδιορίζεται από το subheader του οποίου αμέσως προηγείται.

Το MAC του WiMAX υποστηρίζει επίσης ARQ, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ζητήσει την αναμετάδοση των MSDUs και τεμάχια των MSDUs. Το μέγιστο μήκος πλαισίου είναι 2.047 bytes, το οποίο αντιπροσωπεύεται από 11 bits στο GMH.

Στην εικόνα 4.2 απεικονίζονται παραδείγματα από διάφορα MAC PDU πλαίσια.

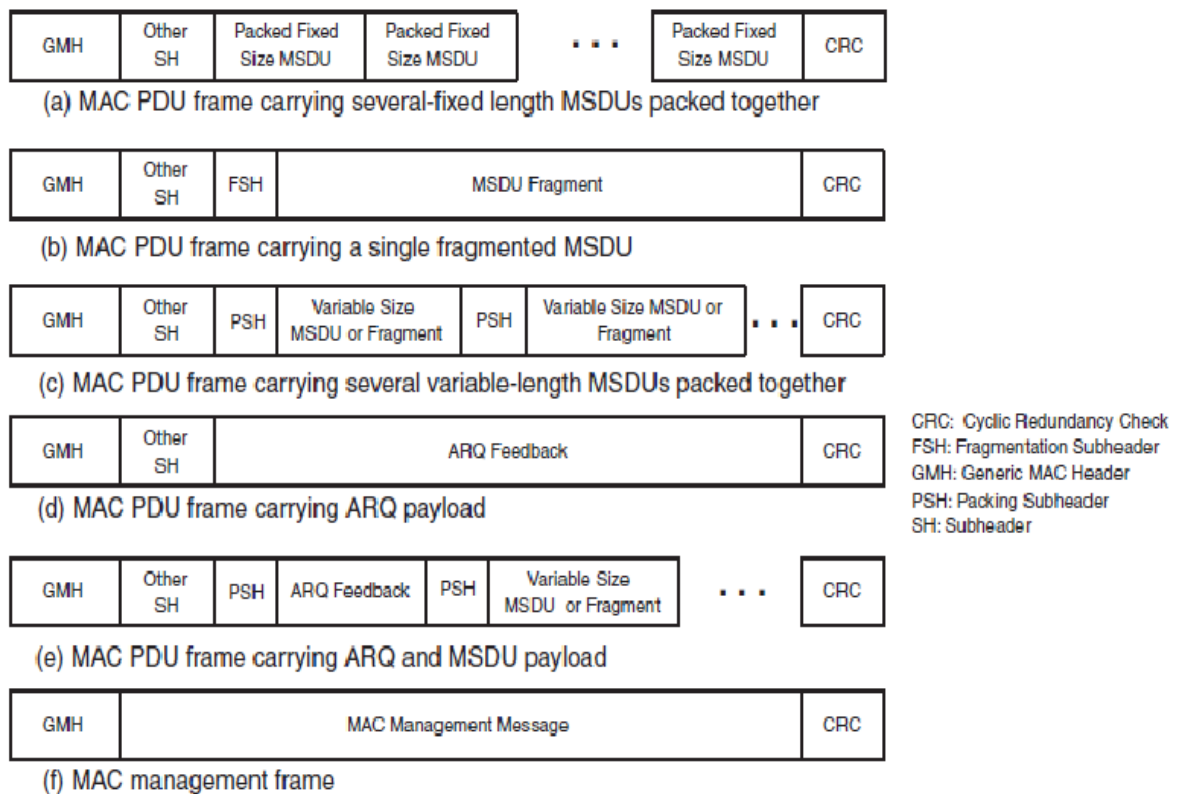


Figure 4.2 Παραδείγματα ποικίλων MAC PDU πλαισίων [5].

MAC PDU Construction

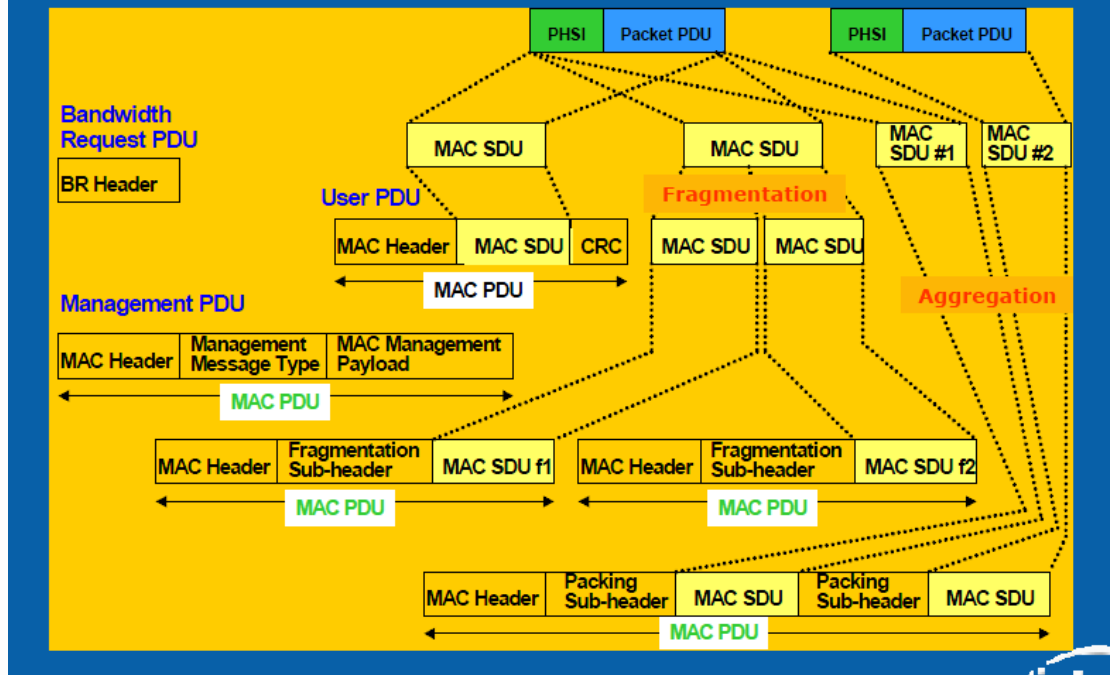


Figure 4.3 Η δομή MAC PDU [12].

4.1 Μηχανισμοί Πρόσβασης Καναλιού

Στο WiMAX, το στρώμα MAC στο σταθμό βάσης είναι πλήρως αρμόδιο για τη διάθεση του εύρους ζώνης σε όλους τους χρήστες, και στο uplink και στο downlink. Ο μόνη στιγμή που ο MS (mobile station) έχει κάποιο έλεγχο της κατανομής εύρους ζώνης είναι όταν έχει πολλαπλές συνόδους ή συνδέσεις με τους BS's (base station).

Σε αυτή την περίπτωση, ο BS διαθέτει ολόκληρο το εύρος ζώνης στους MS's, και εξαρτάται από το κάθε MS να το διανείμει μεταξύ των πολλαπλών συνδέσεων. Όλο το άλλο scheduling στο downlink και uplink γίνεται από το BS. Για το downlink, ο BS μπορεί να διαθέσει εύρος ζώνης σε κάθε MS βασισμένο στις ανάγκες του εισερχόμενου traffic, χωρίς ανάμειξη του MS. Για το uplink, οι κατανομές πρέπει να βασιστούν στα αιτήματα του MS.

Το WiMAX πρότυπο υποστηρίζει διάφορους μηχανισμούς από τους οποίους ένας MS μπορεί να ζητήσει και να λάβει το uplink εύρος ζώνης. Ανάλογα με τις ιδιαίτερες παραμέτρους του QoS και του traffic που συνδέονται με μια υπηρεσία, ένας ή περισσότεροι από αυτούς τους μηχανισμούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον MS.

Ο BS κατανέμει «αφιερωμένους» ή κοινούς πόρους περιοδικά σε κάθε MS, τους οποίους μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να ζητήσουν εύρος ζώνης. Αυτή η διαδικασία καλείται polling. Το polling μπορεί να γίνει είτε χωριστά για τον καθένα MS (unicast) είτε κατά ομάδες (multicast). Το multicast polling γίνεται όταν υπάρχει ανεπαρκές εύρος ζώνης για να κάνει poll ο κάθε MS χωριστά.

Όταν το polling γίνεται multicast, το καταναμεμένο slot για την υποβολή αιτημάτων εύρους ζώνης είναι ένα κοινό slot, το οποίο κάθε MS προσπαθεί να χρησιμοποιήσει. Το WiMAX καθορίζει έναν contention μηχανισμό πρόσβασης και επίλυσης για την περίπτωση που προσπαθούν περισσότεροι από ένας MS να χρησιμοποιήσουν το κοινό slot. Εάν έχει ήδη υπάρξει μια κατανομή-ανάθεση για την αποστολή του traffic, ο MS δεν είναι «polled». Αντ' αυτού, του επιτρέπεται να ζητήσει περισσότερο εύρος ζώνης με το να:

1. Διαβιβάσει ένα αυτόνομο MPDU αίτημα εύρους ζώνης
2. Στείλει ένα αίτημα εύρους ζώνης χρησιμοποιώντας το κυμαινόμενο-ranging κανάλι
3. Στείλει με τη μέθοδο «Piggyback» ένα αίτημα εύρους ζώνης με τα γενικά MAC πακέτα

4.2 Ποιότητα Υπηρεσίας στο MAC Επίπεδο-MAC layer QoS

Το QoS είναι ένας ευρύς και χαλαρός όρος που αναφέρεται στη «συλλογική επίδραση της υπηρεσίας,» όπως γίνεται αντιληπτή από το χρήστη. Για αυτόν τον λόγο, το QoS αναφέρεται λεπτομερέστερα για όσον αφορά την κάλυψη ορισμένων απαιτήσεων και χαρακτηριστικών όπως το throughput, το rate των λάθος πακέτων, την καθυστέρηση, και το jitter, συνδεδεμένα με μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα πρέπει να υποστηρίζουν ποικίλες εφαρμογές, όπως φωνή, δεδομένα, βίντεο, και πολυμέσα, και κάθε μια από αυτές τις εφαρμογές έχει **διαφορετικούς τύπους traffic και διαφορετικές απαιτήσεις QoS**, όπως φαίνεται και στον πίνακα πιο κάτω. Εκτός από τις οριζόμενες από την εφαρμογή QoS απαιτήσεις, τα δίκτυα συχνά χρειάζονται επίσης να επιβάλουν ένα βασισμένο-στην-πολιτική QoS, όπως την παροχή διαφοροποιημένων υπηρεσιών στους χρήστες βασισμένο στα προσυπογεγραμμένα σχέδια των υπηρεσιών τους.

Η μεταβλητότητα στις QoS απαιτήσεις, στις εφαρμογές, στις υπηρεσίες, και στους χρήστες, κάνει πρόκληση την προσαρμογή τους σε ένα δίκτυο ενιαίας-πρόσβασης, ιδιαίτερα στα ασύρματα δίκτυα, όπου το εύρος ζώνης είναι ένα επιπλέον θέμα θα μπορούσαμε να πούμε. *Το πρόβλημα της παροχής QoS στα ασύρματα ευρυζωνικά συστήματα είναι ένα πρόβλημα αποτελεσματικής διαχείρισης των radio πόρων.*

Πρέπει να αναπτυχθούν αποτελεσματικοί αλγόριθμοι προγραμματισμού (scheduling algorithms) που εξισορροπούν τις QoS απαιτήσεις κάθε εφαρμογής και κάθε χρήστη

με τους διαθέσιμους ράδιο πόρους. Με άλλα λόγια, το capacity πρέπει να καταναμηθεί σε σωστές αναλογίες μεταξύ των χρηστών και των εφαρμογών τη σωστή χρονική στιγμή.

Η **πρόκληση** που το πρωτόκολλο του MAC-στρώματος πρέπει να συναντήσει είναι:

- *Ταυτόχρονος χειρισμός πολλαπλών τύπων traffic flows - bursty και συνεχών,*
- *Χειρισμός ποικίλων μεγεθών throughputs,*
- *Χειρισμός των απαιτήσεων λανθάνουσας κατάστασης,*
- *Επίσης απαιτείται ένας αποτελεσματικός μηχανισμός signaling για τους χρήστες, για τις εφαρμογές να υποδείξουν τις QoS απαιτήσεις τους και για το δίκτυο να διαφοροποιείται μεταξύ των διάφορων ροών.*

Η παράδοση του QoS είναι πιο μεγάλη πρόκληση για την κινητή ευρυζωνικότητα-mobile broadband παρότι για τη σταθερή. Η χρονική μεταβλητότητα και η μη προβλεπτικότητα του καναλιού γίνονται οξύτερες, και η πολυπλοκότητα προκύπτει από την ανάγκη να παραδοθούν τα sessions από τη μια κυψέλη στην άλλη καθώς ο χρήστης κινείται στα όρια κάλυψής τους.

Τα handovers προκαλούν την απώλεια πακέτων και εισαγάγουν πρόσθετη λανθάνουσα κατάσταση. Η μείωση της handover λανθάνουσας κατάστασης και της απώλειας πακέτων είναι επίσης μια σημαντική πτυχή της παράδοσης του QoS. Το handover απαιτεί επίσης το συντονισμό των ράδιο πόρων κατά μήκος των πολλαπλών κυψελών. Μέχρι τώρα, η αναφορά μας για το QoS έχει περιοριστεί στην παράδοση του πάνω από ασύρματη σύνδεση.

Από την προοπτική των χρηστών, εντούτοις, η αντιληπτή ποιότητα είναι βασισμένη στην **end-to-end** απόδοση του δικτύου. Για να είναι αποτελεσματικό, επομένως, το **QoS** πρέπει να παραδοθεί **end-to-end**-κατά μήκος του δικτύου, το οποίο μπορεί να περιλάβει, εκτός από την ασύρματη σύνδεση, μια ποικιλία από συναθροίσεις, στοιχεία μεταγωγής, και δρομολόγησης μεταξύ των end points επικοινωνίας.

Τα IP-based δίκτυα αναμένονται να διαμορφώσουν τον μεγάλο όγκο του core δικτύου, και ως εκ τούτου, το **QoS του IP στρώματος** είναι κρίσιμο για την παροχή της **end-to-end** ποιότητας υπηρεσίας.

Το **WiMAX** δανείζεται μερικές από τις βασικές ιδέες του στο design του **QoS** από το πρότυπο του καλωδιακού μόντεμ DOCSIS. Ο ισχυρός έλεγχος του **QoS** επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση μιας προσανατολισμένης προς-τη-σύνδεση αρχιτεκτονικής της MAC, όπου όλες οι downlink και uplink συνδέσεις ελέγχονται από τον εξυπηρετούντα BS. Προτού να συμβεί οποιαδήποτε μετάδοση δεδομένων, ο BS και ο MS εγκαθιστούν μια **ομοιοκατευθυνόμενη (unidirectional)** λογική σύνδεση, αποκαλούμενη ως σύνδεση μεταξύ των peers των δύο MAC στρωμάτων.

Κάθε σύνδεση προσδιορίζεται από ένα **προσδιοριστή σύνδεσης (CID)**, το οποίο χρησιμεύει ως μια προσωρινή διεύθυνση για τις μεταδόσεις δεδομένων πάνω από την ιδιαίτερη σύνδεση. Εκτός από τις συνδέσεις για τη μεταφορά των δεδομένων των χρηστών, το MAC του WiMAX καθορίζει τρεις **συνδέσεις διαχείρισης -τη βασική,**

την **αρχική**, και **δευτερεύουσες συνδέσεις** που χρησιμοποιούνται για λειτουργίες όπως το **ranging**.

Το WiMAX καθορίζει επίσης ένα concept μιας ροής υπηρεσίας. Μια ροή υπηρεσίας-**service flow** είναι μια ομοιοκατευθυνόμενη ροή πακέτων με ένα συγκεκριμένο σύνολο **QoS** παραμέτρων και προσδιορίζεται από ένα προσδιοριστή ροής υπηρεσίας-**service flow identifier (SFID)**.

4.2.1 QoS Παράμετροι

Οι QoS παράμετροι θα μπορούσαν να περιλάβουν:

- Προτεραιότητα κυκλοφορίας(*traffic priority*)
- Μέγιστο συνεχές ποσοστό-rate κυκλοφορίας
- Μέγιστο burst rate
- Ελάχιστο ανεκτό ποσοστό-*Minimum Sustain Rate*
- Τύπος *Scheduling*
- Τύπος *ARQ*
- Μέγιστη καθυστέρηση
- Ανεκτό jitter
- Τύπος και μέγεθος *SDU*
- Μηχανισμός αιτήματος εύρους ζώνης
- Ο σχηματισμός μετάδοσης *PDU*

Οι ροές υπηρεσίας μπορούν να παρέχονται μέσω ενός συστήματος διαχείρισης δικτύου ή να δημιουργηθούν δυναμικά μέσω καθορισμένων μηχανισμών signaling στο πρότυπο. Ο σταθμός βάσης είναι αρμόδιος για την έκδοση του SFID και τη χαρτογράφηση του σε μοναδικά CIDs.

Οι ροές υπηρεσίας μπορούν επίσης να χαρτογραφηθούν στα DiffServ code points ή στις MPLS ετικέτες ροής για να επιτρέψουν end-to-end IP-based QoS.

4.2.2 QoS Scheduling υπηρεσίες-κλάσεις

Για να υποστηρίξει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, το **WiMAX** καθορίζει πέντε **scheduling services** που πρέπει να υποστηριχθούν από το **MAC scheduler** του σταθμού βάσης για μεταφορά δεδομένων πάνω από μια σύνδεση:

1. **Unsolicited grant services (UGS):** Έχει ως σκοπό να υποστηρίξει σταθερού μεγέθους πακέτα δεδομένων με ένα σταθερό-constant bit rate (**CBR**). Παραδείγματα εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτήν την υπηρεσία είναι η T1/E1 επιδίωξη

προσομοίωσης(emulation) και η VoIP χωρίς καταστολή σιωπής-(silence suppression). Οι υποχρεωτικές παράμετροι ροής υπηρεσίας που καθορίζουν αυτήν την υπηρεσία είναι: το μέγιστο συνεχές ποσοστό κυκλοφορίας-**maximum sustained traffic rate**, μέγιστη λανθάνουσα κατάσταση-**maximum latency**, ανεκτό jitter-**tolerated jitter**, και πολιτική αιτήματος/μετάδοσης-**request/transmission policy**.

2. **Real-time polling services (rtPS):** Αυτή η υπηρεσία έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τις σε πραγματικό χρόνο ροές υπηρεσίας, όπως το βίντεο MPEG, που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων σε μια περιοδική βάση.
Οι υποχρεωτικές παράμετροι ροής υπηρεσίας που καθορίζουν αυτήν την υπηρεσία είναι το ελάχιστο διατηρημένο ποσοστό κυκλοφορίας- **minimum reserved traffic rate**, μέγιστο συνεχές ποσοστό κυκλοφορίας- **maximum sustained traffic rate**, μέγιστη λανθάνουσα κατάσταση- **maximum latency**, και πολιτική αιτήματος/μετάδοσης-**request/transmission policy**.
3. **Non-real-time polling service (nrtPS):** Αυτή η υπηρεσία έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τα ανεκτά στην καθυστέρηση- delay-tolerant data streams, όπως είναι ένα FTP, το οποίο απαιτεί μεταβλητού-μεγέθους data grants σε ένα ελάχιστο εγγυημένο rate.
Οι υποχρεωτικές παράμετροι ροής υπηρεσίας για να καθορίσουν αυτήν την υπηρεσία είναι το ελάχιστο διατηρημένο ποσοστό κυκλοφορίας-**minimum reserved traffic rate**, μέγιστο συνεχές ποσοστό κυκλοφορίας-**maximum sustained traffic rate**, προτεραιότητα κυκλοφορίας- **traffic priority**, και πολιτική αιτήματος/μετάδοσης-**request/transmission policy**.
4. **Best-effort (BE) service:** Αυτή η υπηρεσία έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τα data streams, όπως το Web browsing, το οποίο δεν απαιτεί ένα ελάχιστο εγγυημένο επίπεδο υπηρεσίας.
Οι υποχρεωτικές παράμετροι ροής υπηρεσίας για να καθορίσουν αυτήν την υπηρεσία είναι το μέγιστο συνεχές ποσοστό κυκλοφορίας-**maximum sustained traffic rate**, προτεραιότητα κυκλοφορίας-**traffic priority**, και πολιτική αιτήματος/μετάδοσης-**request/transmission policy**.
5. **Extended real-time variable rate (ERT-VR) service:** Αυτή η υπηρεσία έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τις σε πραγματικό χρόνο εφαρμογές, όπως το VoIP με την καταστολή σιωπής, οι οποίες έχουν μεταβλητά - variable data rates αλλά απαιτούν **εγγυημένα data rate** και **καθυστέρηση**. Αυτή η υπηρεσία καθορίζεται μόνο

στο IEEE 802.16e-2005, και όχι στο IEEE 802.16-2004. Αυτό αναφέρεται επίσης ως *Extended real-time polling service (ErtPS)*.

Στην εικόνα παρατηρούμε τις κλάσεις του QoS, τις υπηρεσίες που ανήκουν σε κάθε κλάση και φυσικά τις απαιτήσεις της κάθε υπηρεσίας όπως αναλύθηκαν και πρωτότερα.

QoS–Data Service Types		
QoS Class	Applications	QoS Specifications
UGS Un-Solicited Grant Service	VoIP	Maximum sustained rate Maximum latency tolerance Jitter tolerance
rtPS Real-Time Packet Service	Streaming Audio, Video	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Maximum Latency Tolerance Traffic Priority
ErtPS Extended Real-Time Packet Service	Voice with Activity Detection (VoIP)	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Maximum Latency Tolerance Jitter Tolerance Traffic Priority
nrtPS Non-Real-Time Packet Service	FTP	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Traffic Priority
BE Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing	Maximum Sustained Rate Traffic Priority

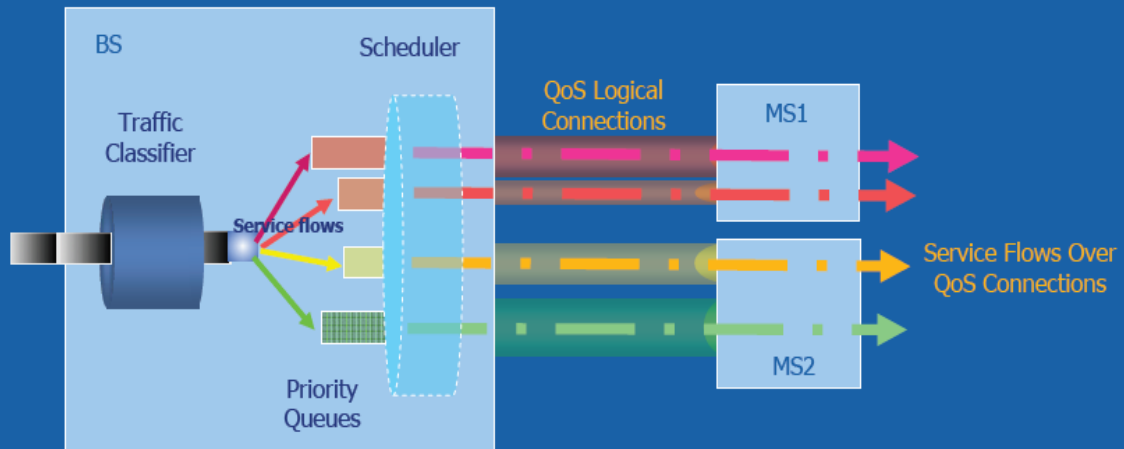
Figure 4.4 Τύποι υπηρεσιών δεδομένων του QoS [12].

4.2.3 Ροή Υπηρεσίας και Λειτουργίες του QoS

Στο WiMAX, μια ροή υπηρεσίας είναι μια MAC υπηρεσία μεταφοράς που παρέχεται για τη μετάδοση του uplink και downlink traffic και είναι μια βασική έννοια της αρχιτεκτονικής του QoS. Κάθε ροή υπηρεσίας συνδέεται με ένα μοναδικό σύνολο παραμέτρων του QoS, όπως η λανθάνουσα κατάσταση, το jitter, το throughput, και το ποσοστό λάθους πακέτων, που το σύστημα προσπαθεί να προσφέρει.

Στην εικόνα 4.5 απεικονίζονται οι λογικές συνδέσεις και οι ροές υπηρεσίας του MAC QoS.

QoS: Connection-Oriented MAC



- Define QoS parameter for each connection
- Dynamically establish QoS-enabled connections
- Associate packets to service flows
- Associate service flows with QoS logical connections

Figure 4.5 Λογικές Συνδέσεις και Ροές Υπηρεσίας του MAC QoS [12].

Μια ροή υπηρεσίας έχει τα ακόλουθα συστατικά:

- **Service flow ID**, έναν 32-μπιτο προσδιοριστή για τη ροή υπηρεσίας.
- **Connection ID**, έναν 16-μπιτο προσδιοριστή της λογικής σύνδεσης που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ροής υπηρεσίας. Το CID είναι ανάλογο με την ταυτότητα ενός MS στο φυσικό στρώμα. Όπως αναφέρεται προηγουμένως, ένας MS μπορεί να έχει περισσότερους από έναν CID τη φορά, δηλ., ένα αρχικό CID και πολλαπλά δευτερεύοντα CIDs. Η διαχείριση του MAC και τα μηνύματα signaling μεταφέρονται με το αρχικό CID.
- **Provisioned QoS parameter set**, οι συνιστώμενες παράμετροι του QoS για να χρησιμοποιηθούν για την ροή υπηρεσίας, που συνήθως παρέχονται από μια οντότητα υψηλότερου-στρώματος.
- **Admitted QoS parameter set**, είναι οι παράμετροι του QoS που διατίθενται ουσιαστικά για τη ροή υπηρεσίας και για τις οποίες ο BS και ο MS διατηρούν τους PHY και MAC πόρους τους. Το admitted QoS parameter set μπορεί να είναι ένα υποσύνολο των provisioned QoS parameter set όταν ο BS δεν είναι ικανός, για ποικίλους λόγους, να αναγνωρίσει την υπηρεσία με το provisioned QoS parameter set.
- **Active QoS parameter set**, είναι οι παράμετροι του QoS που παρέχονται για τη ροή υπηρεσίας οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

- **Authorization module**, είναι η λογική λειτουργία του BS που εγκρίνει ή αρνείται οποιαδήποτε αλλαγή στις παραμέτρους του QoS και στους ταξινομητές που συνδέονται με μια ροή υπηρεσίας.

Οι διάφορες ροές υπηρεσίας που αναγνωρίζονται σε ένα δίκτυο WiMAX ομαδοποιούνται συνήθως σε κλάσεις ροής υπηρεσίας, και κάθε μια προσδιορίζεται από ένα μοναδικό σύνολο QoS απαιτήσεων .

Αυτή η έννοια των κλάσεων ροής υπηρεσίας επιτρέπει σε οντότητες υψηλότερων στρωμάτων στο MS και στο BS να ζητήσουν QoS παραμέτρους με όλους τους συνεπείς τρόπους. Το WiMAX δεν διευκρινίζει ρητά τι είναι οι κλάσεις ροής υπηρεσίας, αφήνοντας το στο φορέα παροχής υπηρεσιών ή στον κατασκευαστή του εξοπλισμού να το καθορίσουν.

Σαν γενική πρακτική, οι υπηρεσίες με πολύ διαφορετικές απαιτήσεις QoS, όπως το VoIP, το Web browsing, το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, και το interactive gaming, συνδέονται συνήθως με διαφορετικές κλάσεις ροής υπηρεσίας.

Η γενική έννοια των κλάσεων ροής υπηρεσίας και της ροής υπηρεσίας είναι εύκαμπτη και ισχυρή και επιτρέπει στον φορέα παροχής υπηρεσιών τον ολικό έλεγχο με πολλαπλούς βαθμούς ελευθερίας για τη διαχείριση του QoS σε όλες τις εφαρμογές.

Στον πίνακα 4.1 παραθέτονται κάποιες ενδεικτικές τιμές των παραμέτρων του Traffic για διαφορετικές υπηρεσίες και εφαρμογές. Ανάλογα την υπηρεσία-εφαρμογή διαφοροποιούνται οι τιμές των παραμέτρων-απαιτήσεων αυτών.

Sample Traffic Parameters for Broadband Wireless Applications

Parameter	Interactive Gaming	Voice	Streaming Media	Data	Video
Data rate	50Kbps–85Kbps	4Kbps–64Kbps	5Kbps–384Kbps	0.01Mbps–100Mbps	> 1Mbps
Example applications	Interactive gaming	VoIP	Music, speech, video clips	Web browsing, e-mail, instant messaging (IM), telnet, file downloads	IPTV, movie download, peer-to-peer video sharing
Traffic flow	Real time	Real-time continuous	Continuous, bursty	Non-real time, bursty	Continuous
Packet loss	Zero	< 1%	< 1% for audio; < 2% for video	Zero	< 10 ⁻⁸
Delay variation	Not applicable	< 20 ms	< 2 sec	Not applicable	< 2 sec
Delay	< 50 ms–150 ms	< 100 ms	< 250 ms	Flexible	< 100 ms

Table 4.1 Ενδεικτικές τιμές των παραμέτρων του Traffic για Broadband Wireless εφαρμογές [5].

Το WiMAX καθορίζει διάφορες παραμέτρους και χαρακτηριστικά γνωρίσματα που διευκολύνουν την εφαρμογή ενός **αποτελεσματικού scheduler**:

- Υποστήριξη για έναν λεπτομερή παραμετρικό καθορισμό των απαιτήσεων του QoS και ποικίλους μηχανισμούς για να επισημάνει αποτελεσματικά τις traffic συνθήκες και τις λεπτομερείς απαιτήσεις του QoS στο uplink
- Υποστήριξη για την **τριδιάστατη** δυναμική κατανομή των πόρων στο MAC στρώμα . Οι πόροι μπορούν να διατεθούν:
 - 1) στον χρόνο (slots χρόνου)
 - 2) στη συχνότητα (subcarriers) και
 - 3) στο χώρο (πολλαπλές κεραίες) σε μια frame-by-frame βάση
- Η υποστήριξη για γρήγορη ανατροφοδότηση πληροφοριών για την ποιότητα του καναλιού ώστε να επιτρέψει στον scheduler να επιλέξει την κατάλληλη κωδικοποίηση και διαμόρφωση (**burst profile**) για κάθε κατανομή-ανάθεση.
- Υποστήριξη για παρακείμενους συνδυασμούς των subcarriers, όπως το AMC, οι οποίοι επιτρέπουν στο scheduler να εκμεταλλευτεί την ποικιλομορφία των πολλών χρηστών με τη ανάθεση κάθε συνδρομητή στο αντίστοιχο ισχυρότερο subchannel του.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή ενός αποτελεσματικού scheduler είναι κρίσιμη για το γενικό capacity και την απόδοση ενός συστήματος WiMAX.

4.2.4 Τα Επίπεδα Προτεραιότητας του QoS

Τα επίπεδα προτεραιότητας του QoS είναι πάρα πολύ σημαντικά και διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο του Traffic. Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζονται τα διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας:

Figure 4.6 Επίπεδα Προτεραιότητας του QoS [12].

QoS Priority Levels

Priority Level	Traffic Type
0	Best Effort
1	Background
2	Standard (Spare)
3	Excellent Load (Business Critical)
4	Controlled Load (Streaming Multimedia)
5	Voice and Video (Interactive Media and Voice) [Less than 100ms latency and jitter]
6	Layer 3 Network Control Reserved Traffic [Less than 10ms latency and jitter]
7	Layer 2 Network Control Reserved Traffic [Lowest latency and jitter]

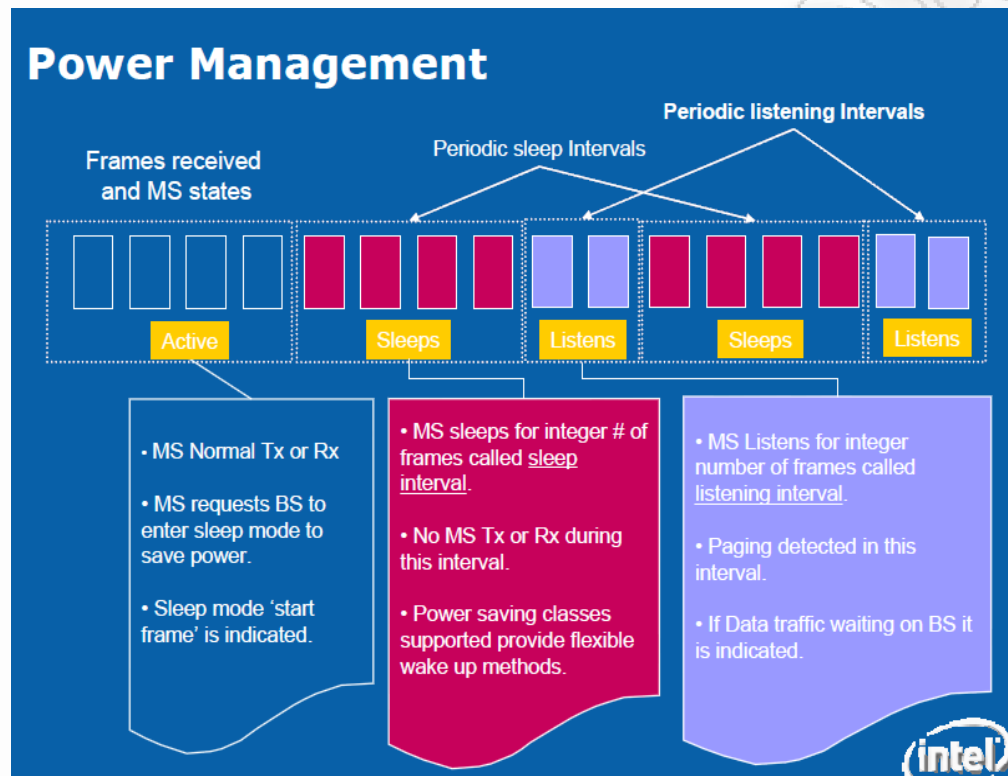
4.3 Τα χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ισχύος-ενέργειας

Για να υποστηρίξει τις φορητές συσκευές με μπαταρία, το mobile WiMAX έχει χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας που επιτρέπουν στους φορητούς συνδρομητικούς σταθμούς να λειτουργήσουν για πιο μακρές διάρκειες χωρίς να πρέπει να επαναφορτιστούν. Η «αποταμίευση» ενέργειας επιτυγχάνεται με το να κλείνει μέρη των MS με έναν ελεγχόμενο τρόπο όταν δεν μεταδίδει ή λαμβάνει δεδομένα.

Το mobile WiMAX καθορίζει μεθόδους signaling που επιτρέπουν στους MS να υποχωρήσουν σε μια κατάσταση ύπνου ή μη απασχόλησης **sleep mode or idle mode** όταν είναι ανενεργός. Η κατάσταση ύπνου είναι μια κατάσταση στην οποία ο MS

κλείνει αποτελεσματικά τον εαυτό του και γίνεται μη διαθέσιμος για προκαθορισμένες περιόδους. Οι περίοδοι απουσίας διαπραγματεύονται-συζητούνται με τον BS που τον εξυπηρετεί. Το WiMAX καθορίζει **τρεις κλάσεις εξοικονόμησης ενέργειας**, βασισμένο στον τρόπο με τον οποίο εκτελείται η κατάσταση ύπνου.

Figure 4.10 Διαχείριση Ισχύος [12].



Όταν βρίσκεται στην **Power Save Class 1**, το παράθυρο ύπνου αυξάνεται εκθετικά από μια ελάχιστη αξία σε μια μέγιστη αξία. Αυτό γίνεται χαρακτηριστικά όταν ο MS κάνει **best-effort** και **non-real-time traffic**. Η **Power Save Class 2** έχει ένα καθορισμένου μήκους παράθυρο ύπνου και χρησιμοποιείται για την **UGS** υπηρεσία. Η **Power Save Class 3** επιτρέπει ένα one-time παράθυρο ύπνου και χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά για **multicast traffic** ή **management traffic** όταν ο MS ξέρει πότε αναμένεται η επόμενη κυκλοφορία.

Εκτός από την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης των MS, η κατάσταση ύπνου συντηρεί τους ράδιο πόρους των BS. Για να διευκολύνει το handoff ενώ βρίσκεται στην κατάσταση ύπνου, ο MS έχει την άδεια να ανιχνεύσει άλλους σταθμούς βάσης για να συλλέξει σχετικές με τα handoff- πληροφορίες. Η κατάσταση μη απασχόλησης επιτρέπει ακόμη μεγαλύτερη αποταμίευση ενέργειας.

Ο MS ανατίθεται σε ένα paging group από τον BS πριν εισέλθει στην κατάσταση μη απασχόλησης, και ο MS ξυπνά περιοδικά για την αναπροσαρμογή του paging group του. Η κατάσταση μη απασχόλησης σώζει περισσότερη ενέργεια από την κατάσταση ύπνου, δεδομένου ότι ο MS δεν είναι απαραίτητο να κάνει register ή handoffs. Η

κατάσταση μη απασχόλησης ωφελεί επίσης το δίκτυο και τον BS με την εξάλειψη του handover traffic από ανενεργούς MSs.

4.4 Mobility Support-Υποστήριξη Κίνησης-Κινητικότητας

Εκτός από τη σταθερή ευρυζωνική πρόσβαση, το WiMAX προβλέπει τέσσερα σενάρια χρήσης σχετικά με το mobility:

1. **Νομαδικότητα-Nomadcity.** Ο χρήστης έχει την άδεια να πάρει έναν σταθερό συνδρομητικό σταθμό και να επανασυνδεθεί από ένα διαφορετικό σημείο.
2. **Φορητότητα-Portability.** Η νομαδική πρόσβαση παρέχεται σε μια φορητή συσκευή, όπως μια PC κάρτα, με την προσδοκία ενός best-effort handover
3. **Απλή κίνηση-Simple mobility.** Ο συνδρομητής μπορεί να κινηθεί σε ταχύτητες μέχρι τα 60 kmph με μικρές διακοπές (λιγότερο από 1 sec) κατά τη διάρκεια του handoff.
4. **Πλήρης κίνηση:** Κίνηση μέχρι τα 120 kmph και ανεπαίσθητο-seamless handoff (λιγότερο από 50 ms λανθάνουσα κατάσταση και απώλεια πακέτων <1%) υποστηρίζεται

Το IEEE 802.16e-2005 πρότυπο καθορίζει ένα πλαίσιο για την υποστήριξη της διαχείρισης του mobility . Πιο συγκεκριμένα, το πρότυπο καθορίζει μηχανισμούς signaling για τους κινητούς συνδρομητικούς σταθμούς καθώς κινούνται από το range κάλυψης ενός σταθμού βάσης προς άλλον όταν είναι ενεργοί ή καθώς αυτοί κινούνται από ένα paging group προς κάποιο άλλο όταν είναι σε κατάσταση μη απασχόλησης. Το πρότυπο έχει επίσης πρωτόκολλα για να επιτρέψει ένα seamless handover των τρεχουσών συνδέσεων από έναν σταθμό βάσης σε κάποιον άλλον.

Το WiMAX φόρουμ έχει χρησιμοποιήσει το πλαίσιο που καθορίζεται στο IEEE 802.16e-2005 για να αναπτύξει περαιτέρω τη διαχείριση του mobility μέσα σε ένα end-to-end πλαίσιο δικτυακής αρχιτεκτονικής. Η αρχιτεκτονική υποστηρίζει επίσης το mobility στο IP στρώμα χρησιμοποιώντας το mobile IP.

Τρεις μέθοδοι handoff υποστηρίζονται στο IEEE 802.16e-2005 εκ των οποίων η μια είναι υποχρεωτική και οι άλλες δύο είναι προαιρετικές:

Η **υποχρεωτική μέθοδος handoff** καλείται **hard handover (HHO)** και είναι ο μόνος τύπος που απαιτείται να εφαρμοστεί από το κινητό WiMAX αρχικά. Η **HHO** υπονοεί μια απότομη μεταφορά της σύνδεσης από έναν BS σε έναν άλλον. Οι handoff αποφάσεις λαμβάνονται από τον BS, τον MS, ή από μια άλλη οντότητα, βασισμένες στα αποτελέσματα της μέτρησης που αναφέρονται από τον MS.

Ο MS κάνει περιοδικά μια ανίχνευση ραδιοσυχνότητας (**RF**) και μετρά την ποιότητα των σημάτων γειτονικών σταθμών βάσης. Η ανίχνευση εκτελείται κατά τη διάρκεια

των διαστημάτων ανίχνευσης που διατίθενται από τον BS. Κατά τη διάρκεια αυτών των διαστημάτων, ο MS έχει την άδεια επίσης να εκτελέσει προαιρετικά αρχικό ranging και για να συσχετιστεί με έναν ή περισσότερους γειτονικούς σταθμούς βάσης.

Μόλις ληφθεί μια απόφαση για handover, ο MS αρχίζει τον συγχρονισμό με την μετάδοση του στοχευόμενου BS στο downlink, εκτελεί το ranging εάν δεν είχε ήδη γίνει κατά την ανίχνευση, και ολοκληρώνει έπειτα τη σύνδεση με τον προηγούμενο BS. Οποιαδήποτε μη διανεμηθέντα MPDUs στον BS διατηρούνται έως ότου λήξει ένας χρονομετρητής.

Οι δύο **προαιρετικές μέθοδοι** handoff που υποστηρίζονται στο IEEE 802.16e-2005 είναι η **fast base station switching (FBSS)** και η **macro diversity handover (MDHO)**.

Σε αυτές τις δύο μεθόδους, ο MS διατηρεί μια έγκυρη σύνδεση ταυτόχρονα-παράλληλα με περισσότερους από έναν BSs.

Στην περίπτωση του **FBSS**, ο MS διατηρεί έναν κατάλογο με τους εμπλεκόμενους BSs, τον αποκαλούμενο και **ενεργό σύνολο-active set**. Ο MS ελέγχει συνεχώς το ενεργό σύνολο, κάνει ranging, και διατηρεί μια έγκυρη ταυτότητα-ID σύνδεσης με κάθε έναν από τους. Ο MS, εντούτοις, επικοινωνεί με μόνο έναν BS, τον αποκαλούμενο anchor BS. Όταν μια αλλαγή του anchor BS απαιτείται, η σύνδεση μεταστρέφεται από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλον χωρίς να πρέπει ρητά να εκτελεί handoff signaling. Ο MS εκθέτει απλά τον επιλεγμένο anchor BS στο CQICH.

Το **MDHO** είναι παρόμοιο με το FBSS, εκτός από το ότι ο MS επικοινωνεί και στο downlink και στο uplink με όλους τους σταθμούς βάσης του ενεργού συνόλου-του αποκαλούμενου εδώ ως **diversity set** ταυτόχρονα. Στο downlink, τα πολλαπλά αντίγραφα που παραλαμβάνονται στον MS συνδυάζονται χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις γνωστές diversity τεχνικές. Στο Uplink, όπου ο MS στέλνει τα στοιχεία σε πολλαπλούς σταθμούς βάσης, η επιλογή diversity εκτελείται για να επιλεγεί το καλύτερο uplink.

Και το FBSS και το MDHO προσφέρουν την ανώτερη απόδοση στο HHO, αλλά απαιτούν το ότι οι σταθμοί βάσης στο ενεργό ή το diversity σύνολο είναι συγχρονισμένοι, χρησιμοποιούν την ίδια carrier συχνότητα, και ότι μοιράζονται τις σχετικές πληροφορίες στην είσοδο του δικτύου. Η υποστήριξη για FBSS και MDHO στα δίκτυα WiMAX δεν αναπτύσσεται πλήρως ακόμα και δεν είναι μέρος του release 1 του WiMAX φόρουμ για τις προδιαγραφές των δικτύων.

4.5 Security-Ασφάλεια

Το πρότυπο περιλαμβάνει τις state-of-the-art μεθόδους για την διασφάλιση της ιδιωτικότητας των στοιχείων του χρήστη και την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, με την πρόσθετη βελτιστοποίηση των πρωτοκόλλων για την κίνηση-κινητικότητα. Η ασφάλεια αντιμετωπίζεται από ένα privacy syblayer μέσα στο MAC του WiMAX.

Έχουμε λοιπόν:

1. **Υποστήριξη της ιδιωτικότητας:** Τα στοιχεία των χρηστών κρυπτογραφούνται χρησιμοποιώντας κρυπτογραφικά σχήματα αποδεδειγμένης ευρωστίας ώστε να παρασχεθεί διασφάλιση της ιδιωτικότητας. Και το AES (**Advanced Encryption Standard**) και το 3DES (**Triple Data Encryption Standard**) υποστηρίζονται.
2. **Αυθεντικοποίηση συσκευών/χρηστών:** Το πλαίσιο της αυθεντικοποίησης είναι βασισμένο στο ομάδα Internet Engineering Task Force (IETF) EAP, που υποστηρίζει ποικίλα πιστοποιητικά, όπως όνομα χρήστη/κωδικός πρόσβασης, ψηφιακά πιστοποιητικά, και έξυπνες κάρτες. Οι τερματικές συσκευές στο WiMAX έρχονται με τα ενσωματωμένα ψηφιακά πιστοποιητικά X.509 που περιέχουν το δημόσιο κλειδί τους και τη MAC διεύθυνση. Οι χειριστές του WiMAX μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα πιστοποιητικά για την αυθεντικοποίηση συσκευών και να χρησιμοποιήσουν ένα όνομα χρήστη/έναν κωδικό πρόσβασης ή την αυθεντικοποίηση των έξυπνων καρτών για την αυθεντικοποίηση των χρηστών
3. **Ευέλικτο πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιών:** Η ιδιωτικότητα και η έκδοση 2 του πρωτοκόλλου διαχείρισης κλειδιών- **Key Management Protocol Version 2(PKMv2)** χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ασφαλώς το υλικό διαμόρφωσης από το σταθμό βάσης στον κινητό σταθμό, και περιοδικά ανανεώνει τα κλειδιά. Το PKM είναι ένα πρωτόκολλο πελάτη-εξυπηρετητή-client-server: ο MS ενεργεί ως πελάτης και ο BS, ως εξυπηρετητής.
4. **Προστασία των μηνυμάτων ελέγχου:** Η ακεραιότητα των μηνυμάτων ελέγχου που μεταδίδονται πάνω από το φυσικό μέσο προστατεύονται με τη χρησιμοποίηση των σχημάτων αφομοίωσης μηνυμάτων(message digest), όπως είναι το AES-based CMAC ή το MD5-based HMAC.
5. **Υποστήριξη για γρήγορο handover:** Για να υποστηρίξει γρήγορα **handovers**, το WiMAX επιτρέπει στον MS να χρησιμοποιήσει προ-αυθεντικοποίηση-preauthentication με έναν συγκεκριμένο στοχευμένο BS για να διευκολύνει την επιταχυνόμενη επανείσοδο. Ένα three-way handshake σχήμα υποστηρίζεται για να βελτιστοποιήσει τους μηχανισμούς επαναυθεντικοποίησης reauthentication για την υποστήριξη γρήγορων handovers, ενώ ταυτόχρονα αποτρέποντας οποιεσδήποτε **man-in-the-middle** επιθέσεις.

4.6 Multicast and Broadcast Υπηρεσίες

Το MAC στρώμα του κινητού WiMAX έχει την υποστήριξη για multicast και broadcast υπηρεσίες (**MBS**). Οι λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις MBS υποστηρίζονται στο πρότυπο και περιλαμβάνουν:

- Μηχανισμούς signaling για τον MS για να ζητήσει και να καθιερώσει τις MBS

- Πρόσβαση του συνδρομητικού σταθμού στις MBS μέσω ενός ή πολλαπλών BS, ανάλογα με την ικανότητα και την επιθυμία του
- MBS σχετικές με QoS και κρυπτογράφηση που χρησιμοποιούν ένα συνολικά καθορισμένο κλειδί κρυπτογράφησης του traffic
- Μια χωριστή ζώνη μέσα στο πλαίσιο της MAC με τις δικές της MAP πληροφορίες για το MBS traffic
- Μέθοδοι για την παράδοση MBS traffic σε συνδρομητικούς σταθμούς που βρίσκονται σε κατάσταση μη απασχόλησης-**idle mode**
- Υποστήριξη για τη macro diversity για να ενισχύσει την απόδοση παράδοσης του MBS traffic

Κεφάλαιο 5^ο

End-to-end IP-based QoS

Από τη σκοπιά της παράδοσης ευρυζωνικών ασύρματων υπηρεσιών σε end-χρήστες, υπάρχουν διάφορες άλλες πτυχές και προκλήσεις που απαιτούν εκτίμηση. Μερικές από τις πρόσθετες προκλήσεις που πρέπει να εξεταστούν περιλαμβάνουν:

1. Πώς παρέχουμε end-to-end ποιότητα υπηρεσίας-εξυπηρέτησης (QoS); Σε τελευταία ανάλυση, η ποιότητα όπως γίνεται αντιληπτή από τον πελάτη είναι ότι παρέχεται από το γενικό δίκτυο, όχι μόνο το ασύρματο air interface .
2. Πώς παρέχουμε call/session υπηρεσίες ελέγχου, συγκεκριμένα για συνόδους πολυμέσων, συμπεριλαμβανομένης της φωνητικής τηλεφωνίας; Πώς είναι αυτές οι sessions οργανωμένες, πως διαχειρίζονται, και που ολοκληρώνονται;
3. Πώς παρέχουμε τις υπηρεσίες ασφάλειας στο δίκτυο; Πώς μπορούν οι συνδρομητές να βεβαιωθούν ότι οι επικοινωνίες τους είναι ασφαλείς, και πώς μπορεί το δίκτυο να προστατευθεί από μη εξουσιοδοτημένη χρήση;
4. Πώς εντοπίζουμε έναν κινητό χρήστη και πώς διατηρούμε μια τρέχουσα session ενώ ένας χρήστης κινείται από την περιοχή κάλυψης ενός σταθμού βάσης σε μια ενός άλλου;

Δεδομένου ότι το WiMAX έχει ως σκοπό πρώτιστα να παρέχει IP-based υπηρεσίες όπως δεδομένα, φωνή, βίντεο, μηνυματοδοσία ή πολυμέσα, υπάρχει μια περιγραφή των IP-based πρωτοκόλλων και της αρχιτεκτονικής και πώς χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις end-to-end απαιτήσεις υπηρεσίας. Το IP σχεδιάστηκε για best-effort δεδομένα και όχι για την υποστήριξη υπηρεσιών που απαιτούν QoS.

Η ανάγκη να υποστηριχθούν τα πολυμέσα και άλλες υπηρεσίες με τις αυστηρές ανάγκες του QoS έχει οδηγήσει σε νέες αναπτύξεις στα IP πρωτόκολλα και την αρχιτεκτονική. Οι εξελίξεις έχουν συμβάλει επίσης για τη βελτιστοποίηση του IP σε ένα capacity-constrained και αναξιόπιστο ασύρματο μέσο.

Αν και σημαντική πρόοδος έχει σημειωθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών, η προσαρμογή του IP στις πρόσθετες προκλήσεις των ασύρματων υπηρεσιών και των υπηρεσιών πολυμέσων συνεχίζει να είναι ένας τομέας ενεργής έρευνας και ανάπτυξης.

Σε αυτό το κομμάτι, συζητάμε το QoS από μια end-to-end προοπτική δικτύου. Πώς παρέχεται το QoS για την επικοινωνία μεταξύ των δύο end points ενός ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου πακέτων, το οποίο εκτός από την ασύρματη σύνδεση μπορεί να περιλάβει διάφορες άλλες συνδέσεις που διασυνδέονται μέσω δρομολογητών, μεταγωγών, και άλλων κόμβων δικτύων;

Οι συνδέσεις μεταξύ των ενδιάμεσων κόμβων μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια ποικιλία τεχνολογιών του στρώματος 2, όπως το ATM, το frame relay, και το Ethernet, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να έχει τις δικές της μεθόδους για να παρέχει QoS.

Παρακάτω υπάρχει μια περιγραφή των γενικών απαιτήσεων και των μεθόδων για την παροχή QoS στα δίκτυα πακέτων και εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο αυτό γίνεται end-to-end χρησιμοποιώντας τις αναδύμενες (emerging) του στρώματος 3 IP QoS τεχνολογίες.

Δεδομένου ότι το WiMAX προβλέπεται να παρέχει end-to-end IP υπηρεσίες και θα υλοποιηθεί πιθανώς χρησιμοποιώντας ένα κεντρικό IP δίκτυο, το IP QoS και η αλληλεπίδρασή του με το ασύρματο link layer είναι ότι πιο σχετικό υπάρχει με την απόδοση του δικτύου WiMAX.

Οι περιορισμοί των πόρων στο δίκτυο είναι αυτό που κάνει την παροχή διαβεβαιώσεων μια πρόκληση.

Παρότι τυπικά, ο πιο περιορισμένος πόρος είναι η ασύρματη σύνδεση, οι άλλοι ενδιάμεσοι κόμβοι και οι συνδέσεις που πρέπει να διασχιστούν για μια end-to-end υπηρεσία έχουν περιορισμούς πόρων επίσης.

Κάθε σύνδεση έχει τα όρια της σε εύρος ζώνης και capacity, και κάθε κόμβος έχει περιορίσει τη μνήμη για την αποθήκευση των πακέτων πριν διαβιβαστούν. Το «Υπερφόρτωμα» του δικτύου για να παρέχει υψηλότερη ικανότητα εύρους ζώνης και μεγαλύτερους buffers είναι ένας ακριβός και ανεπαρκής τρόπος να παρασχεθεί ποιότητα, ιδιαίτερα όταν οι ποιοτικές απαιτήσεις είναι πολύ υψηλές.

Γι'αυτό, εξυπνότερες μέθοδοι για παροχή QoS πρέπει να επινοηθούν και αυτές οι μέθοδοι πρέπει να λάβουν υπόψη τις ιδιαίτερες ανάγκες της εφαρμογής ή της υπηρεσίας και να βελτιστοποιήσουν τους πόρους που χρησιμοποιούνται. Διαφορετικές εφαρμογές απαιτούν ένα διαφορετικό μείγμα από πόρους.

Παραδείγματος χάριν, οι latency-intolerant εφαρμογές απαιτούν γρηγορότερη πρόσβαση στους πόρους και όχι στη μνήμη του εύρους ζώνης, ενώ οι latency-tolerant εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τους πόρους της μνήμης για να αποφύγουν τα πακέτα να γίνονται drop, ενώ περιμένουν την πρόσβαση στους πόρους εύρους ζώνης. Αυτό το γεγονός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραδώσει αποτελεσματικά QoS.

Εν ολίγοις, ένα QoS-δίκτυο πρέπει να παρέχει εγγυήσεις κατάλληλες για διάφορους τύπους εφαρμογών και υπηρεσιών κάνοντας αποδοτική χρήση των πόρων του δικτύου.

5.1 Οι Μηχανισμοί του QoS στα δίκτυα πακέτων

Η παροχή end-to-end QoS απαιτεί μηχανισμούς και στο **επίπεδο ελέγχου(control plane)** και στο **επίπεδο δεδομένων(data plane)**.

Οι μηχανισμοί του **επιπέδου ελέγχου** χρειάζονται για να επιτρέψουν στους χρήστες και στο δίκτυο να διαπραγματευτούν και να συμφωνήσουν σχετικά με τις απαραίτητες προδιαγραφές του QoS, να προσδιορίσουν ποιοι χρήστες και εφαρμογές έχουν δικαίωμα και σε ποιο τύπο του QoS, και να αφήνουν το δίκτυο να διαθέσει κατάλληλα τους πόρους σε κάθε υπηρεσία.

Οι μηχανισμοί του **επιπέδου δεδομένων** χρειάζονται για να επιβάλουν τις συμφωνηθέντες απαιτήσεις του QoS με τον έλεγχο του ποσού των πόρων του δικτύου που κάθε εφαρμογή/χρήστης μπορεί να καταναλώσει.

5.1.1 Μηχανισμοί του επιπέδου ελέγχου

Τέτοιοι μηχανισμοί περιλαμβάνουν:

- Πολιτική διαχείρισης του QoS
- Signaling, και
- Έλεγχος εισόδου

Η πολιτική διαχείρισης του QoS αφορά τον καθορισμό και την παροχή των διάφορων επιπέδων και τύπων των υπηρεσιών του QoS, καθώς επίσης και τη διαχείριση του ποιος χρήστης και ποια εφαρμογή παίρνουν ποιο QoS.

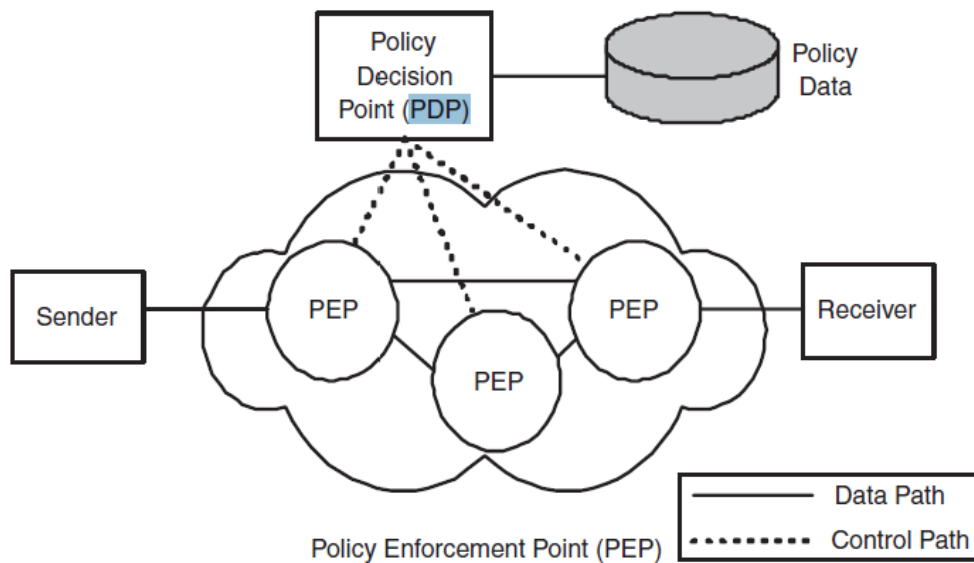


Figure 4.7 Ένα σύστημα πολιτικής της διαχείρισης του QoS

Τα συστατικά του συστήματος περιλαμβάνουν:

- (1) Μια «αποθήκη» πολιτικής, που τυπικά είναι ένας κατάλογος που περιέχει τα στοιχεία πολιτικής, όπως το όνομα χρήστη, εφαρμογές, και τους πόρους δικτύων στους οποίους αυτοί έχουν δικαίωμα
- (2) Σημεία πολιτικής απόφασης-policy decision points (PDP), τα οποία μεταφράζουν τα υψηλότερου επιπέδου πολιτικά δεδομένα σε συγκεκριμένες πληροφορίες διαμόρφωσης για μεμονωμένους κόμβους δικτύων
- (3) Σημεία πολιτικής επιβολής (PEP), τα οποία είναι οι κόμβοι πορείας των δεδομένων που ενεργούν στις αποφάσεις που λαμβάνονται από το PDP και
- (4) Πρωτόκολλα για την επικοινωνία μεταξύ της αποθήκης δεδομένων, του PDP, και του PEP. Τα παραδείγματα αυτών των πρωτοκόλλων περιλαμβάνουν LDAP (lightweight directory access protocol) για την επικοινωνία μεταξύ της πηγής των δεδομένων και του PDP, και COPS (common open protocol services) για την επικοινωνία μεταξύ PDP σε PEP.

To signaling είναι για το πώς ένας χρήστης συναντά τις απαιτήσεις του QoS σε ένα δίκτυο. Οι σηματοδοτικοί μηχανισμοί μπορούν να είναι είτε στατικοί είτε δυναμικοί. Στη στατική περίπτωση, το PDP παίρνει τις υψηλού επιπέδου πολιτικές πληροφορίες στα πολιτικά δεδομένα και δημιουργεί πληροφορίες διαμόρφωσης που ωθούνται κάτω σε κάθε PEP που επιβάλλει τις πολιτικές.

Το πολιτικά δεδομένα δημιουργούνται συνήθως βασισμένα στις συμφωνίες επιπέδου-υπηρεσίας **service-level agreements (SLA)** μεταξύ του χρήστη και του παρόχου του δικτύου. Στη δυναμική περίπτωση, οι απαιτήσεις του QoS επισημαίνονται από το χρήστη ή την εφαρμογή όπως απαιτούνται ακριβώς πριν από τη ροή δεδομένων.

Το **RSVP (resource reservation protocol)** είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τέτοιο signaling. Όταν ένα αίτημα για ένα ορισμένο QoS φθάνει στο PEP, ελέγχει με το PDP για την έγκριση, και, εάν γίνει αποδεκτό, διαθέτει τους απαραίτητους πόρους για την παράδοση του ζητούμενου QoS.

Ο **έλεγχος εισόδου-αποδοχής**, η άλλη σημαντική λειτουργία του επιπέδου ελέγχου, είναι η δυνατότητα ενός δικτύου να ελεγχθεί η είσοδος σε νέα κυκλοφορία, βασισμένη στη διαθεσιμότητα των πόρων. Ο έλεγχος εισόδου-αποδοχής είναι απαραίτητος για να εξασφαλίσει ότι το νέο traffic αναγνωρίζεται στο δίκτυο μόνο εάν τέτοια είσοδος-αποδοχή δεν θα συμβιβάσει την απόδοση του υπάρχοντος traffic.

Ο έλεγχος εισόδου-αποδοχής μπορεί να γίνει είτε σε κάθε κόμβο σε μια per-hop βάση, ακριβώς στο άκρο εισόδου του κόμβου, ή από ένα συγκεντρωμένο σύστημα που έχει γνώση των end-to-end συνθηκών του δικτύου.

5.1.2 Μηχανισμοί του επιπέδου δεδομένων

Αυτές οι μέθοδοι επιβάλλουν το συμφωνηθέν QoS με την ταξινόμηση των εισερχόμενων πακέτων σε διάφορες ουρές αναμονής και τη διάθεση των κατάλληλων πόρων σε κάθε ουρά αναμονής. Η ταξινόμηση γίνεται με την επιθεώρηση των headers των εισερχόμενων πακέτων, η κατανομή των πόρων γίνεται με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων αλγορίθμων χρονοπρογραμματισμού (scheduling) και των διαχείρισης-των-buffer τεχνικών για την αποθήκευση και την προώθηση των πακέτων σε κάθε ουρά.

Υπάρχουν δύο πλήρως διαφορετικές προσεγγίσεις στο πώς αυτές οι ουρές αναμονής καθορίζονται:

- Χειρισμός ανά-ροή
- Συνολικός χειρισμός

Η **πρώτη προσέγγιση** αποκαλούμενη χειρισμός ανά-ροή, είναι να έχει μια χωριστή ουρά αναμονής για κάθε μεμονωμένη σύνοδο ή ροή. Σε αυτήν την περίπτωση, τα πακέτα που ανήκουν σε μια δεδομένη σύνοδο ή μια ροή πρέπει να προσδιοριστούν μεμονωμένα. Για το IP traffic, αυτοί είναι οι πέντε χαρακτηριστικοί τομείς στον IP header:

- IP Διευθύνσεις πηγής και προορισμού-Source and Destination IP addresses
- Port διευθύνσεις πηγής και προορισμού-Source and Destination port addresses

- Πεδία πρωτοκόλλου του στρώματος μεταφοράς-Transport-layer protocol fields.

Οι **IntServ** μέθοδοι καθορίζονται από το IETF χρησιμοποιούν τον χειρισμό ανά-ροή των IP πακέτων.

Από μια end-user προοπτική, ο χειρισμός ανά-ροή τείνει να βελτιώσει την εμπειρική ποιότητα, δεδομένου ότι σε μια δεδομένη σύνοδο χορηγούνται πόροι ανεξάρτητα από άλλες συνόδους. Ο χειρισμός ανά-ροή, εντούτοις, απαιτεί ότι κάθε κόμβος δικτύου κρατά κατάσταση των μεμονωμένων συνόδων και εφαρμόζει ανεξάρτητη επεξεργασία, που γίνεται πολύ δύσκολη ή μη πρακτική όταν ο αριθμός των ροών γίνεται πολύ μεγάλος, ιδιαίτερα στον πυρήνα του δικτύου.

Η **δεύτερη προσέγγιση** είναι να ταξινομηθούν τα πακέτα σε μερικές διαφορετικές γενικές κλάσεις και να τεθεί κάθε κλάση σε μια διαφορετική ουρά αναμονής. Αυτή η προσέγγιση καλείται **συνολικός χειρισμός**, δεδομένου ότι οι ουρές αναμονής εδώ θα αποτελούνται από πακέτα από πολλαπλές συνόδους ή ροές. Εδώ πάλι, κάποια μορφή προσδιορισμού του header των πακέτων χρησιμοποιείται για να καθορίσει σε ποια συνολική κλάση ανήκει το πακέτο.

Το **DiffServ** και το **802.1p** είναι παραδείγματα συνολικών χειρισμών-του-traffic μηχανισμών για τα IP και Ethernet πακέτα, αντίστοιχα. Ο συνολικός χειρισμός μειώνει την διατήρηση της κατάστασης και το λειτουργικό βάρος των κόμβων του δικτύου και είναι πιο εξελίξιμο από τις μεθόδους ανά-ροή. Η ποιότητα από την εμπειρία του χρήστη, εντούτοις, μπορεί να είναι κάπως συμβιβασμένη, δεδομένου ότι επηρεάζεται από το traffic των άλλων.

5.2 Tradeoffs-Ανταλλαγές

Και οι μηχανισμοί επιπέδου ελέγχου και οι μηχανισμοί επιπέδου δεδομένων περιλαμβάνουν τις ανταλλαγές. Υψηλότερη πολυπλοκότητα και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να παρέχει καλύτερες εγγυήσεις για το QoS. Στο επίπεδο ελέγχου, παραδείγματος χάριν, οι αποφάσεις ελέγχου-εισόδου και η αποδοτικότητα της κατανομής των πόρων μπορούν να βελτιωθούν εάν ο χρήστης επισημαίνει τις απαιτήσεις με περισσότερες λεπτομέρειες στο δίκτυο.

Αυτό, εντούτοις, αυξάνει το φορτίο signaling. Η επιβολή fine grained απαιτήσεων του QoS αυξάνει την πολυπλοκότητα των μηχανισμών επιπέδου δεδομένων, όπως ο σχεδιασμός και η διαχείριση των buffers. Οι σχεδιαστές του δικτύου πρέπει να προσπαθήσουν για τη μείωση αυτής της περιττής πολυπλοκότητας και παράλληλα παραδίδοντας σημαντικό QoS.

5.3 Οι τεχνολογίες του IP QoS (IntServ-DiffServ-MPLS)

Κάποια μορφή του QoS μπορεί να παρασχεθεί με το να στηριχθεί σε διαφορετικά end to end πρωτόκολλα του στρώματος μεταφοράς που τρέχουν πάνω από το IP. Παραδείγματος χάριν, το TCP (transport control protocol) εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα μεταφέρονται end-to-end αξιόπιστα χωρίς λάθη. Ομοίως, το RTP (real time

transport protocol) εξασφαλίζει ότι τα πακέτα παραδίδονται σε σειρά και με έναν τρόπο που επιτρέπει για συνεχές playout των media streams.

Αυτά τα πρωτόκολλα του στρώματος μεταφοράς, εντούτοις, δεν έχουν κανέναν μηχανισμό για να ελέγχουν την end-to-end καθυστέρηση ή το throughput που παρέχεται από το δίκτυο.

Για την εξασφάλιση της end-to-end λανθάνουσας κατάστασης και του throughput, οι μηχανισμοί του QoS πρέπει να είναι σε ισχύ στο στρώμα-δικτύου, και η παραδοσιακή IP δεν είχε κανένα αναδυόμενο(emerging) πρωτόκολλο και αρχιτεκτονική για την παράδοση QoS σε ένα IP δίκτυο.

Τρεις από τις σημαντικότερες εξελίξεις-αναπτύξεις είναι:

1. Ενσωματωμένες Υπηρεσίες (IntServ)

2. Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (DiffServ)

3. Μετατροπή ετικετών πολυπρωτοκόλλων (MPLS)

Αυτές οι τρεις εξελίξεις-αναπτύξεις μαζί θα μετασχηματίσουν πιθανώς το παραδοσιακό best-effort, ελεύθερο-για-όλους(free-for-all) IP δίκτυο σε ένα QoS-πιο ικανό και πιο εύχρηστο.

5.3.1 Η Αρχιτεκτονική των Ενσωματωμένων Υπηρεσιών (IntServ)

Η IntServ αρχιτεκτονική είναι σχεδιασμένη να παρέχει «σκληρές» QoS εγγυήσεις σε μια ανά-ροή βάση με σημαντική granularity «κοκκοποίηση» χρησιμοποιώντας την end-to-end δυναμική signaling και την «κράτηση» των πόρων σε όλο το IP δίκτυο.

Η αρχιτεκτονική υποστηρίζει **τρεις τύπους QoS**:

1. Οι **εγγυημένες υπηρεσίες** παρέχουν σκληρές εγγυήσεις ως προς την ποιότητα, συμπεριλαμβανομένων των ποσοτικοποιημένων άνω ορίων στην end-to-end καθυστέρηση και το jitter και τη μηδενική απώλεια πακέτων εξ αιτίας των υπερχειλίσεων των buffer. Αυτή η υπηρεσία στοχεύει να μιμηθεί-προσομοιώσει μια dedicated rate μεταγωγής κυκλώματος υπηρεσίας σε ένα IP δίκτυο.

2. Οι **ελεγχόμενου φορτίου υπηρεσίες** παρέχουν ποιοτικές εγγυήσεις που στοχεύουν να προσεγγίσουν την υπηρεσία που ένας χρήστης θα δοκίμαζε σε ένα ελαφριού φορτίου best-effort δικτύου. Αυτή η υπηρεσία παρέχει ένα εγγυημένο συνεχές rate αλλά καμία διαβεβαίωση ως προς την καθυστέρηση ή την απώλεια πακέτων.

3. Οι **Best-effort υπηρεσίες** δεν παρέχουν καμία εγγύηση και δεν απαιτούν καμία επιφύλαξη

Το IntServ χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο «κράτησης» πόρων-*resource reservation protocol (RSVP)* για να επισημάνει τις end-to-end QoS απαιτήσεις και να κάνει τις end-to-end «κρατήσεις» των πόρων. Τα RSVP μηνύματα μεταφέρουν πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο το δίκτυο μπορεί να προσδιορίσει μια συγκεκριμένη ροή, ποσοτικές παραμέτρους που περιγράφουν τη ροή, τον τύπο υπηρεσίας που απαιτείται για τη ροή, και τις πληροφορίες της πολιτικής, όπως η ταυτότητα των χρηστών και η εφαρμογή.

Οι ποσοτικές παράμετροι που περιγράφουν τη ροή διευκρινίζονται χρησιμοποιώντας το **TSpec** (traffic specifications) πρότυπο. Οι εγγυήσεις των υπηρεσιών παρέχονται εάν και μόνο εάν τα πακέτα στην κυκλοφοριακή ροή συμμορφώνονται-εναρμονίζονται με τις παραμέτρους στο TSpec. *Το TSpec χαρακτηρίζει την κυκλοφορία με τη χρησιμοποίηση ενός tokenbucket μοντέλου με τις ακόλουθες παραμέτρους:*

- μέγιστο-peak rate (p)
- minimum policed unit (m)
- Maximum-μέγιστο μέγεθος πακέτου (M)
- bucket depth (b) και
- bucket rate (ρ).

Μια ροή εξετάζεται αν προσαρμόζεται στο TSpec εφ' όσον το ποσό κυκλοφορίας που παράγεται σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα t είναι λιγότερο από το ελάχιστο $[(M + pt), (b + rt)]$.

Το **TSpec** χρησιμοποιείται από τον αποστολέα για να χαρακτηρίσει την κυκλοφορία-traffic του.

Το **FlowSpec** μια παρόμοια προδιαγραφή χρησιμοποιείται από το δέκτη για να περιγράψει το profile του traffic που θα επιθυμούσε να λάβει. Για τις ελεγχόμενου φορτίου υπηρεσίες, οι FlowSpec παράμετροι είναι ίδιες με αυτές του TSpec, αν και οι τιμές μπορούν να είναι διαφορετικές. Για εγγυημένη υπηρεσία, είναι οι παράμετροι του TSpec συν:

- το rate (R) και
- η slack (S) παράμετρος
- όπου το $R \geq r$ είναι το rate που απαιτείται και το S είναι η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής καθυστέρησης και της καθυστέρησης που θα επιτυγχάνονταν εάν χρησιμοποιούταν το rate R . Ένας κόμβος μπορεί να χρησιμοποιήσει το S για να μειώσει το ποσό των πόρων που διατηρούνται για τη ροή, εάν είναι απαραίτητο.

Σημειώνουμε ότι είναι ο δέκτης που διευκρινίζει το απαραίτητο QoS. Αυτό γίνεται όχι μόνο επειδή ο δέκτης πληρώνει συνήθως για την υπηρεσία αλλά και για να προσαρμόσει την multicast υποδοχή, όπου διαφορετικοί χρήστες μπορούν να λάβουν διαφορετικές μερίδες ή εκδόσεις της υπηρεσίας.

Το multicast διευκολύνεται περαιτέρω αφήνοντας RSVP μηνύματα από πολλαπλούς δέκτες «να συγχωνευθούν» αφότου κάνουν την διαδρομή τους από πολλαπλούς δέκτες πίσω στον αποστολέα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το RSVP κάνει τις «κρατήσεις» μόνο σε μια κατεύθυνση και επομένως απαιτεί δύο χωριστές «κρατήσεις» για διπλής κατεύθυνσης QoS.

Αν και η IntServ αρχιτεκτονική με το RSVP παρέχει το πιο υψηλό επίπεδο εγγύησης για το IP QoS, έχει μερικούς σημαντικούς περιορισμούς.

- 1) Χρησιμοποιεί τον ανά ροή χειρισμό του traffic και επομένως υποφέρει από τα συνοδευτικά ζητήματα της εξελξιμότητας. Φανταστείτε να έχετε να ελέγξετε ροές που σχετίζονται με εκατομμύρια από μεμονωμένες συνόδους στον πυρήνα του δικτύου.
- 2) Η ανάγκη για περιοδική ανανέωση των «μαλακών» πληροφοριών κατάστασης μπορεί να γίνει ένα ανυπόφορο overhead στα μεγάλα δίκτυα.
- 3) Δεδομένου ότι το RSVP δεν τρέχει πάνω από ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφορών, όπως το TCP, τα μηνύματα signaling μπορούν να χαθούν.
- 4) Τα IntServ και RSVP είναι σχετικά σύνθετα στην παροχή και την εφαρμογή.
- 5) Το RSVP απαιτεί επίσης μια υποδομή αυθεντικοποίησης για να εξασφαλίσει την ισχύ των αιτημάτων «κρατήσεων».

Αν και μερικά από αυτά τα ζητήματα αντιμετωπίζονται, έχουν κάνει το **IntServ**:

- A) Ακατάλληλο προς χρήση στα μεγάλα IP core δίκτυα.
- B) Αρκετά αποτελεσματικό στα μικρότερα δίκτυα.

Μια εναλλακτική αρχιτεκτονική, το **DiffServ**, υπερνικά μερικά από τα ζητήματα του **IntServ**.

5.3.2 Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες - Differentiated Services

Αναγνωρίζοντας τα προβλήματα εξελξιμότητας που απέτρεψαν τη ευρεία υλοποίηση του IntServ, το IETF άρχισε να αναπτύσει ένα νέο μοντέλο το 1997 για να παρέχει QoS χωρίς το overhead της signaling και τη συντήρηση της κατάστασης-state maintenance. Αποκαλούμενες διαφοροποιημένες υπηρεσίες, ή DiffServ, το νέο μοντέλο στηρίζεται στο συνολικό χειρισμό του traffic, και όχι τον ανά ροή χειρισμό που χρησιμοποιούταν στο IntServ.

Το DiffServ διαιρεί το traffic σε ένα μικρό αριθμό κλάσεων και μεταχειρίζεται κάθε κλάση διαφορετικά. Το DiffServ χρησιμοποιεί τον προηγουμένως αγνοούμενο τομέα του Τύπου Υπηρεσίας-Type of Service (TOS) στον IP header για το χαρακτηρισμό

των πακέτων σε μια συγκεκριμένη κλάση. Ο χαρακτηρισμός είναι μια 6-μπιτη ετικέτα αποκαλούμενη DiffServ code point (**DSCP**) όπως φαίνεται παρακάτω.

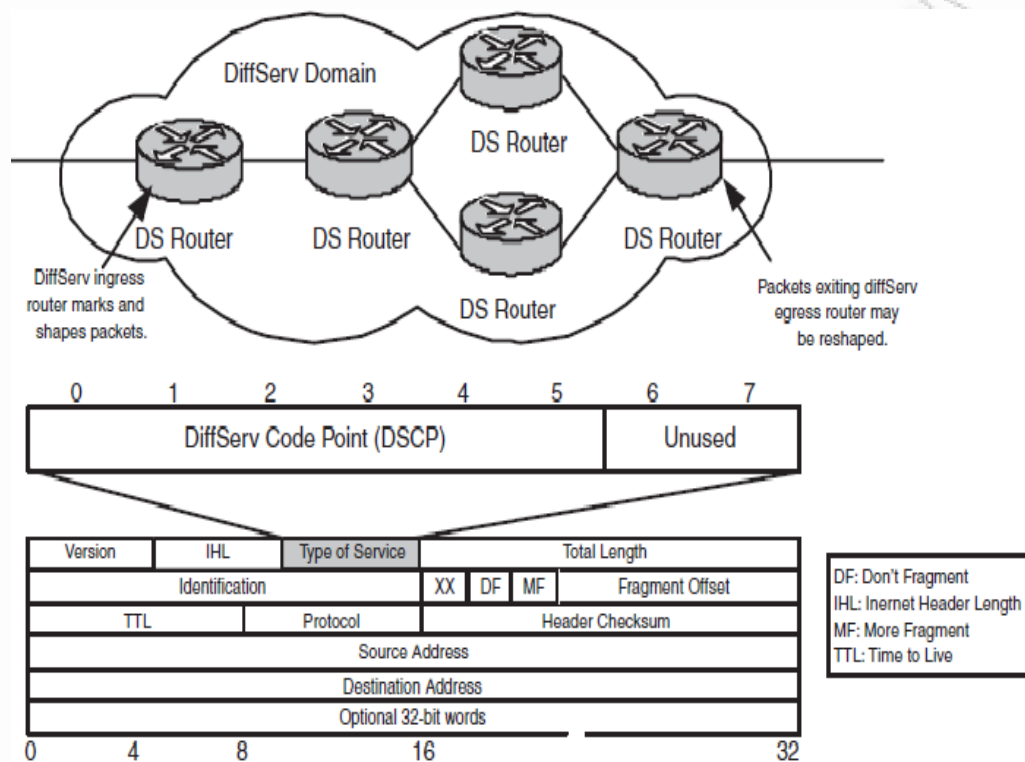


Figure 4.8 Το δίκτυο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών και το DSCP

Η εικόνα παρουσιάζει επίσης μια συλλογή από δρομολογητές που αποτελούν μια DiffServ περιοχή δικτύου

Τυπικά, ένας χρήστης ή μια εφαρμογή που στέλνει traffic σε ένα δίκτυο Diffserv χαρακτηρίζει κάθε διαβιβασθέν πακέτο με το κατάλληλο DSCP. Ο ακραίος δρομολογητής εισόδου ταξινομεί τα πακέτα σε ουρές αναμονής, βασισμένος στο DSCP.

Ο δρομολογητής μετρά έπειτα την υποβληθείσα κυκλοφορία-traffic για την προσαρμογή με τα συμφωνημένα profiles και, εάν τα πακέτα βρεθούν μη συμμορφούμενα, αλλάζει το DSCP των προσβαλλόμενων πακέτων.

Ο ακραίος δρομολογητής εισόδου μπορεί επίσης να κάνει διαμόρφωση του traffic με το να καθυστερήσει ή να ρίξει τα πακέτα ανάλογα με τις ανάγκες. Σε ένα δίκτυο DiffServ, ο ακραίος δρομολογητής κάνει τον έλεγχο εισόδου-αποδοχής και εξασφαλίζει ότι μόνο το αποδεκτό traffic εγγέεται στο δίκτυο.

Όλοι οι άλλοι δρομολογητές μέσα στο δίκτυο DiffServ χρησιμοποιούν απλά το DSCP για να εφαρμόσουν συγκεκριμένη συμπεριφορά αναμονής ή χρονοπρογραμματισμού γνωστή ως μια *per hop behavior-συμπεριφορά (PHB)* - κατάλληλη για την συγκεκριμένη κλάση.

Ένας αριθμός από PHBs μπορεί να καθοριστεί και να επιβληθεί σε ένα DiffServ δίκτυο. Παραδείγματος χάριν, μια PHB μπορεί να εγγυηθεί ένα ελάχιστο μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης σε μια συγκεκριμένη κλάση.

Το IETF έχει προτυποποιήσει δύο PHBs:

1. Η **επισπευσμένη προώθηση-expedited forwarding (EF) PHB** καθορίζεται στο RFC (request for comments). Τα πακέτα που χαρακτηρίζονται για επισπευσμένη προώθηση τους δίνεται η πιο υψηλή προτεραιότητα. Κάθε δρομολογητής απαιτείται να διαθέσει ένα σταθερό ελάχιστο εύρος ζώνης σε κάθε διεπαφή για **EF traffic** και να διαβιβάσει τα πακέτα με την ελάχιστη καθυστέρηση.
Το **EF** χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά για να μιμηθεί-προσομοιώσει ένα εικονικό κύκλωμα για τις ευαίσθητες ως προς την καθυστέρηση εφαρμογές. Για να αποφύγει το **EF traffic** να «πέσει» ή να καθυστερήσει, ο ακραίος δρομολογητής πρέπει να εξασφαλίσει ότι ικανοποιητικοί πόροι είναι διαθέσιμοι πριν εισέλθει DiffServ μέσα στο δίκτυο. Τα πακέτα μπορούν να «πέσουν» εάν ένας χρήστης υπερβεί το συμφωνηθέν μέγιστο rate.
2. Η **σίγουρη προώθηση-assured forwarding (AF)** είναι μια ομάδα από **PHBs** που καθορίζεται στο RFC. Οι **AF** έχουν τέσσερις ανεξάρτητες κλάσεις, που κάθε μια έχει τρία επίπεδα ιεραρχίας «πτώσης-απόρριψης». Σε κάθε κλάση έχει διατεθεί εύρος ζώνης χωριστά, αλλά κανένα δεν είναι εγγυημένο. Εάν οι buffers που διατίθενται για μια δεδομένη κλάση γεμίσουν, τα πακέτα θα απορριφθούν από εκείνη την κλάση, με βάση το επίπεδο προτεραιότητας πτώσης-απόρριψης.

Εδώ πάλι, είναι δουλειά του δρομολογητή εισόδου να χαρακτηρίσει το traffic με τα κατάλληλα επίπεδα κλάσης και προτεραιότητας-ιεραρχίας. Παραδείγματος χάριν, ο δρομολογητής εισόδου μπορεί να χαρακτηρίσει τα πακέτα με διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας πτώσης-απόρριψης, με βάση πόσο καλά προσαρμόζονται-συμμορφώνονται με τις συμφωνίες του επιπέδου υπηρεσίας (**SLAs**).

Οι **PHBs** είναι μεμονωμένοι κανόνες προώθησης που εφαρμόζονται σε κάθε δρομολογητή και από μόνοι τους δεν προσφέρουν οποιεσδήποτε εγγυήσεις για end-to-end QoS. Είναι, εντούτοις, δυνατόν να εξασφαλίσουν **end-to-end QoS** μέσα στην **DiffServ** περιοχή με τον συνδυασμό δρομολογητών με τις ίδιες **PHBs** και περιορίζοντας το rate στο οποίο τα πακέτα υποβάλλονται για οποιοδήποτε **PHB**.

Παραδείγματος χάριν, ένας συνδυασμός από **EF PHBs** κατά μήκος μιας προκαθορισμένης διαδρομής, με προσεκτικό έλεγχο εισόδου-αποδοχής, μπορεί να παράγει μια υπηρεσία παρόμοια με ενός σταθερού bit rate εικονικού κυκλώματος κατάλληλου για τη φωνητική τηλεφωνία. Άλλοι συνδυασμοί από **PHBs** μπορούν να παράγουν μια υπηρεσία κατάλληλη για βίντεο streaming, και ούτω καθεξής.

Αν και στερείται το βαθμό διασφάλισης υπηρεσίας και κοκκοποίησης που προσφέρονται από το IntServ, το DiffServ προσφέρει καλό QoS που είναι εξελκτικό και εύκολο να υλοποιηθεί. Οι DiffServ μηχανισμοί θα υλοποιηθούν για την επίτευξη του QoS, ιδιαίτερα στον πυρήνα των μεγάλων IP δικτύων.

Είναι επίσης δυνατό να χτιστεί ένα δίκτυο που αποτελείται από IntServ περιοχές στις άκρες και DiffServ στον πυρήνα, ώστε να αποκτηθεί το καλύτερο και των δύο αρχιτεκτονικών.

Σε αυτήν την περίπτωση, το IntServ signaling, ο καθορισμός υπηρεσίας, και ο έλεγχος εισόδου-αποδοχής διατηρούνται, με όλες τις ροές που χαρτογραφούνται σε μερικές DiffServ κλάσεις στο όριο μεταξύ της άκρης και του πυρήνα. Όσον αφορά το IntServ, όλος ο DiffServ πυρήνας αντιμετωπίζεται ως μια ενιαία λογική σύνδεση, η οποία πραγματοποιείται με το να γίνει tunneling όλο το IntServ traffic διαμέσου του DiffServ πυρήνα.

TABLE Mapping Rules for IntServ Services

Traffic Class	Bandwidth Requirements	Delay / Jitter / Loss Rate	MAC layer Services
Hard QoS guarantee(eg. VPN tunnel, Leased line E1/T1)	Constant bandwidth	Minimum packet delay, jitter and loss rate	Unsolicited Grant Service
Soft QoS guarantee(eg. VoIP, VOD, digital TV, FTP, gaming.)	Guaranteed	Regular delay, jitter require	Real-Time Polling Service
	Not guaranteed	long delay, jitter require	Non-Real-Time Polling Service
Best effort (eg. HTTP)	Only basic connection	N/A	Best Effort

TABLE II. Mapping Rules for DiffServ Services

Traffic Class	Service Description	DS Octet (DS5-3)	MAC layer Services
Hard QoS guarantee(eg. VPN tunnel, Leased line E1/T1)	Critical	101	Unsolicited Grant Service
Soft QoS guarantee(eg. VoIP, VOD, digital TV, FTP, gaming.)	Flash, Immediate	100 / 011/010	Real-Time Polling Service
	Priority,	001	Non-Real-Time Polling Service
Best effort (eg. HTTP)	Runtime	000	Best Effort

5.3.3 Μετατροπή Ετικετών Πολυπρωτοκόλλων- Multiprotocol Label Switching (MPLS)

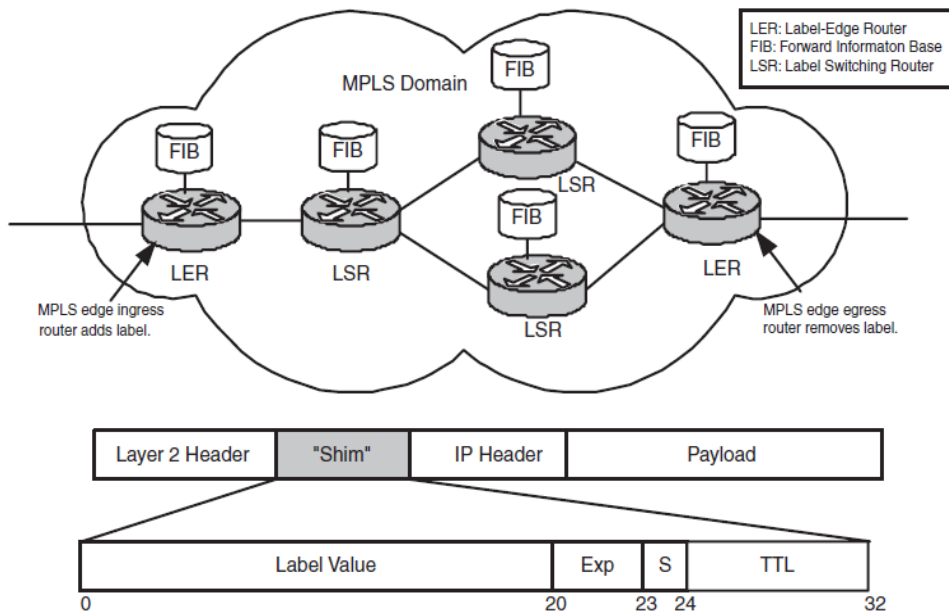
Το MPLS είναι μια άλλη πρόσφατη ανάπτυξη που στοχεύει στη βελτίωση της απόδοσης των IP δικτύων. Αρχικά αναπτύχθηκε ως μέθοδος για την βελτίωση της ταχύτητας προώθησης των δρομολογητών, το MPLS χρησιμοποιείται τώρα ως μηχανικό εργαλείο του traffic και ως μηχανισμός που προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες.

Το MPLS επιτρέπει επίσης πιο «σφιχτή» ενσωμάτωση μεταξύ του IP και του ATM, που βελτιώνουν την απόδοση του IP traffic πάνω από ATM δίκτυα .

Η βασική ιδέα πίσω από το MPLS είναι να εισάγει μεταξύ του στρώματος 2 και των IP headers ενός πακέτου μια νέα καθορισμένου-μήκους «ετικέτα» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στενογραφία «shorthand» για το πώς το πακέτο θα έπρεπε να αντιμετωπιστεί μέσα στο MPLS δίκτυο.

Μέσα σε ένα δίκτυο MPLS, τα πακέτα δεν δρομολογούνται χρησιμοποιώντας IP headers αλλά αντ'αυτού μεταστρέφονται χρησιμοποιώντας την πληροφορία στην ετικέτα.

Figure 4.9



MPLS network and components

Η εικόνα παραπάνω παρουσιάζει τα συστατικά ενός MPLS δικτύου:

Ο δρομολογητής στην άκρη εισόδου ενός **MPLS** δικτύου καλείται ακραίος δρομολογητής ετικέτας εισόδου-**ingress label-edge router (LER)** και είναι αρμόδιος για την εισαγωγή της ετικέτας σε κάθε εισερχόμενο πακέτο και τη χαρτογράφηση του πακέτου σε μια κατάλληλη κλάση προώθησης ισοδυναμίας-**forward equivalence class (FEC)**.

Όλα τα πακέτα που ανήκουν σε μια **FEC** δρομολογούνται κατά μήκος της ίδιας διαδρομής, αποκαλούμενης **label switched path (LSP)** και δίνοντας την ίδια QoS αντιμετώπιση. Το **LSP** καθορίζεται πριν από τη μετάδοση δεδομένων μέσω της χειροκίνητης διαμόρφωσης ή χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα signaling.

Οι ενδιάμεσοι δρομολογητές, αποκαλούμενοι ως δρομολογητές μετατροπής ετικετών-**label switching routers (LSR)**, διατηρούν μια βάση πληροφοριών προώθησης-**forward information base (FIB)** και προωθούν MPLS πακέτα ανατρέχοντας στο επόμενο hop της **FIB**.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η «ετικέτα» έχει μόνο τοπική σημασία και αυτό αντικαθίσταται από το **LSR** με μια νέα ετικέτα όταν τα πακέτα διαβιβάζονται από τον έναν κόμβο στον άλλον κατά μήκος του **LSP**.

Αυτό είναι παρόμοιο με τον εικονικό προσδιοριστή διαδρομής-virtual path identifier /τον εικονικό προσδιοριστή κυκλώματος-virtual circuit identifier (**VPI/VCI**) που χρησιμοποιείται στο **ATM**.

Στην πραγματικότητα, ένας ATM switch θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένας **LSR**, όπου η ετικέτα είναι απλά το VPI/VCI. Η ανταλλαγή και η προώθηση της

ετικέτας συνεχίζεται έως ότου το πακέτο φθάσει στον ακραίο δρομολογητή εξόδου, όπου η ετικέτα διαγράφεται πριν προωθηθεί σε έναν μη-MPLS κόμβο.

Έχοντας προκαθορισμένες διαδρομές, το MPLS επιταχύνει τη διαδικασία αποστολής, αν και με το κόστος της πρόσθετης επεξεργασίας στον ακραίο δρομολογητή που μετατρέπει τα IP πακέτα σε MPLS πακέτα.

Το MPLS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να ανακουφίσει τη συμφόρηση μέσω του traffic engineering (TE). Αντίθετα από τα παραδοσιακά IP δίκτυα που δρομολογούν το traffic αυτόματα μέσω της συντομότερης διαδρομής, το MPLS μπορεί να δρομολογήσει το traffic μέσω κατασκευασμένων διαδρομών που ισορροπούν το φορτίο διάφορων συνδέσεων, δρομολογητών, και κόμβων στο δίκτυο.

Με τέτοια πρωτόκολλα signaling όπως το RSVP-TE ή το LDP-CR, είναι δυνατό σε ένα δίκτυο MPLS να υπολογίσουν τις διαδρομές με μια ποικιλία από περιορισμούς και να διατηρήσουν τους πόρους αναλόγως. Η δυναμική διαχείριση του traffic επιτρέπει στο δίκτυο να λειτουργήσει πιο κοντά στη μέγιστη απόδοση του.

Είναι επίσης δυνατό να κατασκευάσουν διαδρομές για συγκεκριμένες εφαρμογές-για παράδειγμα, να κατασκευάσουν dedicated κυκλώματα με τη διαμόρφωση μόνιμων LSPs για voice traffic ή για virtual private network (VPN) εφαρμογές.

***** Παρόλο που, δεν είναι από μόνος του ένας **end-to-end IP QoS** μηχανισμός, το MPLS παρέχει μια καλή υποδομή πάνω από την οποία το IP QoS μπορεί να εφαρμοστεί.*

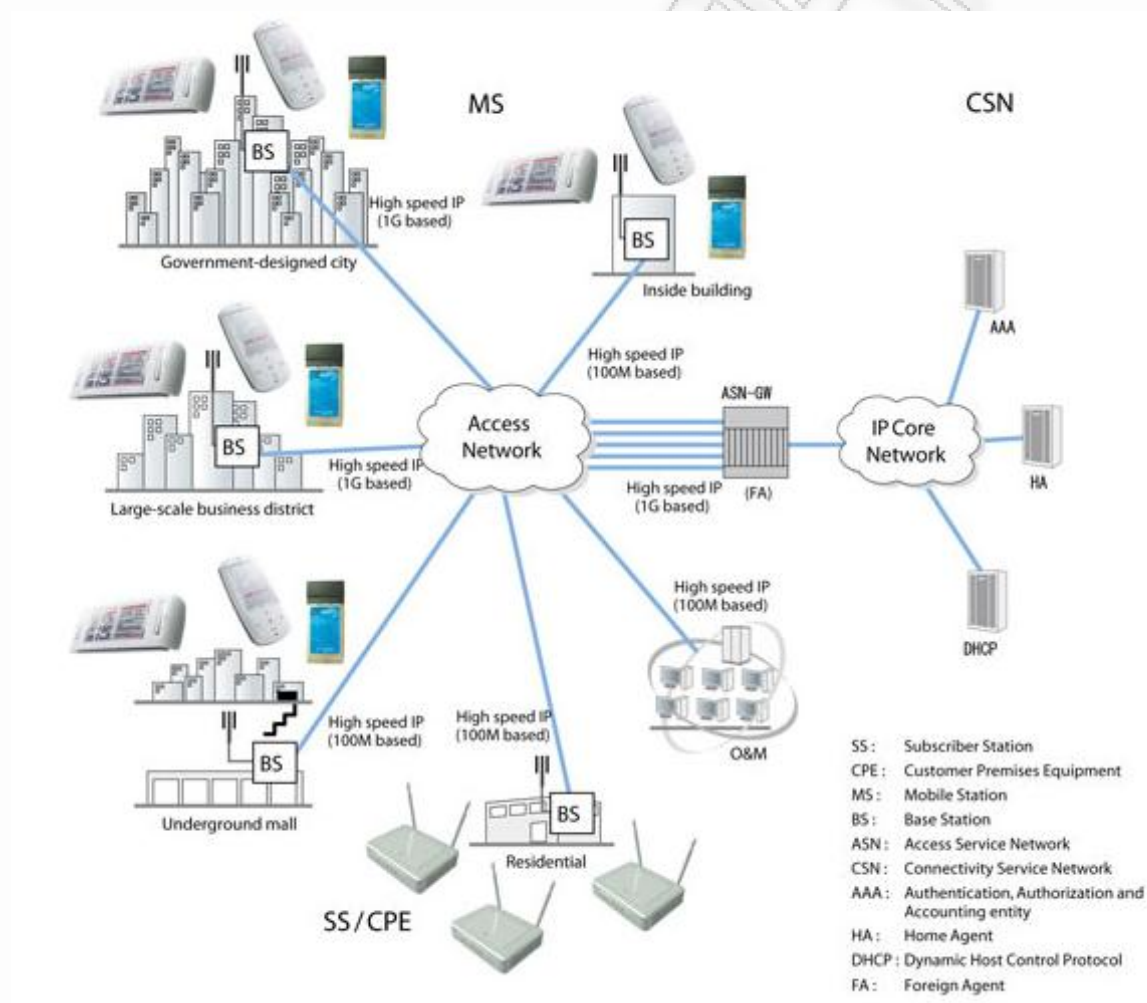
*Και οι μηχανισμοί **IntServ** και **DiffServ** μπορούν να εφαρμοστούν σε μια MPLS υποδομή, αν και το **MPLS-DiffServ** είναι μια πιο κοινή επιλογή. Το MPLS, εντούτοις, σπάει την **end-to-end** αρχή των IP πρωτοκόλλων και βάζει τον έλεγχο στα χέρια του operator του δικτύου.*****

Κεφάλαιο 6°

6 Reference Network Architecture-Αναφορική Δικτυακή Αρχιτεκτονική

Η ομάδα εργασίας δικτύων του WiMAX φόρουμ, είναι αρμόδια για την ανάπτυξη των end-to-end απαιτήσεων, της αρχιτεκτονικής, και των πρωτοκόλλων δικτύων για το WiMAX, χρησιμοποιώντας το IEEE 802.16e-2005 ως το air-interface.

Figure 5.1



Το πρότυπο αναφοράς δικτύων προβλέπει μια ενοποιημένη δικτυακή αρχιτεκτονική για την υποστήριξη των σταθερών, νομαδικών, και κινητών υλοποιήσεων και είναι βασισμένο σε ένα πρότυπο IPυπηρεσιών. Η εικόνα παρουσιάζει παρακάτω απλουστευμένη απεικόνιση μιας IP-based δικτυακής αρχιτεκτονικής του WiMAX.

6.1 Τα Μέρη του Δικτύου

Το γενικό δίκτυο μπορεί να διαιρεθεί λογικά σε τρία μέρη:

- (1) Οι **κινητοί σταθμοί-mobile stations** που χρησιμοποιούνται από τον τελικό χρήστη για να έχει πρόσβαση στο δίκτυο
- (2) Το **δίκτυο υπηρεσιών πρόσβασης -Access Service Network (ASN)**, το οποίο περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μια ή περισσότερες ASN πύλες-gateways που διαμορφώνουν το radio access δίκτυο στην άκρη, και
- (3) Το **δίκτυο υπηρεσιών συνδεσιμότητας-connectivity service network (CSN)**, το οποίο παρέχει τη IP συνδεσιμότητα και όλες οι IP core network λειτουργίες.

Figure 5.2

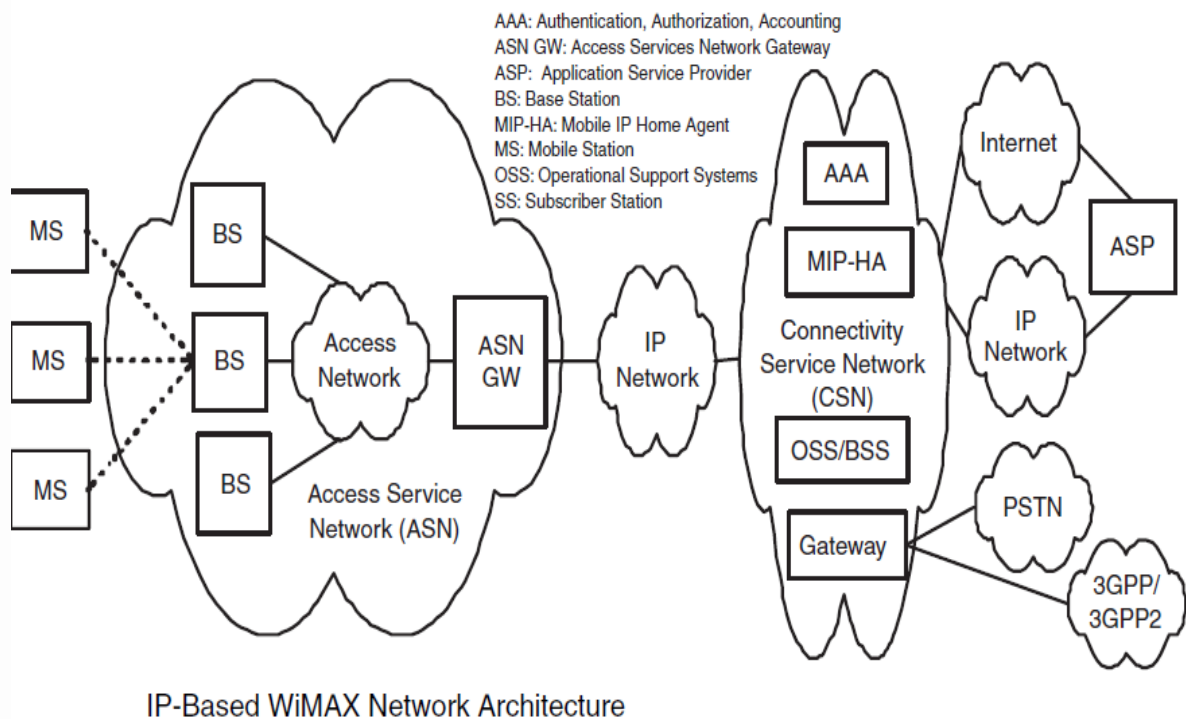
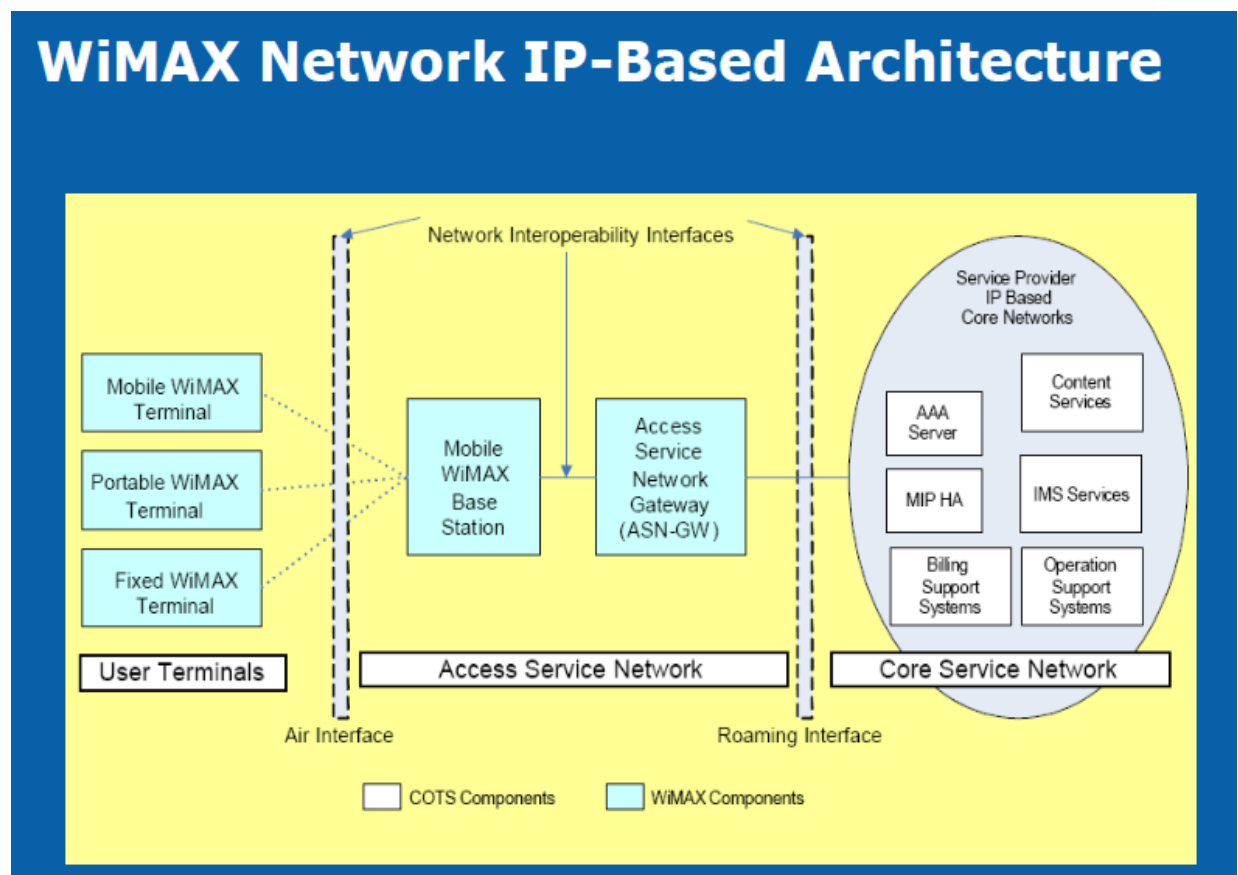


Figure 5.3



Το πλαίσιο αρχιτεκτονικής καθορίζεται έτσι ώστε οι πολλαπλοί φορείς να μπορούν να είναι μέρος της αλυσίδας αξιών και υπηρεσιών του WiMAX.

6.2 Οι Επιχειρησιακές Οντότητες

Πιο συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική επιτρέπει τρεις χωριστές επιχειρησιακές οντότητες:

- (1) **Πάροχος πρόσβασης δικτύου-Network Access Provider (NAP)**, του οποίου ανήκει και χειρίζεται το ASN
- (2) **Προμηθευτής υπηρεσιών δικτύου-Network Services Provider (NSP)**, ο οποίος παρέχει την IP συνδεσιμότητα και τις WiMAX υπηρεσίες στους συνδρομητές χρησιμοποιώντας την ASN υποδομή που παρέχεται από ένα ή και περισσότερα NAP και
- (3) **Πάροχος υπηρεσιών εφαρμογών-Application service provider (ASP)**, ο οποίος μπορεί να παρέχει τις προστιθεμένης αξίας υπηρεσίες όπως οι εφαρμογές πολυμέσων χρησιμοποιώντας το IMS (IP multimedia subsystem)

και εταιρικό VPN (virtual private networks) που τρέχουν στην κορυφή του IP.

Αυτός ο χωρισμός μεταξύ **NAP**, **NSP**, και **ASP** έχει ως σκοπό να επιτρέψει ένα πλουσιότερο «οικοσύστημα» για τη διεξαγωγή παροχής υπηρεσιών του WiMAX, που οδηγεί σε περισσότερο ανταγωνισμό και ως εκ τούτου σε καλύτερες υπηρεσίες.

Το πρότυπο αναφοράς δικτύων που αναπτύσσεται από το WiMAX φόρουμ NWG καθορίζει διάφορες λειτουργικές οντότητες και διασυνδέεται μεταξύ εκείνων των οντοτήτων.

6.3 Οι Λειτουργικές Οντότητες

- **Σταθμός βάσης (BS):**

Οι BSs είναι αρμόδιοι για την παροχή του air interface στους MS.

- a) **Πρόσθετες λειτουργίες που μπορούν να είναι μέρος των BS είναι:**
Λειτουργίες διαχείρισης του micromobility, όπως π.χ να προκαλέσουν handoff
- b) Η καθιέρωση tunnels
- c) Η διαχείριση των ράδιο πόρων
- d) Η επιβολή της πολιτικής του QoS
- e) Η ταξινόμηση του traffic
- f) Το **DHCP (Dynamic Host Control Protocol)** proxy Η διαχείριση κλειδιών
- g) Η διαχείριση συνόδων και
- h) Η διαχείριση ομάδας πολλαπλής διανομής.

- **Πύλη πρόσβασης υπηρεσιών δικτύου (ASN-GW):**

Η πύλη ASN ενεργεί χαρακτηριστικά ως στρώματος 2 σημείο συνάθροισης κυκλοφορίας-(aggregation traffic spot) μέσα σε ένα ASN.

Πρόσθετες λειτουργίες που μπορούν να είναι μέρος της πύλης ASN:

- a) Η διαχείριση και το paging της intra-ASN
- b) Η διαχείριση των ράδιο πόρων
- c) Ο έλεγχος εισόδου-αποδοχής
- d) Η εναποθήκευση των profiles των συνδρομητών και των κλειδιών κρυπτογράφησης
- e) Η AAA λειτουργικότητα των πελατών
- f) Η καθιέρωση και η διαχείριση του mobility tunnel με τους σταθμούς βάσης
- g) Το QoS και η επιβολή της πολιτικής
- h) Η διατήρηση της λειτουργικότητας ξένων agents για το κινητό IP και
- i) Η δρομολόγηση στο επιλεγμένο CSN.

- **Δίκτυο υπηρεσιών συνδεσιμότητας-Connectivity service network (CSN):**

Το CSN παρέχει:

Συνδεσιμότητα στο Διαδίκτυο, ASP, άλλα δημόσια δίκτυα, και εταιρικά δίκτυα.

Το CSN ανήκει στο NSP και περιλαμβάνει:

AAA εξυπηρετητές που υποστηρίζουν την αυθεντικοποίηση των συσκευών, των χρηστών, και συγκεκριμένων υπηρεσιών.

Το CSN παρέχει επίσης:

Ανά-χρήστη πολιτική διαχείρισης του QoS και της ασφάλειας.

Το CSN είναι επίσης αρμόδιο:

- a) Για τη διαχείριση των IP διευθύνσεων
- b) Υποστηρίζει την περιαγωγή-roaming μεταξύ διαφορετικών NSPs
- c) Τη διαχείριση τοποθεσίας μεταξύ ASNs
- d) Την κίνηση και την περιαγωγή-roaming μεταξύ ASNs.

Περαιτέρω, το CSN μπορεί επίσης να παρέχει:

Πύλες και αλληλεπίδραση με άλλα δίκτυα, όπως το **PSTN** (public switched telephone network), το **3GPP**, και το **3GPP2**.

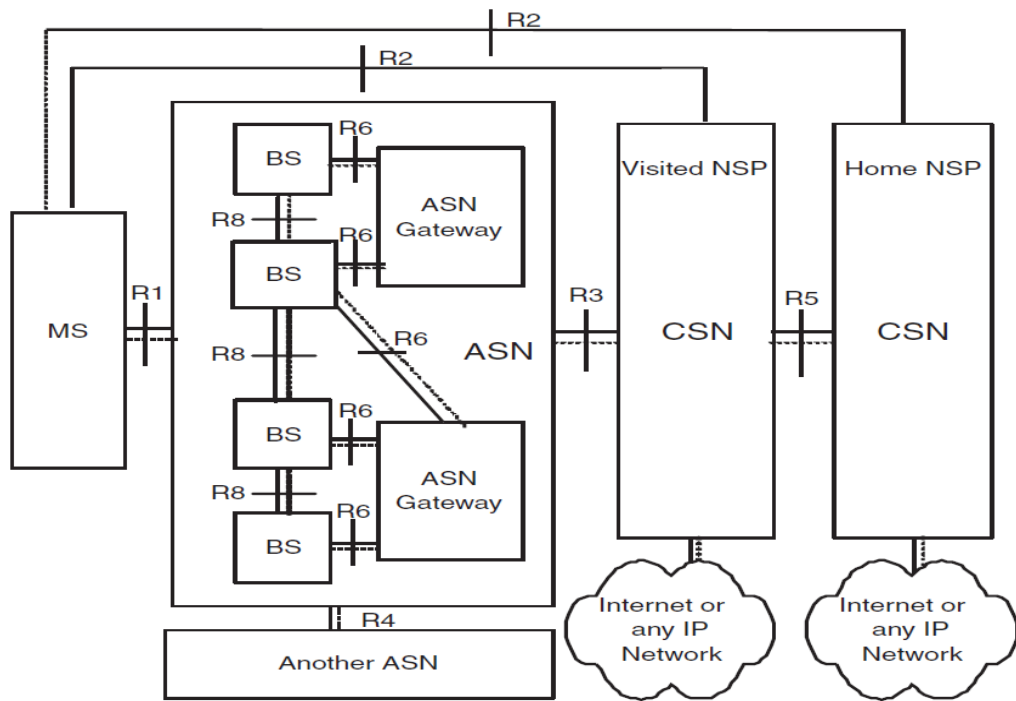
6.4 Τα Σημεία Αναφοράς-Reference Points

Εκτός από τις λειτουργικές οντότητες, η αναφορική αρχιτεκτονική καθορίζει τις διεπαφές, αποκαλούμενες σημεία αναφοράς-*reference points* μεταξύ των οντοτήτων λειτουργίας. Οι διεπαφές φέρουν πρωτόκολλα ελέγχου και διαχείρισης και πρωτόκολλα στρώματος μεταφοράς - σε στήριξη διάφορων λειτουργιών, όπως η κίνηση, η ασφάλεια, και το QoS,

Το WiMAX πρότυπο αναφοράς δικτύου καθορίζει τα σημεία αναφοράς μεταξύ:

1. Ο MS προς το ASN, ονομάζεται R1, το οποίο εκτός από το air interface περιλαμβάνουν πρωτόκολλα στο διοικητικό επίπεδο
2. Ο MS προς το CSN, ονομάζεται R2, το οποίο παρέχει την αυθεντικοποίηση, την έγκριση υπηρεσιών, τη IP διαμόρφωση, και τη διαχείριση της κίνησης
3. Το ASN προς το CSN, ονομάζεται R3, για να υποστηρίξει την επιβολή της πολιτική και τη διαχείριση της κίνησης
4. Το ASN προς το ASN, ονομάζεται **R4**, για να υποστηρίξει την inter-ASN κίνηση,
5. Το CSN προς το CSN, ονομάζεται **R5**, για να υποστηρίξει την περιαγωγή-κατά μήκος πολλαπλών NSPs,
6. Ο BS προς την ASN-GW, ονομάζεται R6, το οποίο αποτελείται από intra-ASN bearer διαδρομές και IP tunnels για τα γεγονότα κίνησης, και
7. Ο BS προς το BS, ονομάζεται R7, για να διευκολύνει γρήγορο, ανεπαίσθητο-seamless handover.

Figure 5.4



Network reference model

Κεφάλαιο 7^ο

Το WiMAX Forum

7.1 Μέλη

Το WiMAX φόρουμ έχει περισσότερα από 800 μέλη, περιλαμβάνοντας την πλειοψηφία των χειριστών, των συστατικών προμηθευτών και των προμηθευτών εξοπλισμού στο οικοσύστημα των επικοινωνιών.

Το WiMAX φόρουμ είναι μια κατευθυνόμενη από τη βιομηχανία, μια μη-κερδοσκοπική οργάνωση διαμορφωμένη για να πιστοποιήσει και να προωθήσει τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα των ευρυζωνικών ασύρματων προϊόντων που βασίζονται στα εναρμονισμένα IEEE 802.16/ETSI πρότυπα και HiperMAN. Ένας από τους στόχους του WiMAX φόρουμ είναι να επιταχυνθεί η εισαγωγή αυτών των συστημάτων στην αγορά.

Τα Certified™ προϊόντα του φόρουμ του WiMAX είναι πλήρως διαλειτουργικά και υποστηρίζουν σταθερές, νομαδικές, και κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες. Σύμφωνα με αυτές τις γραμμές, το WiMAX φόρουμ εργάζεται πολύ κοντά με τους φορείς παροχής υπηρεσιών και τους ρυθμιστές για να εξασφαλίσει ότι τα επικυρωμένα συστήματα του WiMAX φόρουμ καλύπτουν τις απαιτήσεις των πελατών και των κυβερνήσεων.

7.2 Όραμα και Αποστολή

Όραμα

Προωθεί την καθολική υιοθέτηση WiMAX™ ως ασύρματη ευρυζωνική τεχνολογία Διαδικτύου της επιλογής «οποτεδήποτε, οπουδήποτε»

Αποστολή

Το WiMAX φόρουμ είναι η παγκόσμια κοινοπραξία που εστιάζει στην παγκόσμια υιοθέτηση του WiMAX και προσηλωμένοι στην καθιέρωση των διαδικασιών πιστοποίησης που επιτυγχάνουν τη διαλειτουργικότητα, δημοσιεύουν τεχνικές προδιαγραφές βασισμένες σε αναγνωρισμένα πρότυπα, προωθούν την τεχνολογία και επιδιώκουν ένα ευνοϊκό ρυθμιστικό περιβάλλον.

7.3 Στρατηγικοί στόχοι

Καθιερώνει οικονομικά-αποδοτικές και έγκαιρες διαδικασίες πιστοποίησης και υποδομή πιστοποίησης για το WiMAX για να πετύχει διαλειτουργικότητα συσκευών και δικτύων.

- Να εξασφαλίσει ότι η διαδικασία πιστοποίησης του WiMAX φόρουμ έχει αξία και εμπιστεύεται από τους προμηθευτές δικτύων, τους φορείς παροχής υπηρεσιών και τους καταναλωτές παγκοσμίως.

- Να εξασφαλίσει έγκαιρη διαθεσιμότητα των δοκιμών προδιαγραφής και των απαιτήσεων πιστοποίησης.
- Να εξασφαλίσει ότι η δοκιμή της υποδομής είναι σε θέση να ικανοποιήσει τη παγκόσμια ανάγκη για οικονομικός αποδοτική πιστοποίηση του WiMAX.

Δημοσιεύει τις τεχνικές προδιαγραφές για να επιτύχει ένα εμπορικά βιώσιμο παγκόσμιο οικοσύστημα για το WiMAX.

Παραδίδει υψηλής ποιότητας τεχνικές προδιαγραφές βασισμένες στο IEEE 802.16 πρότυπο για να επιτρέψει μια υψηλής απόδοσης end-to-end αρχιτεκτονικής δικτύων Ίντερνετ που υποστηρίζει σταθερούς, φορητούς, νομαδικούς και κινητούς χρήστες.

- Να καθιερώσει έναν οδικό χάρτη τεχνολογίας WiMAX για να υποστηρίξει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών και σεναρίων περίπτωσης χρήσης, και να ενθαρρύνει ένα γερό οικοσύστημα.
- Να επιτρέψει global roaming για τα WiMAX-to-WiMAX δίκτυα και στα δίκτυα που ικανοποιούν τη ζήτηση στην αγορά για ευκολία χρήσης.
- Να επιτρέψει την αλληλεπίδραση των WiMAX δικτύων με άλλα ασύρματα δίκτυα.
- Να εξασφαλίσει ότι το WiMAX υποστηρίζει την συνύπαρξη με άλλες ασύρματες τεχνολογίες για να παρέχει πρόσβαση σε ένα ευρύ σύνολο ζωνών συχνότητας.

Προωθεί το εμπορικό σήμα και την τεχνολογία για να καθιερώσει το WiMAX ως τον παγκόσμιο leader στην αγορά για την ασύρματη ευρυζωνικότητα.

- Προωθεί ελκυστικές υπηρεσίες και οικονομικής αξίας προτάσεις για να ενθαρρυνθεί την ζήτηση των χρηστών.
- Προάγει το WiMAX για να εξασφαλίσει διαθεσιμότητα φάσματος και ένα ευνοϊκό ρυθμιστικό περιβάλλον.
- Προωθεί τα πλεονεκτήματα του WiMAX για να διευκολύνει την αύξηση του οικοσυστήματος παγκοσμίως.

7.4 Ομάδες Εργασίας

Το WiMAX Forum® έχει οργανώσει τις ακόλουθες ομάδες εργασίας για να επιληφθούν τους κρίσιμους τομείς και να εστιάσουν στο να φέρουν τα Certified™ προϊόντα του WiMAX φόρουμ στην αγορά:

7.4.1 Ομάδα Εργασίας Εφαρμογών

Θέμα Εργασίας: Χαρακτηρίζει και καταδεικνύει τις καλύτερες πρακτικές λύσεις στις φιλικές προς το χρήστη κατηγορίες εφαρμογών, εξασφαλίζει ότι οι διάφορες εφαρμογές είναι ανταγωνιστικές με τις υπάρχουσες τεχνολογίες.

7.4.2 Ομάδα Εργασίας Πιστοποίησης

Θέμα Εργασίας: Διαχειρίζεται το πρόγραμμα πιστοποίησης του WiMAX φόρουμ μέσω της επιλογής και της παράλειψης των εργαστηριακών δοκιμών πιστοποίησης, η αξιολόγηση των δοκιμαστικών επιλογών και της ενσωμάτωσης των βασικών profiles συστημάτων της τεχνικής ομάδας εργασίας, PICS και TSS & TP παραδοτέα για να εξασφαλίσει ότι τα προϊόντα πιστοποιούνται κάτω από τα υψηλότερα ηθικά και τεχνικά πρότυπα.

7.4.3 Ομάδα εργασίας για το Global Roaming

Θέμα Εργασίας: Βεβαιώνει τη διαθεσιμότητα της global roaming(παγκόσμια περιαγωγή) υπηρεσίας για την τεχνολογία WiMAX κατά έγκαιρο τρόπο όπως απαιτείται από την αγορά.

7.4.4 Ομάδα Εργασίας Μάρκετινγκ

Θέμα Εργασίας: Οδηγεί στην παγκόσμια υιοθέτηση του WiMAX-“ασύρματη ευρυζωνική συνδεσιμότητα οποτεδήποτε, οπουδήποτε”.

7.4.5 Ομάδα Εργασίας Δικτύου

Θέμα Εργασίας: Δημιουργεί τις end-to-end προδιαγραφές δικτύωσης και διαλειτουργικότητας δικτύων (NWIOT) για τα σταθερά, νομαδικά, φορητά και κινητά συστήματα WiMAX, πέρα από ότι καθορίζεται στο πεδίο IEEE 802.16. Οι προδιαγραφές θα βασιστούν σε εναρμονισμένες απαιτήσεις που παραδίδονται από την ομάδα εργασίας φορέων παροχής υπηρεσιών και σε απαιτήσεις από άλλες οργανώσεις εφόσον κριθούν κατάλληλες.

7.4.6 Ομάδα εργασίας για τις Ρυθμίσεις

Θέμα Εργασίας: Προωθεί την παγκόσμια πρόσβαση στο φάσμα «κατάλληλο για το σκοπό» για επικυρωμένα συστήματα WiMAX του φόρουμ με ικανοποιητική εναρμόνιση των φασμάτων συχνότητας ώστε να διευκολυνθούν σημαντικά οι οικονομίες κλίμακας και επίσης να ενθαρρύνει την υιοθέτηση των κατάλληλων ρυθμιστικών πλαισίων βασισμένων σε αρχές της τεχνολογίας και ουδετερότητας των υπηρεσιών, που επιτρέπει στους φορείς παροχής υπηρεσιών να υλοποιήσουν τις πιο κατάλληλες λύσεις για τις αγορές τους. Για να επιτύχει αυτούς τους στόχους, το RWG είναι η κεντρική αρχή μέσα στα πλαίσια του WiMAX φόρουμ στο φάσμα και τα θέματα ρυθμίσεων.

7.4.7 Ομάδα εργασίας για τους φορείς παροχής υπηρεσιών

Θέμα Εργασίας: Παρέχει συντονισμένο input από φορείς παροχής υπηρεσιών σε άλλες ομάδες εργασίας και στον φόρουμ WiMAX Board. Η συμμετοχή είναι ανοικτή σε όλα τα μέλη του WiMAX φόρουμ. Η ομάδα εργασίας για τους φορείς παροχής υπηρεσιών είναι η μόνη πηγή για συντονισμένες συστάσεις και απαιτήσεις που οδηγούν τις προδιαγραφές δικτύου και air interface για τα WiMAX δίκτυα και προϊόντα.

7.4.8 Τεχνική ομάδα εργασίας

Εργασίας: Αναπτύσσει τις τεχνικές προδιαγραφές των προϊόντων και τις ακολουθίες δοκιμών πιστοποίησης για το air interface βασισμένες στο OFDMA του φυσικού στρώματος, συμπληρωματικά στα IEEE 802.16 πρότυπα, πρώτιστα με σκοπό τη διαλειτουργικότητα και την πιστοποίηση των κινητών σταθμών, των συνδρομητικών σταθμών και των σταθμών βάσης που προσαρμόζονται στα IEEE 802.16 πρότυπα.

Κεφάλαιο 8^ο

Validation-Επικύρωση

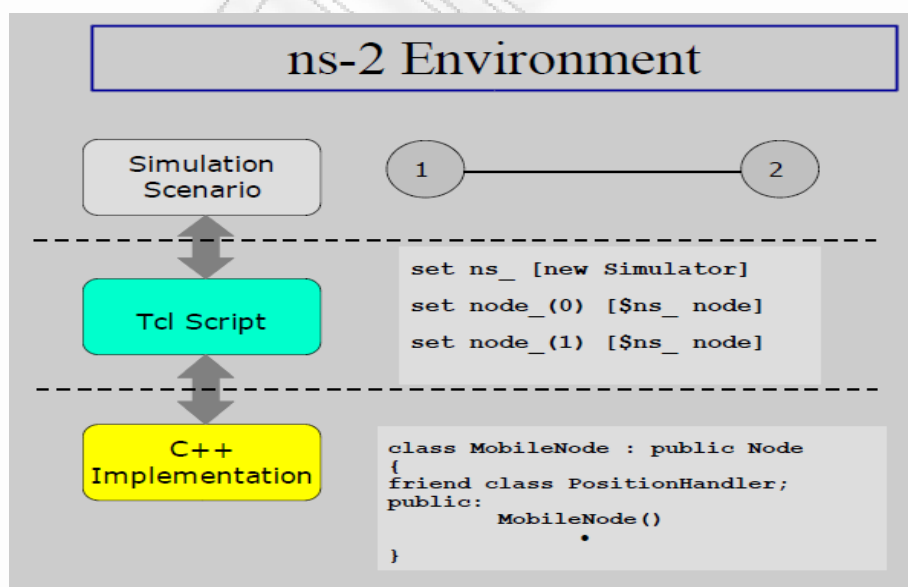
. Η επικύρωση της παροχής του QoS στο WiMAX ολοκληρώθηκε με τη δημιουργία και το τρέξιμο διάφορων σεναρίων προσομοίωσης.

8.1 Εργαλεία-Λογισμικό Υλοποίησης

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης είναι τα παρακάτω:

- a) Ο Network Simulator ns2 (release-έκδοση 2.30)
- b) Το 2.03 WiMAX module
- c) Το patch του module προκειμένου να είναι συμβατό με το NS-2.30
- d) Τα TCL scripts που δημιουργούσαν τα διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης
- e) Δημιουργήθηκε καινούργιο awk script έτσι ώστε να μπορούν να «διαβαστούν» σωστά τα trace files του NS διότι με τα ήδη υπάρχοντα δεν ήταν δυνατόν. Αυτό συνέβη διότι πλέον το traffic για τις κλάσεις-υπηρεσίες του WiMAX παραδίδεται από το WiMAX module με τους schedulers κάθε υπηρεσίας και όχι από τον NS. Αυτό δημιούργησε καινούργια διαφορετικά trace files και συνεπώς απαιτούνταν διαφορετικό καινούργιο awk script το οποίο και δημιουργήθηκε. Το awk script παρατίθεται αναλυτικά στο κεφάλαιο του Παραρτήματος.

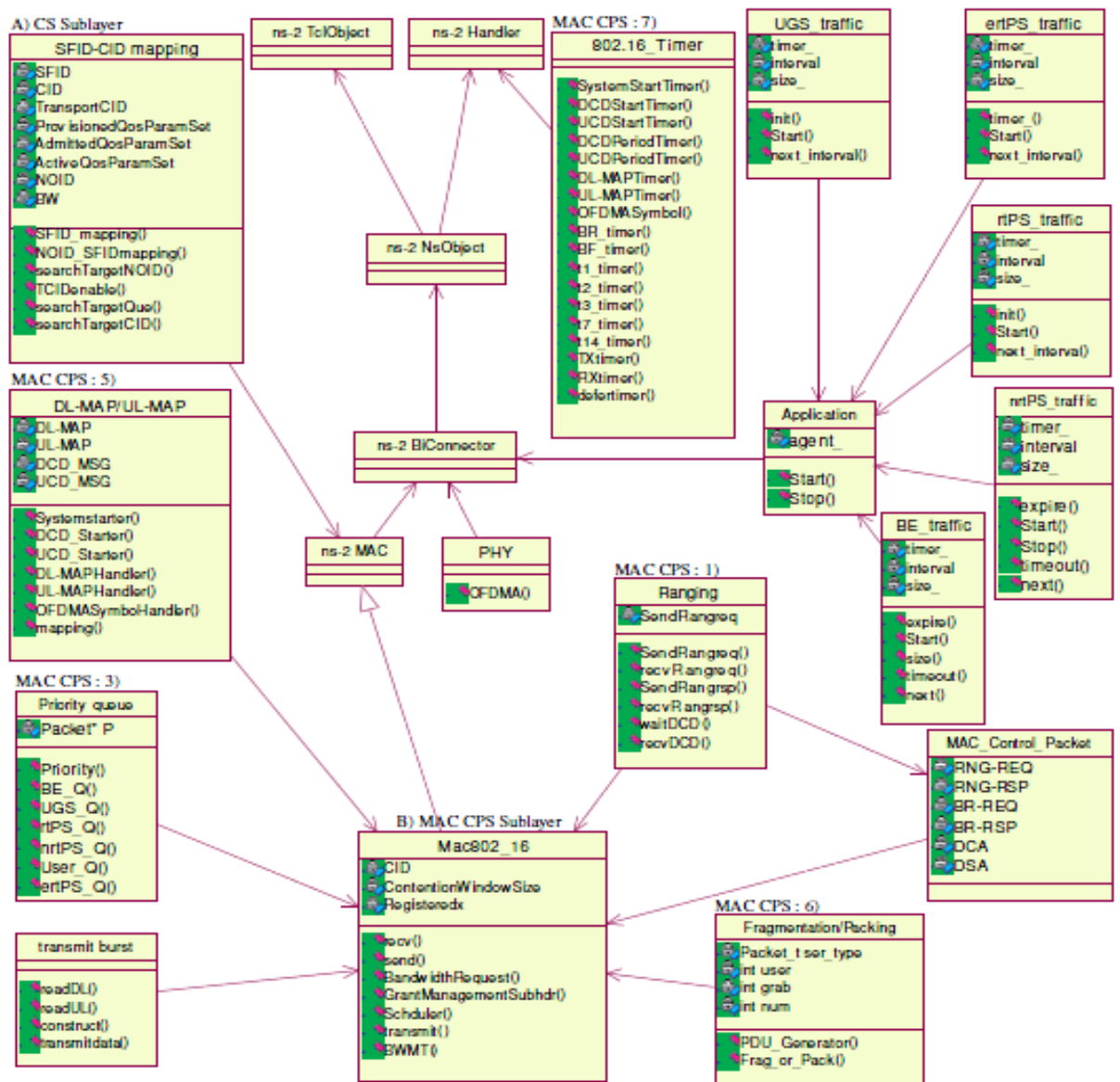
NS2:



WiMax module:

Το πρότυπο που εφαρμόζεται εδώ είναι βασισμένο στο IEEE 802.16 πρότυπο. Συγκεκριμένα στο (802.16-2004) και την επέκταση ως προς την κίνηση το 802.16e-2005.

Το διάγραμμα κλάσεων του WiMAX module:



The class diagram of the designed WiMAX module.

ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

8.2 1^ο Σενάριο Προσομοίωσης

Σε αυτό το σενάριο έχουμε θεωρήσει ότι:

*** Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί **1 υπηρεσία** και μόνο ***

1 Σταθμό Βάσης

12 Κινητούς Σταθμούς εκ των οποίων:

- A) Οι κόμβοι **1-6** χρησιμοποιούν **UGS traffic** δηλαδή υπηρεσία **VoIP**
- B) Οι κόμβοι **7-9** χρησιμοποιούν **ErtPS traffic** δηλαδή υπηρεσία **VoIP με καταστολή σιωπής(silence suppression)**
- Γ) Οι κόμβοι **10-12** χρησιμοποιούν **rtPS traffic** δηλαδή υπηρεσία **Video MPEG**

Σε αυτό το σενάριο παρουσιάζουμε το **throughput**, το **delay** και το **jitter** της υπηρεσίας κάθε κόμβου ανάλογα με την υπηρεσία που χρησιμοποιεί κάθε κόμβος. Εκτός από τις γραφικές παραστάσεις παρουσιάζουμε και τα αποτελέσματα από τα Awk Scripts.

8.2.1 Αποτελέσματα 1^{ου} σεναρίου:

```
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=1 example4.tr
    flowType:  UGS
    srcNode:   0
    destNode:  1
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1319
    avgTput[kbps]: 78.7883
    avgDelay[ms]: 0.000614879
    avgJitter[ms]: 2.40517e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=2 example4.tr
    flowType:  UGS
    srcNode:   0
    destNode:  2
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1334
```

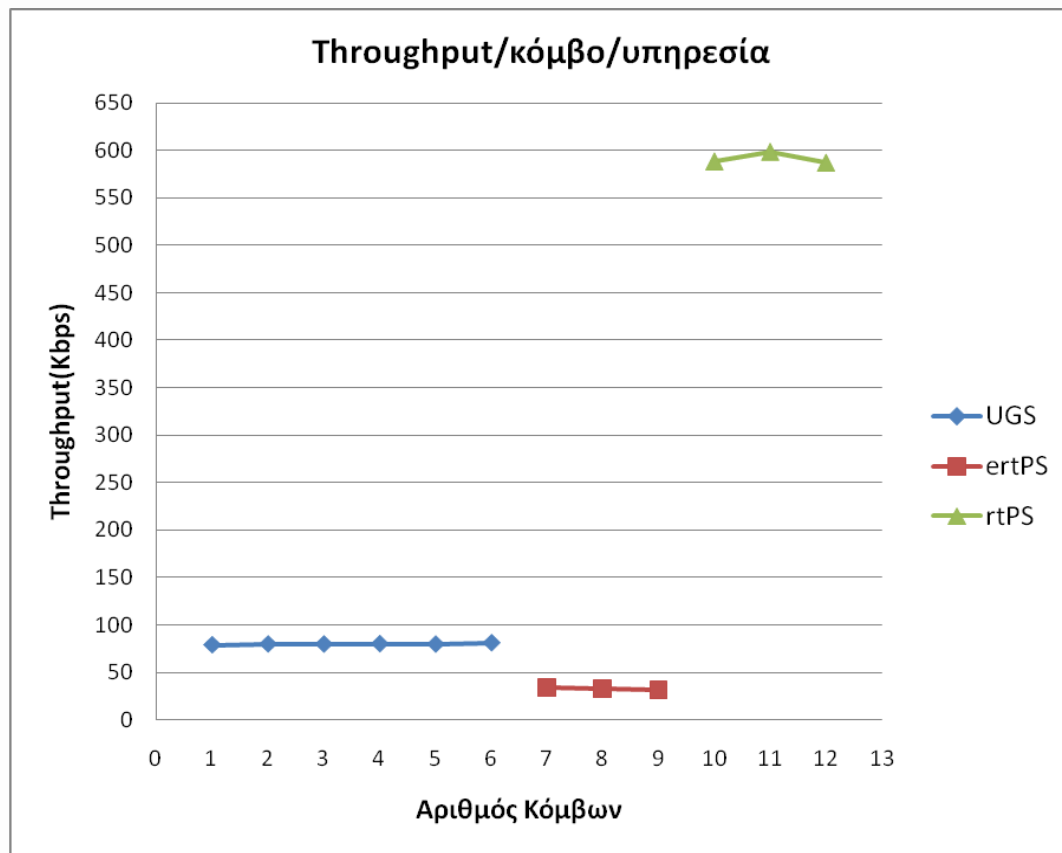
```

    avgTput[kbps]: 79.6843
    avgDelay[ms]: 0.000636876
    avgJitter[ms]: 2.47562e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=3 example4.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 3
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1333
    avgTput[kbps]: 79.6245
    avgDelay[ms]: 0.0005
    avgJitter[ms]: 1.08523e-12
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=4 example4.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 4
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1339
    avgTput[kbps]: 79.9829
    avgDelay[ms]: 0.000527
    avgJitter[ms]: 8.61315e-13
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=5 example4.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 5
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1332
    avgTput[kbps]: 79.5648
    avgDelay[ms]: 0.000421871
    avgJitter[ms]: 2.58453e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=6 example4.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 6
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1356
    avgTput[kbps]: 80.9984
    avgDelay[ms]: 0.000453145
    avgJitter[ms]: 2.90038e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=7 example4.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 7
simulation_time: 30
    receivedPkts: 568
    avgTput[kbps]: 33.9285
    avgDelay[ms]: 0.000401204
    avgJitter[ms]: 4.09172e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=8 example4.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 8

```

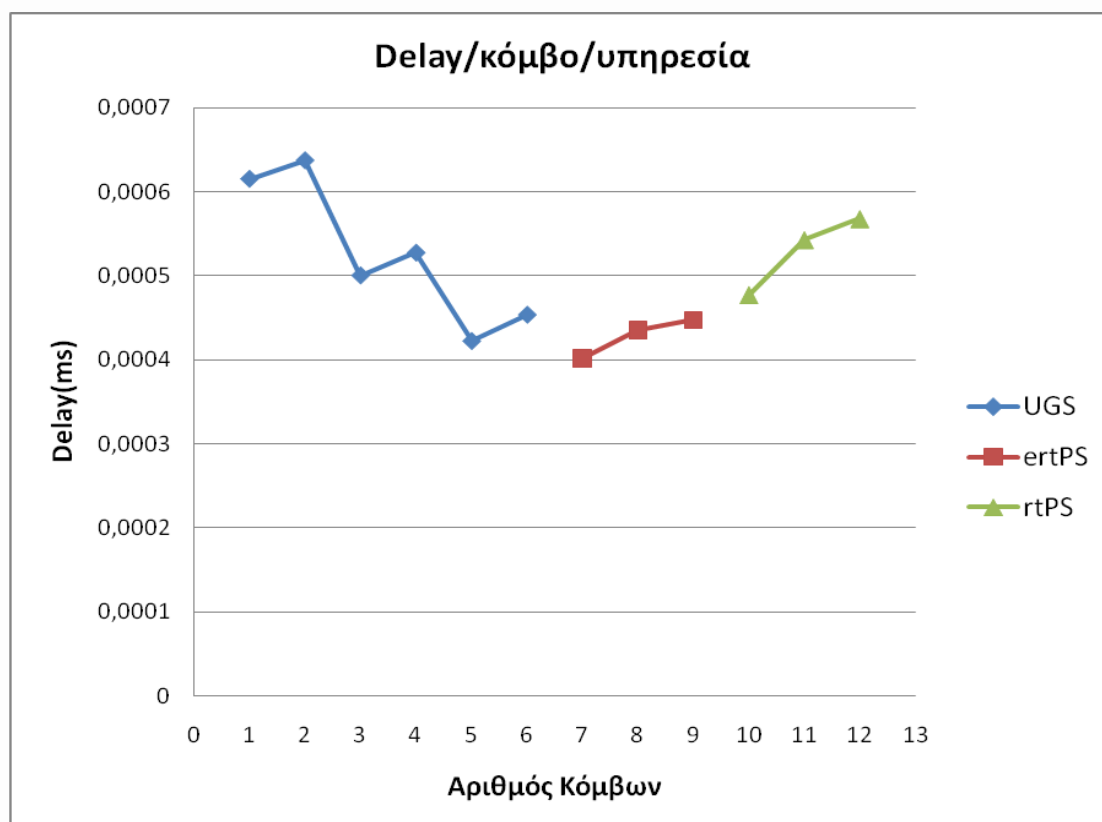
```
simulation_time: 30
  receivedPkts: 549
  avgTput[kbps]: 32.7936
  avgDelay[ms]: 0.00043482
  avgJitter[ms]: 3.59489e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=9 example4.tr
  flowType: ertPS
  srcNode: 0
  destNode: 9
simulation_time: 30
  receivedPkts: 524
  avgTput[kbps]: 31.3003
  avgDelay[ms]: 0.000447172
  avgJitter[ms]: 3.44169e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=10 example4.tr
  flowType: rtPS
  srcNode: 0
  destNode: 10
simulation_time: 30
  receivedPkts: 9845
  avgTput[kbps]: 588.075
  avgDelay[ms]: 0.000477176
  avgJitter[ms]: 3.29135e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=11 example4.tr
  flowType: rtPS
  srcNode: 0
  destNode: 11
simulation_time: 30
  receivedPkts: 10014
  avgTput[kbps]: 598.17
  avgDelay[ms]: 0.000542827
  avgJitter[ms]: 3.19585e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats.awk dst=12 example4.tr
  flowType: rtPS
  srcNode: 0
  destNode: 12
simulation_time: 30
  receivedPkts: 9821
  avgTput[kbps]: 586.641
  avgDelay[ms]: 0.000567823
  avgJitter[ms]: 3.06823e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts>
```


Γραφική Αναπαράσταση για το Throughput:



- A) Όπως παρατηρούμε το **throughput** για τους κόμβους **1-6** με **UGS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες κινείται από **70 έως 80 Kbps**.
- B) Για τους κόμβους **7-9** με **ErtPS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής έχουμε **throughput** γύρω στα **32 Kbps**
- C) Για τους κόμβους **10-12** με **rtPS traffic** για **Video MPEG** υπηρεσίες έχουμε **throughput** γύρω στα **590 Kbps**

Γραφική Αναπαράσταση για το Delay:

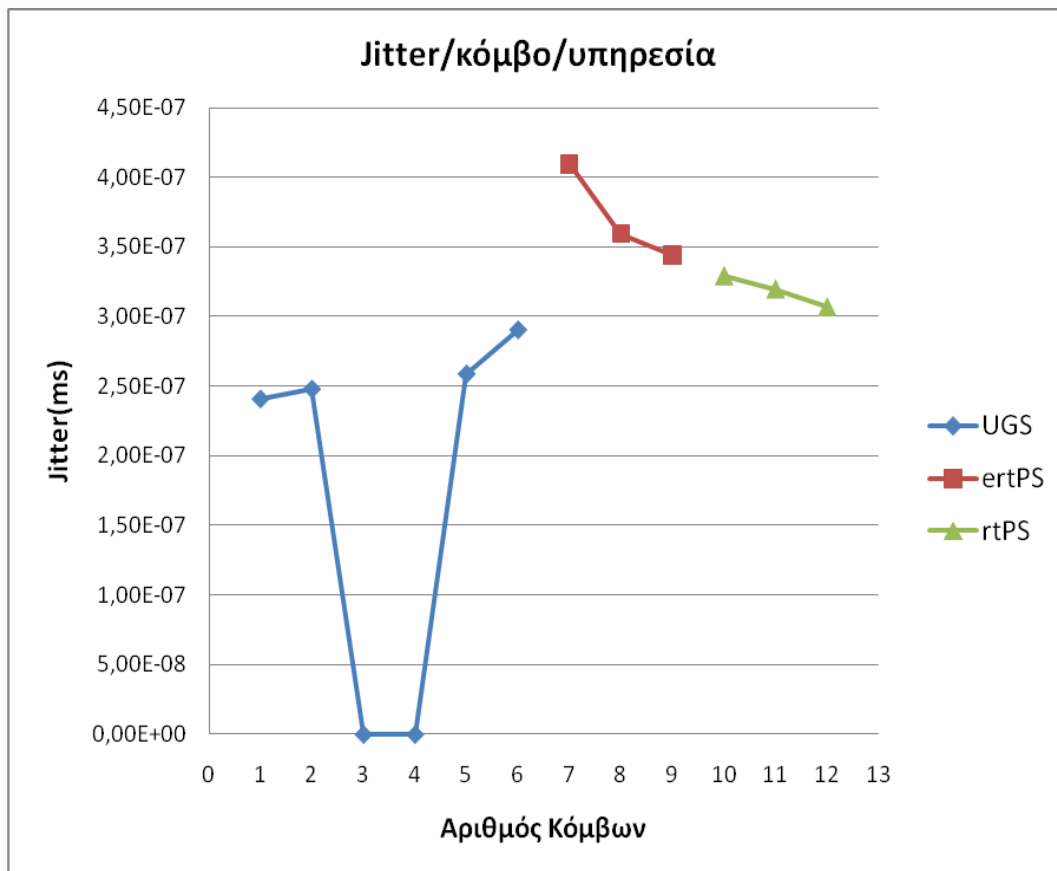


A) Όπως παρατηρούμε το **Delay** για τους κόμβους **1-6** με **UGS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες κινείται από **0.0004 sec** έως **0.00065 sec**.

B) Για τους κόμβους **7-9** με **ErtPS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες με την **καταστολή της σιωπής** έχουμε **Delay** από **0.0004 sec** έως **0.00045 sec**

C) Για τους κόμβους **10-12** με **rtPS traffic** για **Video MPEG** υπηρεσίες έχουμε **Delay** από **0.00047 sec** έως **0.00057 sec**

Γραφική Αναπαράσταση για το Jitter:



A) Όπως παρατηρούμε το **Jitter** για τους κόμβους **1-6** με **UGS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες κινείται από **8.61315e-13 sec** έως **2.9e-07 sec**.

B) Για τους κόμβους **7-9** με **ErtPS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής έχουμε **Jitter** από **3.44169e-07 sec** έως **4.09172e-07 sec**

C) Για τους κόμβους **10-12** με **rtPS traffic** για **Video MPEG** υπηρεσίες έχουμε **Jitter** από **3.06823e-07sec** έως **3.29135e-07sec**

8.3 2^ο Σενάριο Προσομοίωσης

Σε αυτό το σενάριο έχουμε θεωρήσει ότι έχουμε:

***** Σε αυτό το σενάριο κάποιοι κόμβοι χρησιμοποιούν 1 υπηρεσία κάποιοι άλλοι 2 υπηρεσίες και άλλοι 3 υπηρεσίες *****

1 Σταθμό Βάσης

12 Κινητούς Σταθμούς εκ των οποίων:

A) Οι κόμβοι 1-6 χρησιμοποιούν 3 διαφορετικά traffic { **UGS-ErtPS-rtPS** } δηλαδή υπηρεσίες **VoIP, VoIP με καταστολή σιωπής και Video MPEG** ταυτόχρονα.

B) Οι κόμβοι 7-9 χρησιμοποιούν 2 διαφορετικά traffic { **ErtPS-rtPS** } δηλαδή υπηρεσία **VoIP με καταστολή σιωπής(silence suppression)** και **Video MPEG**

Γ) Οι κόμβοι 10-12 χρησιμοποιούν ένα traffic που επιλέγεται τυχαία μέσα από μια **random** γεννήτρια δηλαδή η υπηρεσία μπορεί να είναι **Video MPEG ή VoIP ή VoIP με καταστολή σιωπής**.

Σε αυτό το σενάριο παρουσιάζουμε το **throughput**, το **delay** και το **jitter** της υπηρεσίας κάθε κόμβου ανάλογα με την υπηρεσία που χρησιμοποιεί κάθε κόμβος. Εκτός από τις γραφικές παραστάσεις παρουσιάζουμε και τα αποτελέσματα από τα Awk Scripts.

8.3.1 Αποτελέσματα 2^ο σεναρίου

```
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=1 service="UGS" example5.tr
    flowType:  UGS
    srcNode:   0
    destNode:  1
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1344
    avgTput[kbps]: 80.2816
    avgDelay[ms]: 0.000614713
    avgJitter[ms]: 4.19956e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=1 service="ertPS" example5.tr
    flowType:  ertPS
```

```

        srcNode: 0
        destNode: 1
simulation_time: 30
  receivedPkts: 543
  avgTput[kbps]: 32.4352
  avgDelay[ms]: 0.000614751
  avgJitter[ms]: 3.85609e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=1 service="rtPS" example5.tr
  flowType: rtPS
  srcNode: 0
  destNode: 1
simulation_time: 30
  receivedPkts: 9953
  avgTput[kbps]: 594.526
  avgDelay[ms]: 0.000614824
  avgJitter[ms]: 3.17123e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=2 service="UGS" example5.tr
  flowType: UGS
  srcNode: 0
  destNode: 2
simulation_time: 30
  receivedPkts: 1351
  avgTput[kbps]: 80.6997
  avgDelay[ms]: 0.000636829
  avgJitter[ms]: 2.75556e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=2 service="ertPS" example5.tr
  flowType: ertPS
  srcNode: 0
  destNode: 2
simulation_time: 30
  receivedPkts: 528
  avgTput[kbps]: 31.5392
  avgDelay[ms]: 0.000636837
  avgJitter[ms]: 2.75143e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=2 service="rtPS" example5.tr
  flowType: rtPS
  srcNode: 0
  destNode: 2
simulation_time: 30
  receivedPkts: 9894
  avgTput[kbps]: 591.002
  avgDelay[ms]: 0.00063685
  avgJitter[ms]: 2.60387e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=3 service="UGS" example5.tr
  flowType: UGS
  srcNode: 0
  destNode: 3
simulation_time: 30
  receivedPkts: 1329
  avgTput[kbps]: 79.3856
  avgDelay[ms]: 0.0005
  avgJitter[ms]: 1.04229e-12

```

```

spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=3 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 3
simulation_time: 30
    receivedPkts: 552
    avgTput[kbps]: 32.9728
    avgDelay[ms]: 0.0005
    avgJitter[ms]: 1.08788e-12
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=3 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0
    destNode: 3
simulation_time: 30
    receivedPkts: 10033
    avgTput[kbps]: 599.305
    avgDelay[ms]: 0.0005
    avgJitter[ms]: 1.04976e-12
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=4 service="UGS" example5.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 4
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1332
    avgTput[kbps]: 79.5648
    avgDelay[ms]: 0.000527008
    avgJitter[ms]: 1.50272e-08
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=4 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 4
simulation_time: 30
    receivedPkts: 539
    avgTput[kbps]: 32.1963
    avgDelay[ms]: 0.000527002
    avgJitter[ms]: 3.71834e-09
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=4 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0
    destNode: 4
simulation_time: 30
    receivedPkts: 9966
    avgTput[kbps]: 595.302
    avgDelay[ms]: 0.000527005
    avgJitter[ms]: 1.0036e-08
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=5 service="UGS" example5.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 5
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1350
    avgTput[kbps]: 80.64

```

```

    avgDelay[ms]: 0.000421706
    avgJitter[ms]: 4.34396e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=5 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 5
simulation_time: 30
    receivedPkts: 536
    avgTput[kbps]: 32.0171
    avgDelay[ms]: 0.000421741
    avgJitter[ms]: 3.73832e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=5 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0
    destNode: 5
simulation_time: 30
    receivedPkts: 9957
    avgTput[kbps]: 594.765
    avgDelay[ms]: 0.000421785
    avgJitter[ms]: 3.4984e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=6 service="UGS" example5.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 6
simulation_time: 30
    receivedPkts: 1351
    avgTput[kbps]: 80.6997
    avgDelay[ms]: 0.00045319
    avgJitter[ms]: 3.12593e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=6 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 6
simulation_time: 30
    receivedPkts: 515
    avgTput[kbps]: 30.7627
    avgDelay[ms]: 0.000453206
    avgJitter[ms]: 2.99612e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=6 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0
    destNode: 6
simulation_time: 30
    receivedPkts: 9912
    avgTput[kbps]: 592.077
    avgDelay[ms]: 0.000453226
    avgJitter[ms]: 3.65453e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=7 service="UGS" example5.tr
    flowType: UGS
    srcNode: 0
    destNode: 7
simulation_time: 30

```

```

    receivedPkts: 0
    avgTput[kbps]: 0
    avgDelay[ms]: 0
    avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=7 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 7
simulation_time: 30
    receivedPkts: 557
    avgTput[kbps]: 33.2715
    avgDelay[ms]: 0.000401212
    avgJitter[ms]: 3.56116e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=7 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0
    destNode: 7
simulation_time: 30
    receivedPkts: 9971
    avgTput[kbps]: 595.601
    avgDelay[ms]: 0.000401178
    avgJitter[ms]: 3.25076e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=8 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 8
simulation_time: 30
    receivedPkts: 521
    avgTput[kbps]: 31.1211
    avgDelay[ms]: 0.000434693
    avgJitter[ms]: 4.13462e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=8 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0
    destNode: 8
simulation_time: 30
    receivedPkts: 9904
    avgTput[kbps]: 591.599
    avgDelay[ms]: 0.000434809
    avgJitter[ms]: 3.29295e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=9 service="ertPS" example5.tr
    flowType: ertPS
    srcNode: 0
    destNode: 9
simulation_time: 30
    receivedPkts: 535
    avgTput[kbps]: 31.9573
    avgDelay[ms]: 0.000447161
    avgJitter[ms]: 2.26593e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=9 service="rtPS" example5.tr
    flowType: rtPS
    srcNode: 0

```



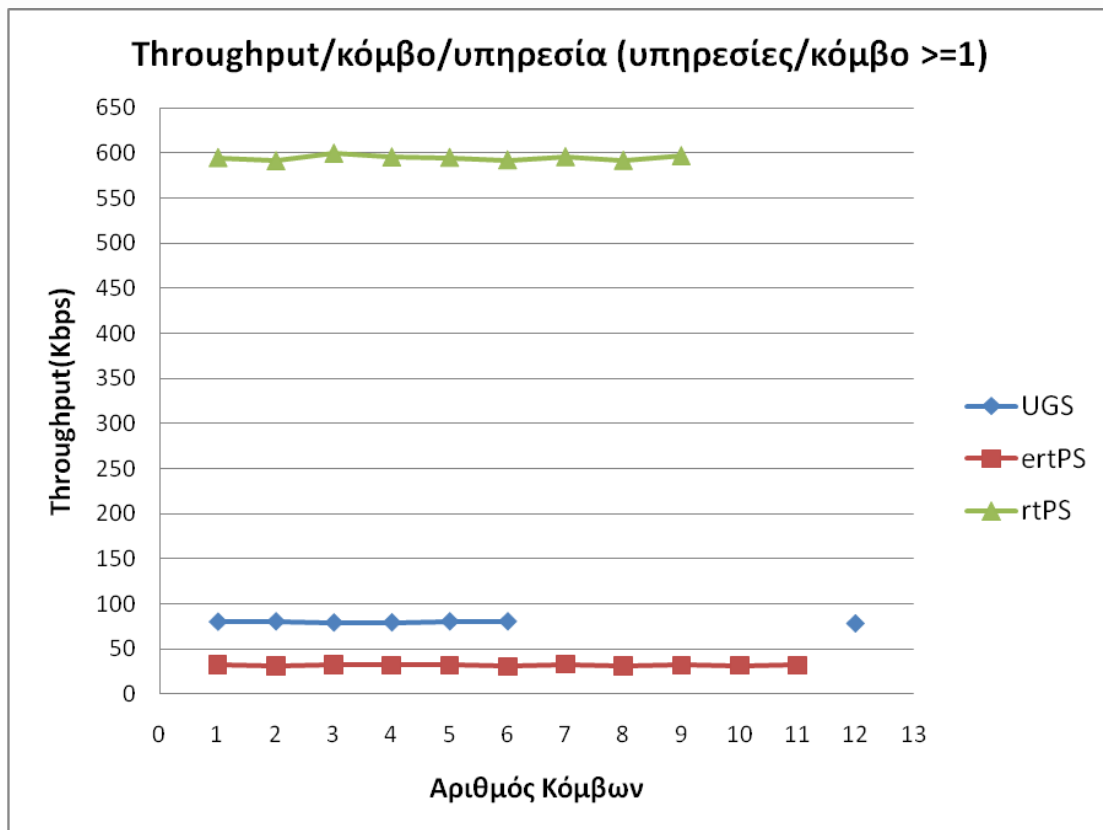
```

        destNode: 9
simulation_time: 30
  receivedPkts: 9989
  avgTput[kbps]: 596.676
  avgDelay[ms]: 0.000447168
  avgJitter[ms]: 2.95355e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=10 service="UGS" example5.tr
  flowType: UGS
  srcNode: 0
  destNode: 10
simulation_time: 30
  receivedPkts: 0
  avgTput[kbps]: 0
  avgDelay[ms]: 0
  avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=10 service="ertPS" example5.tr
  flowType: ertPS
  srcNode: 0
  destNode: 10
simulation_time: 30
  receivedPkts: 532
  avgTput[kbps]: 31.7781
  avgDelay[ms]: 0.000477162
  avgJitter[ms]: 3.23918e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=10 service="rtPS" example5.tr
  flowType: rtPS
  srcNode: 0
  destNode: 10
simulation_time: 30
  receivedPkts: 0
  avgTput[kbps]: 0
  avgDelay[ms]: 0
  avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=11 service="UGS" example5.tr
  flowType: UGS
  srcNode: 0
  destNode: 11
simulation_time: 30
  receivedPkts: 0
  avgTput[kbps]: 0
  avgDelay[ms]: 0
  avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=11 service="ertPS" example5.tr
  flowType: ertPS
  srcNode: 0
  destNode: 11
simulation_time: 30
  receivedPkts: 537
  avgTput[kbps]: 32.0768
  avgDelay[ms]: 0.000542821
  avgJitter[ms]: 3.5821e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=11 service="rtPS" example5.tr

```

```
        flowType:  rtPS
        srcNode:   0
        destNode:  11
simulation_time:  30
  receivedPkts:  0
  avgTput[kbps]: 0
  avgDelay[ms]:  0
  avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=12 service="UGS" example5.tr
        flowType:  UGS
        srcNode:   0
        destNode:  12
simulation_time:  30
  receivedPkts:  1311
  avgTput[kbps]: 78.3104
  avgDelay[ms]:  0.000567885
  avgJitter[ms]: 2.30535e-07
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=12 service="ertPS" example5.tr
        flowType:  ertPS
        srcNode:   0
        destNode:  12
simulation_time:  30
  receivedPkts:  0
  avgTput[kbps]: 0
  avgDelay[ms]:  0
  avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts> awk -f
avgStats3.awk dst=12 service="rtPS" example5.tr
        flowType:  rtPS
        srcNode:   0
        destNode:  12
simulation_time:  30
  receivedPkts:  0
  avgTput[kbps]: 0
  avgDelay[ms]:  0
  avgJitter[ms]: 0
spiros@linux-spiros:~/ns-allinone-2.30/Awk_Spiros_Scripts>
```

Γραφική Αναπαράσταση για το Throughput:



A) Όπως παρατηρούμε το **throughput** για τους κόμβους 1-6 με **UGS traffic**, με **ErtPS traffic** και με **rtPS traffic**, για **VoIP** υπηρεσίες, **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής και **Video MPEG** υπηρεσίες.

UGS Throughput: ≈ 80 Kbps

ErtPS Throughput: ≈ 33 Kbps

rtPS Throughput: ≈ 594 Kbps

B) Για τους κόμβους 7-9 με **ErtPS traffic** και με **rtPS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής και **VoIP** υπηρεσίες.

ErtPS Throughput: ≈ 32 Kbps

rtPS Throughput: ≈ 597 Kbps

C) Για τον κόμβο 10 με **ErtPS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής υπηρεσίες έχουμε:

ErtPS Throughput: ≈ 31.7781 Kbps

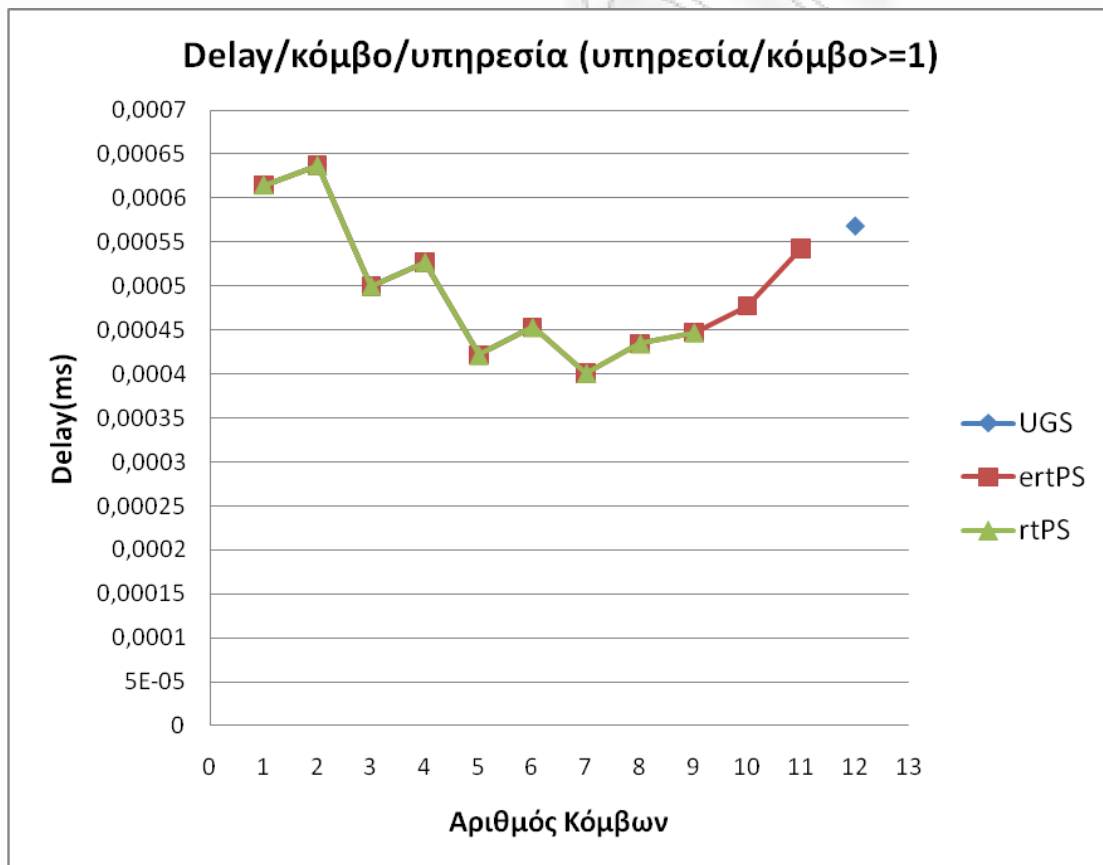
Για τον κόμβο 11 με **ErtPS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής** υπηρεσίες έχουμε:

ErtPS Throughput: $\approx 32.0768\text{Kbps}$

Για τον κόμβο 12 με **UGS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP υπηρεσίες** έχουμε:

UGS Throughput: $\approx 78.3104\text{ Kbps}$

Γραφική Αναπαράσταση για το Delay:



A) Όπως παρατηρούμε το **Delay** για τους κόμβους 1-6 με **UGS traffic**, με **ErtPS traffic** και με **rtPS traffic**, για **VoIP υπηρεσίες**, **VoIP υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής** και **Video MPEG** υπηρεσίες.

UGS Delay: ~= από 0.000401212 sec έως 0.000636829 sec
ErtPS Delay: ~= από 0.000421741 sec έως 0.000636837 sec
rtPS Delay: ~= από 0.000421785 sec έως 0.00063685 sec

B) Για τους κόμβους 7-9 με **ErtPS traffic** και με **rtPS traffic** για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής και **VoIP** υπηρεσίες.

ErtPS Delay: ~= από 0.000401212 sec έως 0.000447161 sec
rtPS Delay: ~= από 0.000401178 sec έως 0.000447168 sec

C) Για τον κόμβο 10 με **ErtPS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής υπηρεσίες έχουμε:

ErtPS Delay: ~= 0.000477162 sec

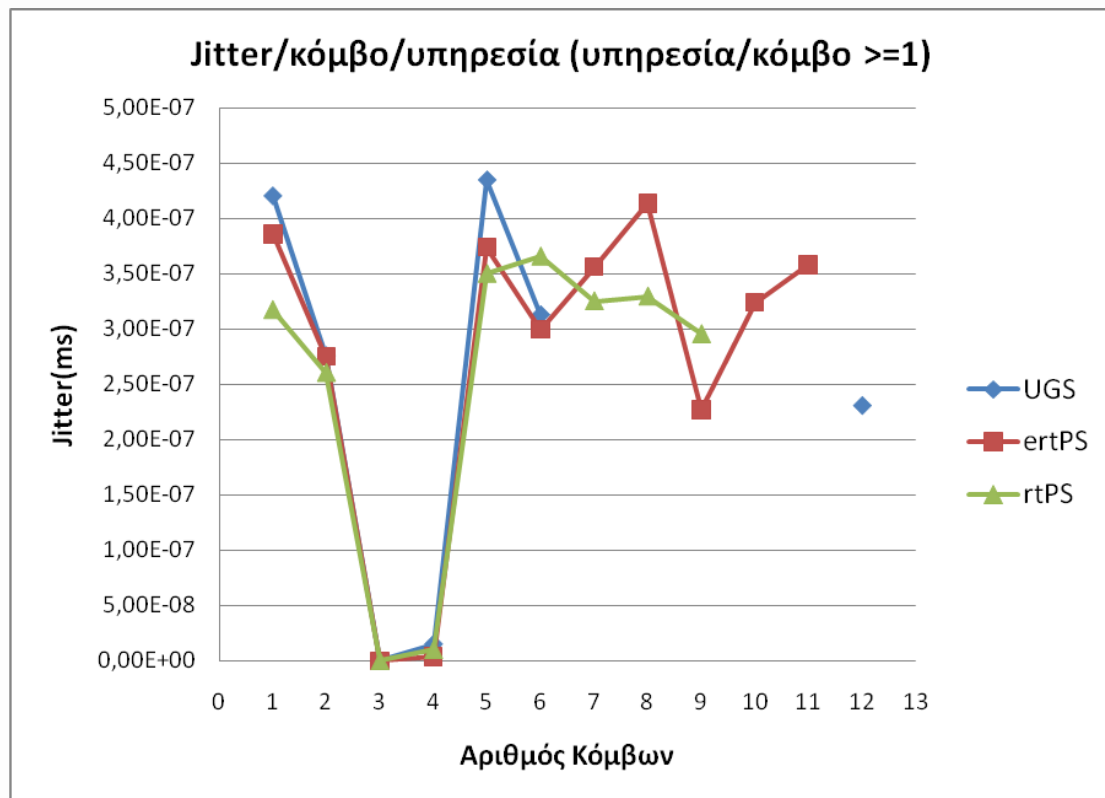
Για τον κόμβο 11 με **ErtPS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής υπηρεσίες έχουμε:

ErtPS Delay: ~= 0.000542821 sec

Για τον κόμβο 12 με **UGS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP** υπηρεσίες έχουμε:

UGS Delay: ~= 0.000567885 sec

Γραφική Αναπαράσταση για το Jitter:



A) Όπως παρατηρούμε το **Jitter** για τους κόμβους **1-6** με **UGS traffic**, με **ErtPS traffic** και με **rtPS traffic**, για **VoIP υπηρεσίες**, **VoIP υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής** και **Video MPEG υπηρεσίες**.

UGS Jitter: ~ από $1.04229e-12$ sec έως $4.34396e-07$ sec

ErtPS Jitter: ~ από $1.08788e-12$ sec έως $3.85609e-07$ sec

rtPS Jitter: ~ από $1.04976e-12$ sec έως $3.65453e-07$ sec

B) Για τους κόμβους **7-9** με **ErtPS traffic** και με **rtPS traffic** για **VoIP υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής** και **VoIP υπηρεσίες**.

ErtPS Jitter: ~ από $2.26593e-07$ sec έως $4.13462e-07$ sec

rtPS Jitter: ~ από $2.95355e-07$ sec έως $3.29295e-07$ sec

C) Για τον κόμβο **10** με **ErtPS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής** υπηρεσίες έχουμε:

ErtPS Jitter: ~ από $3.23918e-07$ sec

Για τον κόμβο **11** με **ErtPS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP** υπηρεσίες με την καταστολή της σιωπής υπηρεσίες έχουμε:

ErtPS Jitter: $\approx 3.5821e-07$ sec

Για τον κόμβο **12** με **UGS traffic** μετά από τυχαία επιλογή για **VoIP** υπηρεσίες έχουμε:

UGS Jitter: $\approx 2.30535e-07$ sec

8.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την διεξαγωγή των 2 σεναρίων και βάση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων τους προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αξιολογούνται με βάση τον παρακάτω πίνακα που αναφέρεται στις απαιτήσεις και στα όρια των τιμών που πρέπει να βρίσκονται έτσι ώστε να έχουμε δυνατό και αξιόπιστο QoS για κάθε υπηρεσία για τους χρήστες.

Sample Traffic Parameters for Broadband Wireless Applications

Parameter	Interactive Gaming	Voice	Streaming Media	Data	Video
Data rate	50Kbps– 85Kbps	4Kbps– 64Kbps	5Kbps– 384Kbps	0.01Mbps– 100Mbps	> 1Mbps
Example applications	Interactive gaming	VoIP	Music, speech, video clips	Web browsing, e-mail, instant messaging (IM), telnet, file downloads	IPTV, movie download, peer-to-peer video sharing
Traffic flow	Real time	Real-time continuous	Continuous, bursty	Non-real time, bursty	Continuous
Packet loss	Zero	< 1%	< 1% for audio; < 2% for video	Zero	< 10 ⁻⁸
Delay variation	Not applicable	< 20 ms	< 2 sec	Not applicable	< 2 sec
Delay	< 50 ms– 150 ms	< 100 ms	< 250 ms	Flexible	< 100 ms

Οπότε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με αυτά των απαιτήσεων του traffic που βλέπουμε στον πίνακα μπορούμε να πούμε ότι:

Τα αποτελέσματα (Throughput-Delay-Jitter) βρίσκονται μέσα στα όρια των απαιτήσεων ώστε να είναι επιτυχής η παροχή καλού και αξιόπιστου QoS για το WiMAX.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
BEGIN {
    recvdSize = 0
    startTime = 1e6
    stopTime = 0
}

{
    # Trace line format: normal
    if ($2 != "-t") {
        event = $1
        time = $2
        if (event == "+" || event == "-") node_id = $3
        if (event == "r" || event == "d") node_id = $4
        flow_id = $8
        pkt_id = $12
        pkt_size = $6
        flow_t = $5
        level = "AGT"
    }
    # Trace line format: new
    if ($2 == "-t") {
        event = $1
        time = $3
        node_id = $5
        flow_id = $39
        pkt_id = $41
        pkt_size = $37
        flow_t = $35
        level = $19
    }

    #print(event, time, node_id, flow_id, pkt_id, pkt_size,
flow_t, level)
    #printf("\n")

    # Δημιουργία της ώρας αποστολής των πακέτων

    if (level == "AGT" && flow_t == service && node_id == 0 &&
sendTime[pkt_id] == 0 && (event == "+" || event == "s")) {
        if (time < startTime) {
            startTime = time
        }
        sendTime[pkt_id] = time
        this_flow = flow_t
    }

    # Μέγεθος των πακέτων που ελήφθησαν και ο χρόνος λήψης-
παραλαβής

    if (level == "AGT" && flow_t == service && node_id == dst &&
event == "r") {
        if (time > stopTime) {
            stopTime = time
        }
    }
}
```

```

        # Μέγεθος πακέτου
        recvdSize += pkt_size
        # Χρόνος λήψης-παραλαβής
        recvTime[pkt_id] = time
    }

}

END {
    # Υπολογισμός Μέσης Καθυστέρησης
    delay = avg_delay = recvdNum = 0
    for (i in recvTime) {
        if (sendTime[i] == 0) {
            printf("\nError : receiving a packet that wasn't
sent %g\n",i)
        }
        delay += recvTime[i] - sendTime[i]
        print(recvTime[i], sendTime[i], "\n")
        delarray[i]=recvTime[i] - sendTime[i]
        #print(delarray[i])
        #print("\n")
        recvdNum ++
    }
    if (recvdNum != 0) {
        avg_delay = delay / recvdNum
    } else {
        avg_delay = 0
    }

    # Υπολογισμός Μέσου Jitter
    jitter = 0
    prev_time = delay = prev_delay = processed = deviation = 0
    prev_delay = -1
    sumj=0.0
    for (i=0; i<recvdNum-1; i++) {
        sumj+=delarray[i+1]-delarray[i]
    }
    jitter=sumj/recvdNum

    if (recvdNum != 0) {
        jitter = jitter*1000/recvdNum
    }
    #
    # if (recvdNum > 1) {
    #     jitter5 = sqrt(deviation/(recvdNum-1))
    # }
    #

    # Output
    if (recvdNum == 0) {

        printf("#####\n" \
#####\n" \
        "# Warning: no packets were received,
simulation may be too short #\n" \

```

```

#####
###\n\n")
}
printf("\n")
printf(" %15s: %g\n", "flowID", service)
printf(" %15s: %s\n", "flowType", this_flow)
printf(" %15s: %d\n", "srcNode", src)
printf(" %15s: %d\n", "destNode", dst)
printf(" %15s: %d\n", "startTime", startTime)
printf(" %15s: %d\n", "stopTime", stopTime)
printf(" %15s: %g\n", "receivedPkts", recvdNum)

# Υπολογισμός Μέσου Throughput
printf(" %15s: %g\n", "avgTput[kbps]",
(recvdSize/(stopTime-startTime))*(8/1000))
printf(" %15s: %g\n", "avgDelay[ms]", avg_delay*1000)
printf(" %15s: %g\n", "avgJitter[ms]", jitter)

# %9s %4s %4s %6s %5s %13s %14s %13s %15s %15s\n\n", \
#
"flow","flowType","src","dst","start","stop","receivedPkts",
\
#
"avgTput[kbps]","avgDelay[ms]","avgJitter1[ms]","avgJitter2[ms]",
\
#
flow,this_flow,src,dst,startTime, stopTime, recvdNum,
\
#
(recvdSize/(stopTime-
startTime))*(8/1000),avg_delay*1000, \
#
jitter)
}

function abs(value) {
if (value < 0) value = 0-value
return value
}

```

Βιβλιογραφία

- [1] WiMAX Forum. Mobile WiMAX—Part I: A technical overview and performance evaluation. White Paper. March 2006. www.wimaxforum.org.
- [2] In-stat Report. Paxton. The broadband boom continues: Worldwide subscribers pass 200 million, No. IN0603199MBS, March 2006.
- [3] IEEE. Standard 802.16e-2005. Part16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems—Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed band. December 2005.
- [4] IEEE. Standard 802.16-2004. Part16: Air interface for fixed broadband wireless access systems. October 2004.
- [5] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, Fundamentals of WiMAX, Understanding Broadband Wireless Networking, Prentice Hall, February 2007
- [6] I. F. Akyildiz, J. Xie, and S. Mohanty. A survey of mobility management in next-generation all-IPbased wireless systems. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 11(4):16–28, August 2004.
- [7] IEEE. Standard 802.16-2004. Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems, June 2004.
- [8] Claudio Cicconetti, Luciano Lenzini, and Enzo Mingozzi, University of Pisa Carl Eklund, Nokia Research Center, Quality of Service Support in IEEE 802.16 Networks, March/April 2006
- [9] Juliana Freitag and Nelson L. S. da Fonseca, Uplink Scheduling with Quality of Service in IEEE 802.16 Networks, 2007
- [10] Claudio Cicconetti, Alessandro Erta, Luciano Lenzini, and Enzo Mingozzi, Performance Evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS Support, *IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING*, VOL. 6, NO. 1, JANUARY 2007

- [11] Jianfeng Chen, Wenhua Jiao, Qian Guo Lucent Technologies, Bell Labs Research China, Providing Integrated QoS Control for IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Systems
- [12] Dr. Sassan Ahmadi, Introduction to mobile WiMAX Radio Access Technology: PHY and MAC Architecture, Wireless Standards and Technology Intel Corporation, December 7, 2006
- [13] WiMAX Forum. WiMAX end-to-end network systems architecture. Stage 3: Detailed protocols and procedures. Release 1.0, V&V Draft, August 8, 2006. www.wimaxforum.org/technology/documents.
- [14] WiMAX Forum. WiMAX end-to-end network systems architecture. Stage 2: Architecture tenets, reference model and reference points. Release 1.0, V&V Draft, August 8, 2006. www.wimaxforum.org/technology/documents.