



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μηχανισμοί QoS σε δίκτυα τεχνολογίας WiMAX

Πτυχιακή εργασία
της
Μιχαλάκη Ευαγγελή

AM:880

Σπουδάστρια ΤΕΙ Σερρών

Τμήμα Πληροφορικής και επικοινωνιών

Επιβλέποντες: Βακαλούδης Αλέξανδρος (Εργ. συνεργάτης ΤΕΙ Σερρών)

Λαζαρίδου Μαρία (Εργ. συνεργάτης ΤΕΙ Σερρών)

Σέρρες
Ιούνιος 2012

Copyright © Μιχαλάκη Ευαγγελή, 2012
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου με τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου, που μου παρείχαν τις απαραίτητες γνώσεις κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ. Αλέξανδρο Βακαλούδη και κ. Μαρία Λαζαρίδου για την πολύτιμη κι υπομονετική καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης και συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα να αφιερώσω τη πτυχιακή αυτή εργασία στον γιο μου από τον οποίο στερήθηκα πολύτιμες στιγμές.

Η ευθύνη για όποιες αδυναμίες παραλείψεις ή αβλεψίες βαρύνει αποκλειστικά εμένα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να περιγραφούν σύντομα οι προδιαγραφές του 802.16 ως προς το φυσικό στρώμα, το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, τον τρόπο λειτουργίας και στη συνέχεια να αναλυθούν σε βάθος οι προηγμένες δυνατότητες QoS που προσφέρει το συγκεκριμένο πρότυπο. Μελετήθηκαν διεξοδικά οι μηχανισμοί που εξασφαλίζουν μείωση της καθυστέρησης και της παραμόρφωσης του σήματος αλλά και αποφυγή της απώλειας πακέτων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναδρομή στις ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες και στην IEEE (συγκεκριμένα μια σύντομη αναδρομή στα πρωτόκολλα του Working Group 802).

Το 1998, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) σχημάτισε μια ομάδα αποκαλούμενη 802.16 για να αναπτύξει πρότυπα για το ασύρματο δίκτυο μητροπολιτικής περιοχής, ή Wireless MAN. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια επισκόπηση στις αιτίες που οδήγησαν στην ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.16 και στην εξέλιξη του.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην αρχιτεκτονική του 802.16 η οποία επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI, δηλαδή στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer – PHY) και στο επίπεδο MAC.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του WiMAX ο οποίος βασίζεται σε μια διαδικασία αποτελούμενη από την εγκατάσταση της συνόδου και αυθεντικοποίηση.

Το QoS αναφέρεται στη μείωση της καθυστέρησης και της παραμόρφωσης σήματος και στην αποφυγή απώλειας πακέτων. Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά στην ποιότητα υπηρεσίας και στις δύο αρχιτεκτονικές που ορίζονται από τον οργανισμό Internet Engineering Task Force. Την Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services Architecture - IntServ) και το Μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services Framework - DiffServ)

Η αρχιτεκτονική των δικτύων WiMAX είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να υποστηρίζει διάφορους μηχανισμούς QoS. Παρέχει ευέλικτη υποστήριξη ταυτόχρονης χρήσης διαφορετικών IP υπηρεσιών. Η μελέτη QoS στο WiMAX γίνεται στο έκτο κεφάλαιο.

Λέξεις κλειδιά

Ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα, WiMAX, IEEE 802.16a,, Ποιότητα Υπηρεσίας, QoS, IntServ, DiffServ.

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Πρόλογος.....	7
1.2 Εισαγωγή στις ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες.....	9
1.3 Η ανάγκη για τεχνολογία βασισμένη σε πρότυπα.....	101
1.4 IEEE 802.16 έργα και πρότυπα.....	12
2 WiMax.....	14
2.1 Τι είναι το WiMax.....	14
2.2 Τα κύρια πλεονεκτήματα του μητροπολιτικού ασύρματου δικτύου.....	15
2.3 Τρόποι διάδοσης.....	17
2.4 Τοπολογία.....	19
2.5 Χρήσεις του WiMax.....	22
3. Αρχιτεκτονική.....	23
3.1. Εισαγωγή.....	23
3.2 Το Φυσικό Στρώμα (Physical Layer).....	24
3.2.1 Η λειτουργία του Φυσικού Στρώματος.....	25
3.2.1.1 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας.....	27
3.2.1.2 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου.....	28
3.2.1.3 Διαμόρφωση OFDM.....	29
3.2.1.4 Διαμόρφωση OFDMA.....	30
3.3 Το Στρώμα Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (MAC).....	31
3.3.1 Υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία.....	33
3.3.2 Υποεπίπεδο Κοινό Τμήμα.....	35
3.3.3 Υποεπίπεδο Ιδιωτικότητας.....	37
4. Τρόπος λειτουργίας του WiMAX.....	38
4.1 Απόκτηση Καναλιού.....	38
4.1.1 Αρχική εύρεση εμβέλειας και διαπραγμάτευση των δυνατοτήτων του SS.....	39
4.1.2 Αυθεντικοποίηση SS και καταχώρηση.....	40
4.1.3 Συνδετικότητα IP.....	40
4.1.4 Αρχικοποίηση σύνδεσης.....	41
4.2 Radio Link Control (RLC).....	42
4.3 UL.....	44
4.4 Ροή Υπηρεσίας (Service Flow).....	45
4.5 Συμπέρασμα.....	46

5. Ποιότητα Υπηρεσίας.....	48
5.1 Ποιότητα Υπηρεσίας στο WiMAX.....	48
5.2 Πρωτόκολλα ποιότητας υπηρεσιών.....	48
5.3 IntServ.....	54
5.3.1 Εισαγωγή.....	54
5.3.2 Υπηρεσία εγγυημένης ποιότητας.....	57
5.3.3 Υπηρεσία ελεγχόμενου φόρτου.....	58
5.3.4 Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort).....	59
5.3.5 Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων - RSVP.....	59
5.3.6 Μηχανισμοί Ελέγχου Κίνησης.....	62
5.3.7 Αξιολόγηση.....	63
5.4 DiffServ.....	65
5.4.1 Εισαγωγή.....	65
5.4.2 Κατηγοριοποίηση.....	66
5.4.3 Κλάσεις DiffServ.....	67
5.4.4 Συμπεριφορές – Ανά – Κόμβο (PHBs).....	68
5.4.5 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσίας (SLAs).....	71
5.4.6 Μεσίτες Εύρους Ζώνης (BBs).....	71
5.4.7 Μηχανισμοί Ελέγχου Κίνησης.....	73
5.4.8 Αξιολόγηση.....	78
5.4.9 Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ) στο ΕΔΕΤ.....	80
5.5 Service Flows.....	82
5.6 VLANs – 802.1 Q/p.....	83
5.6.1 Καθορισμός των μελών ενός VLAN.....	85
5.6.2 Πλεονεκτήματα από τη χρήση VLAN.....	86
5.6.3 IEEE 802.1.....	87
6. Μελέτη QoS στο Wimax.....	88
6.1 Μελέτη QoS στο Wimax	88
6.2 Εφαρμογές και κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας.....	89
6.3 802.16 MAC.....	95
6.3.1 Υποεπίπεδα MAC.....	96
6.3.1.1 MAC-Υποεπίπεδο Σύγκλισης (MAC-Convergence Sublayer, MAC-CS).....	96
6.3.1.2 MAC-Κοινό τμήμα του MAC (MAC-Common Part, MAC-CP).....	97
6.3.1.3 MAC-Υποεπίπεδο Ασφαλείας (MAC-Privacy Sublayer, MAC-PS).....	97
6.3.2 Service Flows-Ροές Υπηρεσίας.....	98

6.3.2.1 Provisioned service flow.....	98
6.3.2.2 Admitted service flow.....	100
6.3.2.3 Active service flow.....	100
6.3.2.4 Το Μοντέλο Αντικειμένων.....	100
6.3.3 Εξουσιοδότηση.....	102
6.3.3.1 Provisioned (Static) Authorization	102
6.3.3.2 Dynamic Authorization	103
6.3.4 Ποιότητα Υπηρεσιών στο 802.16e (mobile WiMAX).....	104
6.4 QoS και Bandwidth Requests.....	104
Συμπεράσματα.....	108
Εφαρμογές στην Ελλάδα.....	110
Επίλογος.....	112
ΠΗΓΕΣ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	114
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	115
Παράρτημα Α: Ευρετήριο σχημάτων.....	115
Παράρτημα Β: Ευρετήριο πινάκων.....	116
Παράρτημα Γ: Ακρωνύμια	117

Κεφάλαιο 1

1.1 Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια οι κοινωνικές και οικονομικές μεταβολές σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ανάγκη για επίτευξη υψηλότερης παραγωγικότητας και αποδοτικότητας οδήγησαν σε αλματώδη ανάπτυξη την τεχνολογία των επικοινωνιών. Από ένα περιβάλλον που υπήρχαν μόνο σταθερές γραμμές τηλεφώνου, φτάσαμε σε μια εποχή όπου τα καλώδια αντικαθιστούνται από ασύρματους διαύλους και η απλή τηλεφωνική υπηρεσία εξελίσσεται σε μια συστάδα υπηρεσιών, που προσφέρουν στους χρήστες ευκολίες και νέους τρόπους επικοινωνίας. Γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο, “online” αγορές και συναλλαγές, ενημέρωση και ψυχαγωγία, τηλεδιασκέψεις είναι μόνο μερικές από αυτές.

Η εκρηκτική αυτή ανάπτυξη του διαδικτύου κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας έχει οδηγήσει στην ολοένα αυξανόμενη ζήτηση από τους χρήστες του για υψηλής ταχύτητας πρόσβαση σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκονται. Οι εταιρείες παροχής υπηρεσιών διαδικτύου (Internet Service Providers – ISPs) προσπάθησαν να καλύψουν τις ανάγκες των πελατών τους με την τεχνολογία DSL (Digital Subscriber Line), η οποία αν και εμφανίστηκε ως πρωτοποριακή λύση τελευταίου-μιλίου (last-mile solution) συνοδευόταν από περιορισμούς στην απόδοση, αφού αναπτύχθηκε επάνω στις ήδη υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές, αλλά και από περιορισμούς στην κάλυψη, αφού σε ορισμένες περιοχές (ημιαστικές, αραιοκατοικημένες κλπ.) ο αριθμός υποψηφίων πελατών δε θα δικαιολογούσε τη δαπάνη ανάπτυξης της τεχνολογίας και δε θα προσέφερε τα προσδοκώμενα κέρδη στις εταιρείες. Επιπλέον, η λύση της αντικατάστασης των τηλεφωνικών γραμμών με οπτικές ίνες, προσφέροντας υψηλότερες ταχύτητες, θα ανέβαζε το κόστος της επένδυσης αλλά και το χρόνο υλοποίησης λόγω των απαραίτητων εργασιών (εκσκαφή, τοποθέτηση των ινών κλπ.). Επίσης, σε κάποιες περιοχές θα ήταν εντελώς αδύνατη η ανάπτυξη ενσύρματου δικτύου, λόγω μορφολογίας του εδάφους.

Έτσι, άρχισε η αναζήτηση εναλλακτικής πρότασης για την λύση τελευταίου μιλίου (last mile), δηλαδή της σύνδεσης του τελικού χρήστη με τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο. Η ασύρματη πρόσβαση ήταν η ιδανικότερη λύση. Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε προς αυτή την κατεύθυνση ήταν το WiFi (πρότυπο IEEE 802.11), το οποίο όμως έφτανε μέχρι τη θεωρητική ταχύτητα των 54Mbps και κάλυπτε περιοχή ακτίνας μέχρι 100m. Το Wi-Fi όμως, αν και αρκετά απλό στη χρήση, δεν έφερε την πραγματική επανάσταση, που όλοι περίμεναν και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιορισμένη εμβέλεια της κάλυψής του. Στην πραγματικότητα η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιήθηκε κυρίως για σύνδεση ηλεκτρονικών

υπολογιστών και δρομολογητών (routers) σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους και όχι για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης στο Internet σε μια γεωγραφικά εκτεταμένη περιοχή. Με την εμβέλειά του να περιορίζεται στα 100 μέτρα, δεν θα μπορούσε φυσικά να περιμένει κανείς κάτι διαφορετικό.

Το μειονέκτημα της περιορισμένης εμβέλειας του Wi-Fi άφησε σαν λύση για τους χρήστες που επιθυμούν μόνιμη πρόσβαση στο διαδίκτυο εν κινήσει, τη χρήση των τεχνολογιών GPRS και 3G, μέσω των GSM και UMTS δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Οι εν λόγω τεχνολογίες προσφέρουν σταθερή σύνδεση σε κάθε σημείο όπου υπάρχει κάλυψη σήματος από το δίκτυο, κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι ο συνδρομητής μπορεί να πλοηγείται στα web sites που τον ενδιαφέρουν, να «κατεβάζει» τα e-mail του και να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία του Internet ακόμη και στη διάρκεια ενός ταξιδιού από τη μία άκρη μιας χώρας στην άλλη, χωρίς καμμία σχεδόν διακοπή της σύνδεσης.

Όμως τόσο το GPRS όσο και το 3G διαθέτουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, που κράτησε μειωμένη τη συνδρομητική βάση: τις υψηλές χρεώσεις. Παρόλο που ο χρήστης είναι σε συνεχή σύνδεση με το Internet, χωρίς να υφίσταται χρονοχρέωση, η κοστολόγηση της πρόσβασης γίνεται σύμφωνα με τον όγκο των διακινούμενων δεδομένων. Ενδεικτικά στη χώρα μας, 1 MB δεδομένων που στέλνει ή λαμβάνει ο συνδρομητής GPRS/3G φθάνει να κοστολογείται μέχρι και 5€, κάτι που καθιστά απαγορευτική τη χρήση της υπηρεσίας ακόμη και για πλοήγηση σε ιστοσελίδες λίγα λεπτά καθημερινά.

Υπό αυτές τις συνθήκες δημιουργήθηκε η ανάγκη για κάτι διαφορετικό. Απαλλαγμένο από τα μειονεκτήματα των σημερινών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο και διατηρώντας ή αναβαθμίζοντας τα πλεονεκτήματά τους, το WiMAX είναι η λύση που όπως όλα δείχνουν θα επικρατήσει, αντικαθιστώντας ακόμη και τις οικιακές ADSL συνδέσεις. Το WiMAX προσφέρει αφενός μεν υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης σε σχέση με το Wi-Fi, αφετέρου δε σημαντικά υψηλότερη εμβέλεια, που υπολογίζεται ότι θα μπορεί να καλύψει σε κάθε της σημείο ακόμη και μια μεγαλούπολη. Με τον τρόπο που τα κινητά τηλέφωνα σήμερα έχουν επικρατήσει για τις ανάγκες της επικοινωνίας μας έναντι του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου, με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται από τους ειδικούς ότι πολύ σύντομα το WiMAX θα καλύπτει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό συνδρομητών, σε σχέση με αυτούς που συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω ενσύρματης γραμμής ADSL, ISDN ή PSTN . Το Internet πρέπει να αποτελεί ένα μέσο ενημέρωσης και επικοινωνίας προσβάσιμο ανά πάσα στιγμή από παντού, με την ίδια λογική που σήμερα ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν από οποιοδήποτε σημείο, χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες. Κάπως έτσι εκτιμάται ότι μελλοντικά ο χρήστης ενός φορητού υπολογιστή ή PDA θα ενεργοποιεί τη συσκευή του σε οποιοδήποτε

σημείο μιας πόλης ή και ολόκληρης της χώρας του και θα είναι αμέσως έτοιμος να πλοηγηθεί στο Internet με ταχύτητες αρκετών Mbps.

1.2 Εισαγωγή στις ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες

Οι ευρυζωνικές συνδέσεις μπορούν να υποστηριχτούν και να υλοποιηθούν με διάφορες τεχνολογίες. Ωστόσο, η συνεχής αύξηση του αριθμού των χρηστών του διαδικτύου αλλά και οι αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτυακών εφαρμογών οδηγούν στην υιοθέτηση τεχνολογιών με μεγάλο εύρος ζώνης.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την ευρυζωνικότητα διακρίνονται κατά κύριο λόγο σε ενσύρματες και ασύρματες τεχνολογίες. Όσον αφορά τις ενσύρματες ευρυζωνικές τεχνολογίες γίνεται χρήση κυρίως οπτικών ινών και ασυμμετρικών τεχνολογιών πρόσβασης. Σχετικά με τις ασύρματες ευρυζωνικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες WiFi, WiMAX και η τεχνολογία UMTS.

Τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα είναι αυτά που:

- Επιτυγχάνουν ασύρματες συνδέσεις χρησιμοποιώντας μικροκύματα ή χιλιοστομετρικά ραδιοκύματα.
- Χρησιμοποιούν (συνήθως) επιτρεπτές συχνοτικές μπάντες.
- Είναι μητροπολιτικά σε κλίμακα (MAN).
- Παρέχουν δημόσιες δικτυακές υπηρεσίες σε πελάτες με χρηματικό αντάλλαγμα.
- Χρησιμοποιούν PTM αρχιτεκτονική χρησιμοποιώντας κεραίες-πύργους.
- Παρέχουν ικανοποιητική μεταφορά ετερογενών μηνυμάτων, με βασικό στόχο τη ποιότητα παροχής υπηρεσιών (QoS).
- Υποστηρίζουν ικανοποιητικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, μεγαλύτερο των 2Mbps.

Οι ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες στηρίζονται στη συμβολή δύο τεχνολογιών, στις ασύρματες και ευρείας ζώνης επικοινωνίες. Οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας και υπηρεσιών αυξήθηκαν και το διαδίκτυο αναπτύχθηκε από ένα απλό ακαδημαϊκό εργαλείο στο να έχει εκατομμύρια χρήστες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απαίτηση για υπηρεσίες Διαδικτύου υψηλής ταχύτητας και επομένως αύξηση της ευρυζωνικότητας.

Οι ευρυζωνικοί χρήστες παγκοσμίως έχουν αντιληφθεί ότι αλλάζει δραματικά ο τρόπος που μοιραζόμαστε τις πληροφορίες, διευθύνουμε μια επιχείρηση και αναζητούμε την ψυχαγωγία. Η ευρυζωνική πρόσβαση όχι μόνο παρέχει γρηγορότερο σερφάρισμα στο Ίντερνετ και γρηγορότερο κατέβασμα αρχείων αλλά επίσης επιτρέπει διάφορες εφαρμογές πολυμέσων, όπως το audio streaming (ροή ήχου και εικόνας σε πραγματικό χρόνο), τη

σύσκεψη μέσω πολυμέσων, και το διαδραστικό παιχνίδι (interactive gaming). Οι ευρυζωνικές συνδέσεις χρησιμοποιούνται επίσης για την τηλεφωνία χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Voice-over-Internet Protocol (VoIP). Τα πιο προηγμένα ευρυζωνικά συστήματα, όπως η οπτική ίνα στο σπίτι Fiber-to-the-Home (FTTH) και η πολύ υψηλού ρυθμού μεταφοράς bit Very High Data Rate (VDSL), επιτρέπουν εφαρμογές όπως το «entertainment-quality» video (βίντεο χωρίς προβλήματα, με τέλεια εικόνα και ήχο), συμπεριλαμβανομένης της υψηλής ευκρίνειας TV (HDTV) και του Video on Demand (VoD). Δεδομένου ότι η ευρυζωνική αγορά συνεχίζει να αυξάνεται, διάφορες νέες εφαρμογές είναι πιθανό να εμφανιστούν, και είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς ποιες από αυτές θα πετύχουν στο μέλλον.

Οι ευρυζωνικές ασύρματες επικοινωνίες πρόκειται να φέρουν την ευρυζωνική εμπειρία σε ένα ασύρματο περιβάλλον, το οποίο προσφέρει στους χρήστες ορισμένα μοναδικά οφέλη και ευκολίες. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι ευρυζωνικών ασύρματων υπηρεσιών. Ο πρώτος τύπος παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών παρόμοιων με αυτό της παραδοσιακής μέσω σταθερής γραμμής ευρυζωνικής πρόσβασης με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης το ασύρματο περιβάλλον. Αυτό ο τύπος, αποκαλούμενος σταθερής ασύρματης ευρείας ζώνης πρόσβαση Fixed Broadband Wireless Access (FBWA), μπορεί να θεωρηθεί ως ανταγωνιστική εναλλακτική λύση του DSL ή του cable modem. Ο δεύτερος τύπος ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης, αποκαλούμενος κινητής ευρυζωνικότητας, παρέχει τις πρόσθετες λειτουργίες της φορητότητας, της νομαδικότητας¹ και της κινητικότητας. Η τεχνολογία Παγκόσμιας Διαλειτουργικότητας για πρόσβαση μέσω Μικροκυμάτων WiMAX (Worldwide Interoperability for microwave access), είναι σχεδιασμένη να υποστηρίξει και τις σταθερές και τις κινητές ευρυζωνικές εφαρμογές.

1.3 Η ανάγκη για τεχνολογία βασισμένη σε πρότυπα

Το 1998, το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) σχημάτισε μια ομάδα αποκαλούμενη 802.16 για να αναπτύξει πρότυπα για το ασύρματο δίκτυο μητροπολιτικής περιοχής, ή Wireless MAN. Η ομάδα εργασίας είναι μια μονάδα του IEEE 802 LAN / MAN Προτύπων. Αρχικά, αυτή η ομάδα εστίασε στην ανάπτυξη λύσεων στην περιοχή των 10GHz - 66GHz, με την αρχική εφαρμογή να περιέχει συνδέσεις μεγάλων ταχυτήτων στις επιχειρήσεις που δε θα μπορούσαν να αποκτήσουν οπτική ίνα. Η ομάδα IEEE 802.16 παρήγαγε ένα πρότυπο που εγκρίθηκε το Δεκέμβριο του 2001. Αυτό το πρότυπο, Wireless MAN-SC, καθόριζε ένα φυσικό στρώμα που χρησιμοποιούσε

1. Η νομαδικότητα υπονοεί τη δυνατότητα να συνδέσαι στο δίκτυο από διαφορετικές τοποθεσίες μέσω διαφορετικών σταθμών βάσης· η κινητικότητα υπονοεί τη δυνατότητα να διατηρηθούν ενεργές οι τρέχουσες συνδέσεις ενώ κινούμαστε με υψηλές ταχύτητες.

διαμόρφωση ενός φέροντος και ένα στρώμα ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) με μια δομή πολυπλεξίας διαίρεσης στο χρόνο Time Division Multiplexing (TDM) με ριπές που υποστήριζε και αμφιδρόμηση διαίρεσης συχνότητας (FDD) και αμφιδρόμηση διαίρεσης χρόνου (TDD).

Μετά την ολοκλήρωση αυτού του προτύπου, η ομάδα άρχισε την εργασία για την επέκταση και την τροποποίησή του για την λειτουργία και στην περιοχή συχνοτήτων απαιτούμενης άδειας και στην χωρίς άδεια μεταξύ 2GHz – 11GHz, η οποία θα επέτρεπε την ανάπτυξη σε NLOS περιβάλλον. Η IEEE 802.16a τροποποίηση, ολοκληρώθηκε το 2003, με τα σχήματα της διαμόρφωσης OFDM να προστίθενται ως τμήμα του φυσικού στρώματος για την υποστήριξη της εφαρμογής σε περιβάλλοντα με πολλαπλές διαδρομές. Στο μεταξύ, η διαμόρφωση OFDM είχε καθιερωθεί ως η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την αντιμετώπιση της πολυόδευσης και ήταν ήδη μέρος των αναθεωρημένων IEEE 802.11 προτύπων. Το πρότυπο 802.16a εκτός από τα φυσικά στρώματα OFDM, διευκρίνιζε επίσης τις πρόσθετες επιλογές MAC-στρώματος, συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης για την ορθογώνια πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας OFDMA (orthogonal frequency division multiple access).

Οι περαιτέρω αναθεωρήσεις του 802.16a έγιναν και ολοκληρώθηκαν το 2004. Αυτά τα αναθεωρημένα πρότυπα, γνωστά ως IEEE 802.16-2004, αντικατέστησαν τα προγενέστερα 802.16, 802.16a και 802.16c με ενιαίο πρότυπο, και υιοθετήθηκαν επίσης ως βάση για το HIPERMAN (High-performance Metropolitan Area Network, Υψηλής Απόδοσης Δίκτυο Μητροπολιτικής Περιοχής) από το ETSI (European Telecommunications Standards Institute, Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Πρότυπων Τηλεπικοινωνιών).

Το 2003, η ομάδα 802.16 άρχιζε να εργάζεται σχετικά με τις προσθήκες στις προδιαγραφές οι οποίες θα επέτρεπαν εφαρμογές που απαιτούσαν κινητικότητα με υψηλές ταχύτητες. Η αναθεώρηση αυτή ολοκληρώθηκε το Δεκέμβριο του 2005 και δημοσιεύτηκε επίσημα ως 802.16-2005. Προσδιορίζει κλιμακωτή OFDM διαμόρφωση για το φυσικό στρώμα και κάνει περαιτέρω τροποποίηση στο στρώμα της MAC για να εξυπηρετήσει την υψηλής ταχύτητας κινητικότητα.

Όπως παρατηρούμε, οι προδιαγραφές IEEE 802.16 είναι μια συλλογή προτύπων με ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογής. Προκειμένου να προσαρμοστούν στις διαφορετικές ανάγκες της βιομηχανίας, τα πρότυπα ενσωμάτωσαν μια πληθώρα επιλογών. Για να αναπτυχθούν οι διαλειτουργικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν την οικογένεια των 802.16 προτύπων, η εμβέλεια των προτύπων έπρεπε να μειωθεί με την καθιέρωση της συναίνεσης για το ποιες

επιλογές θα εφαρμόζαν. Η IEEE ανέπτυξε τις προδιαγραφές αλλά άφησε στη βιομηχανία το καθήκον της μετατροπής αυτών σε διαλειτουργικά πρότυπα με δυνατότητα πιστοποίησης.

Το WiMAX Forum™ (συμμαχία βιομηχανίας) διαμορφώθηκε για να λύσει το ζήτημα της πιστοποίησης και για να προωθήσει λύσεις βασισμένες στα πρότυπα IEEE 802.16. Το WiMAX Forum™ τυγχάνει ευρείας συμμετοχής από όλους τους τομείς της βιομηχανίας, συμπεριλαμβανομένων των επιχειρήσεων ημιαγωγών, των κατασκευαστών εξοπλισμού τηλεπικοινωνιών και των φορέων παροχής υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών. Η αποστολή του φόρουμ είναι η προώθηση και πιστοποίηση συμβατότητας και της διαλειτουργικότητας των ευρυζωνικών ασύρματων προϊόντων με βάση το πρότυπο IEEE 802.16.

1.4 IEEE 802.16 έργα και πρότυπα

Όπως προαναφέρθηκε τα IEEE 802.16 είναι μια σειρά Wireless Broadband προτύπων που έχουν συγγράφει από την IEEE. Η τρέχουσα έκδοση είναι IEEE 802.16-2009 τροποποιήθηκε από την IEEE 802.16j-2009.

Η πιο δημοφιλής εφαρμογή του προτύπου IEEE 802.16 είναι το Mobile WirelessMAN. Αρχικά ορίζεται από την τροπολογία-2005 802.16e που βρίσκεται τώρα σε διαδικασία να αναπτυχθεί σε όλο τον κόσμο σε περισσότερες από 140 χώρες με περισσότερους από 475 φορείς.

Πίνακας 1: IEEE 802.16 έργα και πρότυπα

Standard	Περιγραφή	Κατάσταση
802.16-2001	Σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση (10 - 63 GHz)	Αντικαταστάθηκε
802.16.2-2001	Συνιστώμενη πρακτική για τη συνύπαρξη	Αντικαταστάθηκε
802.16c-2002	Σύστημα προφίλ για 10-63 GHz	Αντικαταστάθηκε
802.16a-2003	Φυσικό επίπεδο και MAC ορισμούς για 2-11 GHz	Αντικαταστάθηκε
P802.16b	Άδεια με απαλλαγή από τις συχνότητες (Project αποσύρεται)	Έχει αποσυρθεί
P802.16d	Συντήρηση και Σύστημα προφίλ για 2-11 GHz (Project συγχωνεύθηκαν σε 802,16 - 2004)	Συγχωνεύεται
802.16-2004	Air Interface για Σταθερή Ευρυζωνικό συστήματος ασύρματης πρόσβασης (Συλλογή από 802,16 έως 2.001, 802.16a, 802.16c	Αντικαταστάθηκε

	και P802.16d)	
P802.16.2a	Συνύπαρξη με 2-11 GHz και 23,5 - 43,5 GHz (Project συγχωνεύθηκαν σε 802.16.2-2004)	Συγχωνεύεται
802.16.2-2004	Συνιστώμενη πρακτική για τη συνύπαρξη (Συντήρηση και συλλογή των 802.16.2-2001 και P802.16.2a)	Τρέχουσα
802.16f-2005	Διαχείριση Βάσης Πληροφοριών για 802,16 έως 2004	Αντικαταστάθηκε
802.16-2004/Cor 1- 2005	Διορθώσεις για τις σταθερές ενέργειες (Συνδημοσίευση με 802.16e-2005)	Αντικαταστάθηκε
802.16e-2005	Mobile Broadband συστήματος ασύρματης πρόσβασης	Αντικαταστάθηκε
802.16k-2007	Γεφύρωση των 802,16 (Τροποποίηση του IEEE 802.1D)	Τρέχουσα
802.16g-2007	Διαχείριση Διαδικασιών Plane και Υπηρεσίες	Αντικαταστάθηκε
P802.16i	Κινητά Βάση Πληροφοριών Διαχείρισης (Project συγχωνεύθηκαν σε 802,16 - 2009)	Συγχωνεύεται
802.16-2009	Air Interface για σταθερής και κινητής ευρυζωνικής συστήματος ασύρματης πρόσβασης (Συλλογή από 802,16 έως 2.004, 802.16-2004/Cor 1, 802.16e, 802.16f, 802.16g και P802.16i)	Τρέχουσα
802.16j-2009	Multihop ρελέ	Τρέχουσα
802.16h-2010	Η βελτίωση των μηχανισμών για τη συνύπαρξη Άδεια-Απαλλαγή των επιχειρήσεων	Τρέχουσα
P802.16m	Advanced Air Interface με δεδομένα τα ποσοστά των 100 Mbit / s κινητό και 1 Gbit / s σταθερό. Επίσης γνωστό ως <i>Mobile WiMAX Release 2</i> ή <i>WirelessMAN-Advanced</i> . Με στόχο την εκπλήρωση της ITU-R IMT-Advanced απαιτήσεις για τα 4G συστήματα.	Σε εξέλιξη
P802.16n	Ανώτατη Δίκτυα Αξιοπιστία	Σε εξέλιξη
P802.16p P802.16p	Βελτιώσεις στην υποστήριξη Machine-to-Machine Εφαρμογές	Σε εξέλιξη

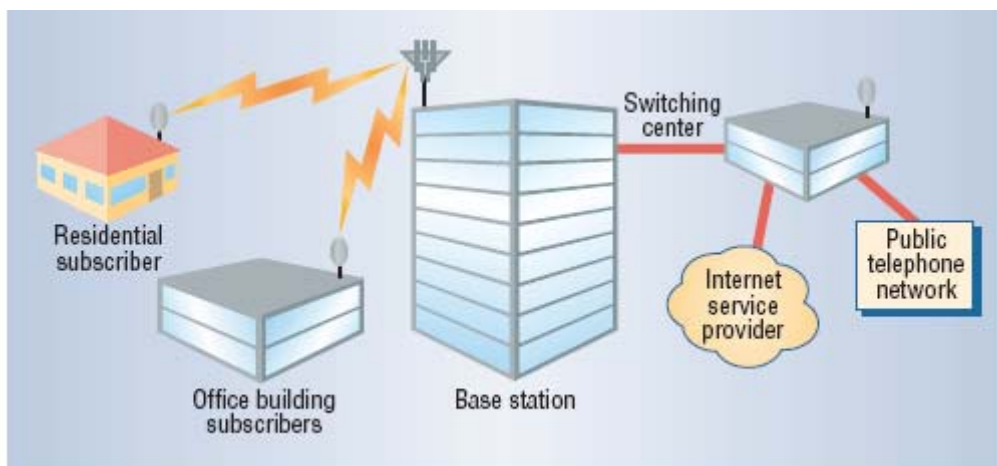
Κεφάλαιο 2

2.1 Τι είναι το WiMax

Το WiMax είναι μια νέα τεχνολογία, ένα βήμα μπροστά από το Wi-Fi, που παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι σαφώς καλύτερο από το Wi-Fi και μπορεί να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις μετάδοσης. Πλέον ένας φορητός υπολογιστής μπορεί να συνδυάζει τις ιδιότητες κινητού τηλεφώνου και ραδιοφωνικού πομπού: θα πιάνει «παντού» και θα εξασφαλίζει επικοινωνία με και από κάθε γωνιά του πλανήτη.

Τα αρχικά της λέξης WiMax προκύπτουν από τις λέξεις World Interoperability for Microwave Access και είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός ο οποίος ταυτοποιεί συγκεκριμένο εξοπλισμό υποστηριζόμενος από εταιρίες (Intel...) προσπαθώντας να προωθήσει το πρότυπο 802.16 σε κάθε ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης σύστημα. Για να γίνουμε λίγο πιο σαφής το WiMAX δεν είναι ένα πρότυπο αλλά ένα εμπορικό όνομα που αναφέρεται σε κάθε σύστημα και εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.16. Το να ταυτοποιείται λοιπόν ένα προϊόν με το όνομα WiMAX σημαίνει ότι έχει κατασκευαστεί με βάση το πρότυπο 802.16 και έτσι εξασφαλίζεται η συμβατότητα και η διαλειτουργικότητα (interoperability) στον BWA εξοπλισμό.

Αρχικά, το όραμα των υπερασπιστών του WiMax, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, ήταν ότι οι μεταφορείς θα εγκαταστήσουν πομποδέκτες στεγών ως σταθμούς βάσεων συνδεδεμένους με το Διαδίκτυο. Κάθε ένας σταθμός βάσεων θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία WiMax για να στείλει και να λάβει δεδομένα από και προς τις σταθερές κεραίες συνδρομητών, που είναι τοποθετημένες στις στέγες ή στους εξωτερικούς τοίχους.



Αντίθετα με άλλα ασύρματα δίκτυα, τα οποία επιτρέπουν μεταδόσεις μόνο με ένα φάσμα συχνότητας, το WiMax επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με πολλαπλά, ευρέα φάσματα συχνότητας. Αυτό βοηθάει πάρα πολύ, γιατί το να υπάρχουν πολλά φάσματα, μεγιστοποιεί τη δυνατότητα της τεχνολογίας να μεταδώσει πέρα από τις συχνότητες άλλων ασύρματων εφαρμογών.

Το WiMax αναμένεται να επιτρέψει αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες πέρα από τα ασύρματα δίκτυα με κόστος που θα καταστήσει ενεργή την υιοθέτηση μαζικής αγοράς. Το WiMax είναι το μόνο ασύρματο πρότυπο που σήμερα έχει τη δυνατότητα να παραδώσει τις αληθινές ευρυζωνικές ταχύτητες και βοηθάει στο να γίνει το όραμα της κυρίαρχης συνδετικότητας μια πραγματικότητα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται στο πρότυπο 802.16 είναι τα εξής:

- Η ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες όπου η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη.
- Αποφυγή μεγάλου κόστους εγκατάστασης.
- Η ικανότητα υπέρβασης των φυσικών περιορισμών που υπάρχουν στην ενσύρματη δικτύωση.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε ότι το 802.16 συνιστά ένα πολύ ευέλικτο και οικονομικό πρότυπο το οποίο μπορεί να καλύψει τις αδυναμίες της ενσύρματης δικτύωσης και επιπλέον να παρέχει νέες υπηρεσίες και προϊόντα.

2.2 Τα κύρια πλεονεκτήματα του μητροπολιτικού ασύρματου δικτύου

Το WiMax προσφέρει **κινητικότητα** στους συνδρομητές. Δηλαδή, ο κάθε συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL, ούτε και με την τεχνολογία WiFi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.

Κάθε συνδρομητής απαιτεί από το δίκτυό του **διαλειτουργικότητα**. Το WiMAX βασίζεται σε παγκόσμια πρότυπα και πρωτόκολλα, εκτός εταιρικών παρεμβάσεων, τα οποία διευκολύνουν τους τελικούς χρήστες να ταξιδεύουν και να χρησιμοποιούν τους σταθμούς υπηρεσίας τους σε διαφορετικές τοποθεσίες ή με διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Η διαλειτουργικότητα προστατεύει την πρόωρη επένδυση ενός χειριστή καθώς μπορεί να επιλέξει εξοπλισμό από διαφορετικές εταιρείες και θα συνεχίσει να μειώνει το κόστος του εξοπλισμού σαν αποτέλεσμα της μαζικής αποδοχής.

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό του WiMax είναι η **εμβέλεια (coverage)**. Το πρότυπο IEEE 802.16 κατασκευάζεται έτσι ώστε να υποστηρίζει τεχνολογίες που αυξάνουν την εμβέλεια του σήματος όπως *mesh τοπολογίες* και έξυπνες κεραιές. Αξίζει να σημειώσουμε ότι *mesh τοπολογίες* είναι αυτές οι τοπολογίες δικτύου όπου κάθε κόμβος συνδέεται άμεσα με κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Όσο λοιπόν η ραδιοτεχνολογίες βελτιώνονται και το κόστος μειώνεται, μεγαλώνει και η δυνατότητα αύξησης της εμβέλειας και του throughput με τη χρήση πολλαπλών κεραιών καθώς ενθαρρύνεται και η εξάπλωση της εμβέλειας σε περιοχές που παλαιότερα ήταν αδύνατο να εξαπλωθεί.

Επίσης πολύ σημαντικό για τη διάδοση του είναι η **κλιμακοσιμότητα (scalability)** ή καλύτερα επεκτασιμότητα. Για να μπορεί να γίνει εύκολος και επεκτάσιμος σχεδιασμός κυψελών (cells) επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη συχνοτικές μπάντες, το πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει ευέλικτα από την άποψη εύρους ζώνης κανάλια επικοινωνίας. Για παράδειγμα αν σε κάποιο χειριστή ανατεθεί συχνοτικό φάσμα των 20 MHz, τότε αυτός μπορεί να χωρίσει το φάσμα σε δύο κομμάτια των 10 MHz ή ακόμα σε τέσσερα κομμάτια των 5 MHz. Συγκεντρώνοντας έτσι όλη την ενέργεια σε ένα πολύ μικρό φάσμα συχνοτήτων ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλο βεληνεκές και throughput. Για να κλιμακώσει ακόμα περισσότερο την εμβέλεια του σήματος, ο χειριστής μπορεί να χωρίσει ακόμα περισσότερο το φάσμα συχνοτήτων δημιουργώντας απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσης.

Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η **εύκολη και γρήγορη εγκατάσταση και επέκταση**. Συγκρινόμενο με την εγκατάσταση των καλωδιωμένων λύσεων, το WiMAX απαιτεί μικρή ή καθόλου κατασκευή ή αναμόρφωση ήδη υπάρχοντων εγκαταστάσεων. Με την άρση των περιορισμών των καλωδίων οι ιδιωτικές εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών Internet, με πολύ μεγάλη ευκολία, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων σε κάθε σημείο της χώρας. Έτσι θα δημιουργηθούν συνθήκες πραγματικού τηλεπικοινωνιακού ανταγωνισμού. Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλούπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια. Άπαξ και η κεραία και ο αναγκαίος εξοπλισμός έχουν εγκατασταθεί, το WiMAX είναι έτοιμο να παρέχει την υπηρεσία.

Η **δυνατότητα εγκατάστασης σε απομακρυσμένες περιοχές** είναι στην εποχή μας ζητούμενη. Το Wimax παρέχει την ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές ή περιοχές που λόγω φυσικών περιορισμών η ενσύρματη δικτύωση θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η εγκατάσταση των συστημάτων ενσύρματης μετάδοσης είναι υπερβολικά δαπανηρή. Περιπτώσεις αυτού του

απροσπέλαστες και απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο κορμού.

Η **άμεση επανεργοποίηση του δικτύου είναι δεδομένη**. Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.

Το Wimax προσφέρει **φορητότητα**. Όπως και με τα τρέχοντα κυβελωτά συστήματα, μόλις ο σταθμός υπηρεσίας του WiMAX αρχίζει τη λειτουργία του, ταυτοποιείται, καθορίζει τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης με το σταθμό βάσης, όσο ο σταθμός υπηρεσίας είναι εγγεγραμμένος στη βάση δεδομένων του συστήματος και τότε διαπραγματεύεται τα χαρακτηριστικά εκπομπής του, αντίστοιχα.

Σημαντικό όφελος είναι το **χαμηλό κόστος εγκατάστασης**. Το WiMAX είναι βασισμένο σε ένα ανοιχτό, παγκόσμιο πρωτόκολλο. Η μαζική αποδοχή του και η χρήση chipsets χαμηλού κόστους μαζικής παραγωγής θα οδηγήσει σε δραματική μείωση του κόστους και το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού στις τιμές θα παρέχει σημαντικές οικονομίες για τους παρόχους υπηρεσιών και τους τελικούς χρήστες.

Η **παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών (QoS ή Quality of service)** όπως είναι η μεταφορά φωνής, είναι εξαιρετικά σημαντική για την υιοθέτηση και εξάπλωση του προτύπου. Όσον αφορά την ασφάλεια, τα πιο πολλά ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν επίσης μεθόδους εξουσιοδότησης των συνδεδεμένων και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Αρκετά πρότυπα χρησιμοποιούν την τεχνική εναλλαγής συχνότητας (frequency hopping) σύμφωνα με την οποία ο κάθε πομποδέκτης αλλάζει συχνότητα μετά την αποστολή / λήψη ενός πακέτου δεδομένων αποφεύγοντας έτσι τα παράσιτα.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε ότι το WiMAX συνιστά ένα πολύ ευέλικτο και οικονομικό πρότυπο το οποίο μπορεί να καλύψει τις αδυναμίες της ενσύρματης δικτύωσης και επιπλέον να παρέχει νέες υπηρεσίες και προϊόντα.

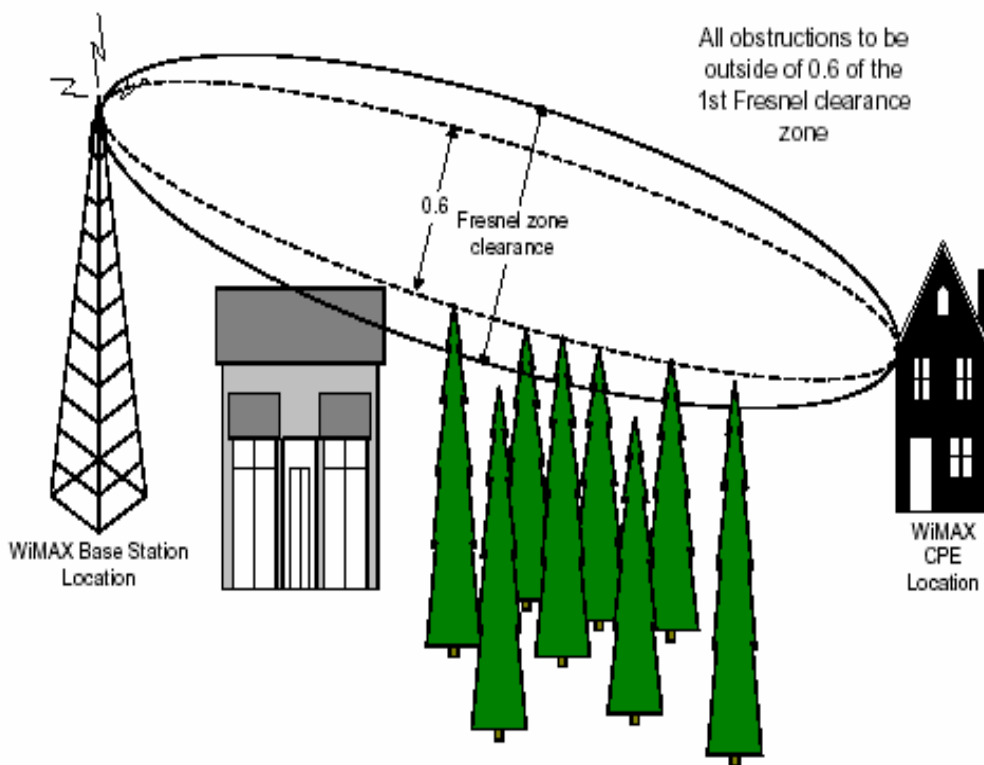
2.3 Τρόποι διάδοσης

Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να υποστηρίξει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου 802.16 σε σχέση με το 802.11 είναι ότι το πρώτο

μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps.

Επίσης κάτι άλλο που χαρακτηρίζει το πρότυπο IEEE 802.16 είναι τα κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας, στα οποία εκπέμπονται οι συχνότητες. Αυτά διαχωρίζονται σε LOS (Line of sight) και σε NLOS (Non line of sight).

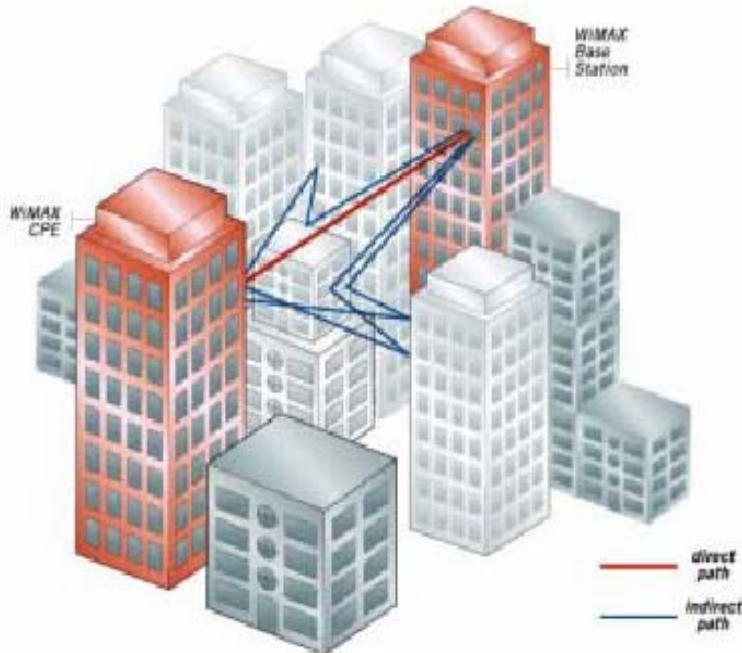
Σε μια σύνδεση LOS ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτός ο παράγοντας τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Γενικά, γνωρίζουμε ότι η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Τα παραπάνω φαίνονται καλύτερα στο παρακάτω σχήμα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Fresnel zone clearance που αναφέρεται στο σχήμα, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.



Σχήμα 1: Ζώνη Fresnel

Σε μια NLOS σύνδεση ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φθάνει στο δέκτη αποτελείται από σήμα που έφτασε άμεσα από το πομπό, σήμα που έφτασε από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική καθυστέρηση διάδοσης, πολώσεις, και σταθερότητα σχετικά με το σήμα που φθάνει άμεσα.

Το φαινόμενο αυτό του πολλαπλού μονοπατιού που περιγράφουμε μπορεί να ευθύνεται και για την αλλαγή της πολικότητας του σήματος. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα μιας NLOS μετάδοσης.



Σχήμα 2: NLOS μετάδοση

Γενικά, αν και υπάρχουν προβλήματα, η NLOS μετάδοση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της LOS αφού είναι πιο ευέλικτη και απαιτεί πολύ μικρότερες κεραιές. Η ύπαρξη μικρών κεραιών είναι πολύ μεγάλης σημασίας σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές και αυτό συμβαίνει γιατί με μικρές κεραιές μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Βέβαια η NLOS μετάδοση μειώνει το κόστος εγκατάστασης σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη.

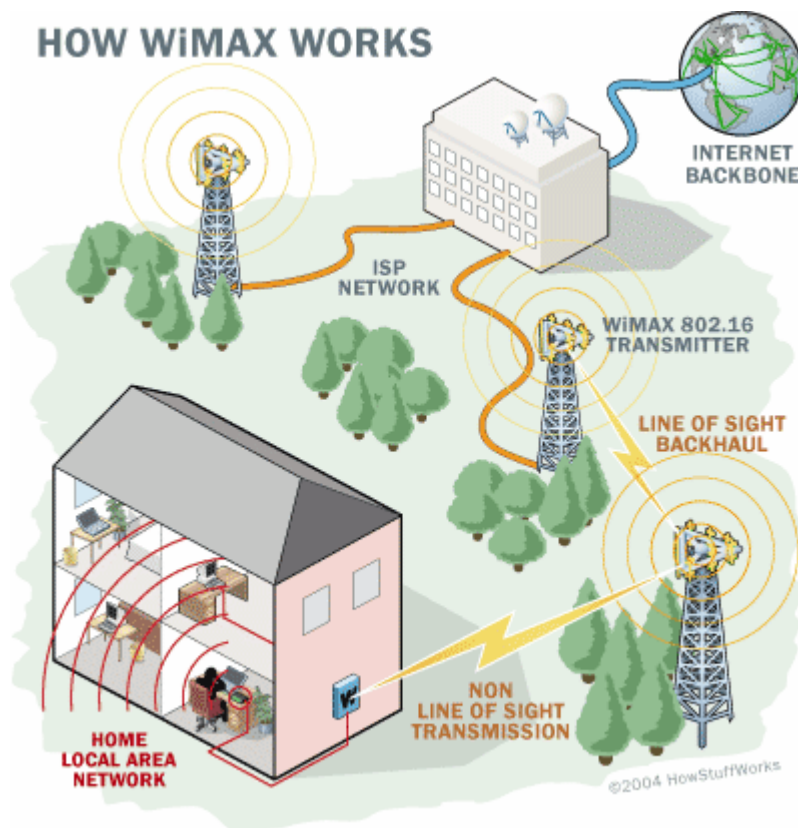
2.4 Τοπολογία

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point-to-Multipoint (PTM) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για Point-to-Point (PTP) συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται είναι η Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιάθρυσης ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί. Τυπικά, ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο μέρη (Σχήμα 3):

- Ένας Σταθμός Βάσης WiMAX (Base Station - BS): Ο σταθμός βάσης αποτελείται από τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις και έναν πύργο WiMAX. Χαρακτηριστικά, ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 10χλμ (θεωρητικά, ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 50 χλμ. Οποιοσδήποτε ασύρματος κόμβος μέσα στην περιοχή κάλυψης θα είναι σε θέση να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

- Ένας δέκτης WiMAX (Subscriber Station - SS): Ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο κιβώτιο ή μια κάρτα PCMCIA που βρίσκεται σε ένα laptop ή υπολογιστή. Η πρόσβαση στο σταθμό βάσης WiMAX είναι παρόμοια με στην πρόσβαση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης σε ένα δίκτυο Wi-Fi, αλλά η κάλυψη είναι μεγαλύτερη.

Διάφοροι σταθμοί βάσεων μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω backhaul συνδέσεων μικροκυμάτων μεγάλης ταχύτητας. Αυτό θα επέτρεπε την περιπλάνηση ενός συνδρομητή WiMAX από έναν σταθμό βάσης σε μια άλλη περιοχή σταθμού βάσης, παρόμοια με την περιπλάνηση που επιτρέπεται από τις επιχειρήσεις κινητής τηλεφωνίας.



Σχήμα 3: Σταθμοί βάσης και σταθμοί συνδρομητών WiMAX.

Το WiMAX σχεδιάστηκε τόσο για λειτουργίες ζεύξης PTP όσο και για λειτουργίες PTM. Η PTM ανάπτυξη δικτύου προϋποθέτει μια κυψελοειδούς μορφής αρχιτεκτονική, με κάθε περιοχή κυττάρων να καλύπτει μια ακτίνα μέχρι 5 ή 6 μιλίων και να χειρίζεται μέχρι αρκετές εκατοντάδες συνδρομητές. Ενώ η μέγιστη απόσταση που καλύπτει η τεχνολογία επεκτείνεται λίγο πάνω από 30 μίλια, είναι απίθανο να χρησιμοποιηθεί, με εξαίρεση μερικές backhaul PTP εφαρμογές.

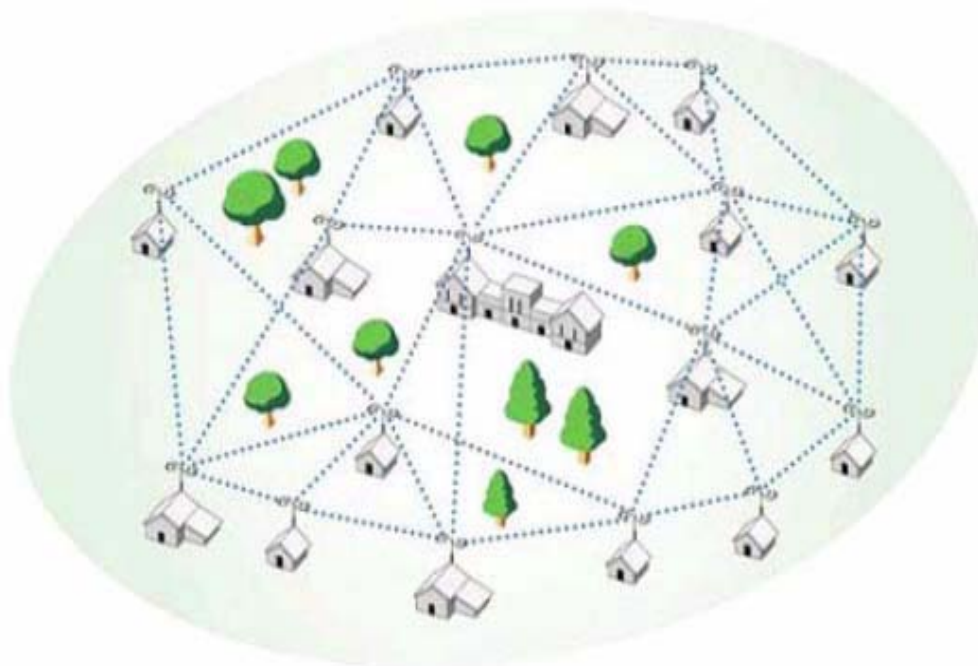
Ο Πίνακας 2 απεικονίζει τις αποστάσεις και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε PTP ανάπτυξη δικτύου και σε PTM ανάπτυξη δικτύου.

Ρυθμός μετάδοσης Δεδομένων (Mbps)	Απόσταση (χλμ.) σε PTP	Απόσταση (χλμ.) σε PTM
8	50	28
17	45	24
33	33	15
48	13	4

Πίνακας 2: Αποστάσεις επικοινωνίας PTP και PMP.

Μια συχνή επιλογή για την τοπολογία επικοινωνίας συνδρομητή με συνδρομητή στο WiMAX και στην περίπτωση NLOS είναι η τοπολογία πλέγματος (Σχήμα 4). Συμπεριλαμβάνεται στο πρότυπο για να επιτρέψει υπέρθετα δίκτυα στο φάσμα συχνοτήτων χωρίς άδεια και να επεκτείνει τα άκρα του βεληνεκούς του WMAN με χαμηλό κόστος. Η υποστήριξη της τοπολογίας πλέγματος έχει επεκταθεί πρόσφατα και στις εξουσιοδοτημένες ζώνες.

Αν και έχει ιδιαίτερα σύνθετη τοπολογία και τρόπο αποστολής μηνυμάτων, η τοπολογία πλέγματος είναι μια καλή εναλλακτική λύση στη συνηθισμένη περίπτωση NLOS, δεδομένου ότι κλιμακώνεται καλά και διαχειρίζεται την παρέμβαση που στερείται άδειας. Επιτρέπει σε μία κοινότητα να έχει πυκνές συνδέσεις WiMAX με χαμηλότερο κόστος, με δυνατές επικοινωνίες καθώς υπάρχουν πολλαπλές πορείες για να ακολουθήσει η κίνηση.



Σχήμα 4: Παράδειγμα Τοπολογίας Πλέγματος.

2.5 Χρήσεις του WiMax

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

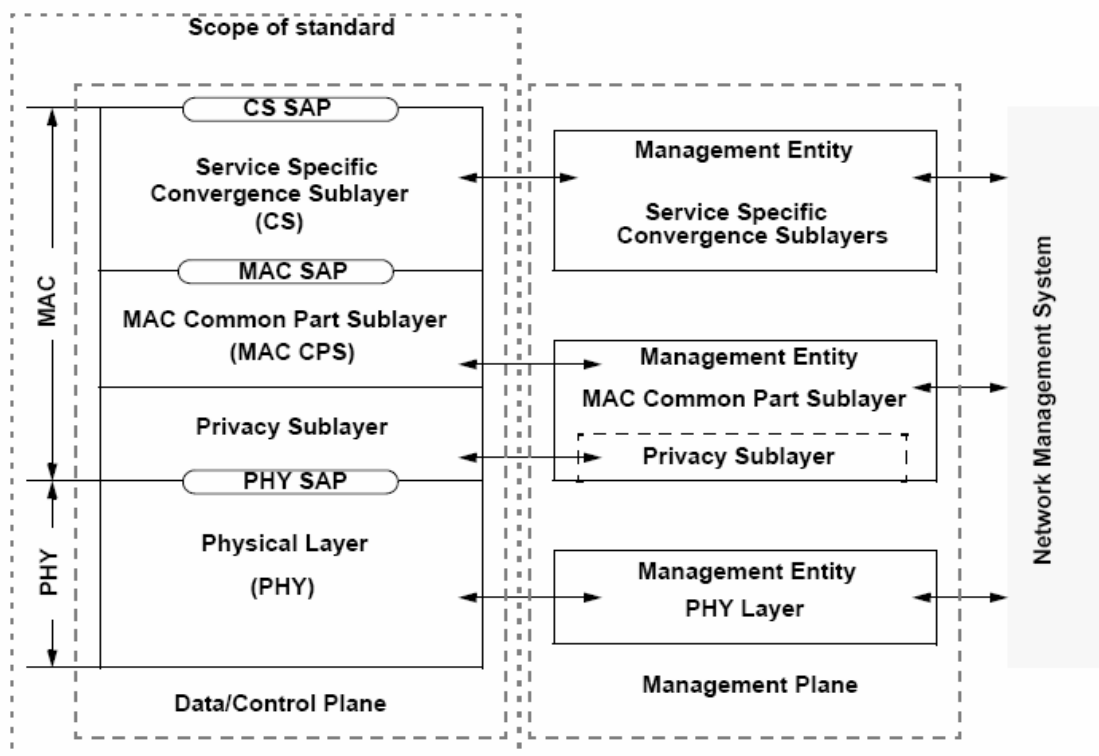
1. Η **μόνιμη και ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο** επιτρέπει ακόμη και στον πιο απλό χρήστη να αξιοποιήσει ένα μεγάλο πλήθος νέων εφαρμογών, που μέχρι στιγμής δεν ήταν διαθέσιμες, είτε λόγω χαμηλού bandwidth, είτε λόγω των περιορισμών που θέτει η χρήση καλωδίων.
2. Η **τηλεφωνία Voice over IP**, που επιτρέπει την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων μέσω Internet, μέχρι τώρα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους που διέθεταν σύνδεση στο διαδίκτυο υψηλών ταχυτήτων. Με το WiMAX, το γρήγορο Internet είναι διαθέσιμο σε κάθε σημείο. Έτσι προσφέρει τηλεφωνική επικοινωνία με άτομα που βρίσκονται πολύ μακριά ακόμη και όταν ταξιδεύουμε και μάλιστα με χαμηλό ή και μηδενικό κόστος.
3. Οι ταχύτητες που υπόσχεται το WiMAX είναι τόσο υψηλές, που εκτός από τη μετάδοση φωνής, το πιθανότερο είναι ότι θα καταστεί εφικτή και η **βιντεοτηλεφωνία** μέσω διαδικτύου. Εφαρμογές όπως το Skype, το ICQ ή ο Messenger που ήδη επιτρέπουν την πραγματοποίηση συνομιλίας με ήχο ή και εικόνα, θα μπορούν άμεσα να χρησιμοποιηθούν σε φορητούς υπολογιστές και PDA εν κινήσει, καθιστώντας απλή υπόθεση την αδιάλειπτη και οικονομική επικοινωνία.
4. Η παρακολούθηση **video on demand και online** τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών μεταδόσεων προγραμμάτων θα επιτρέπει σε κάποιο φίλαθλο να παρακολουθεί online το ματς της αγαπημένης του ομάδας εν κινήσει, στον επαγγελματία να ενημερώνεται για τις τιμές των μετοχών ανά πάσα στιγμή. Η αποστολή ενός e-mail με μεγάλα συνημμένα αρχεία, ενώ βρίσκεστε καθ' οδόν, σήμερα είναι πρακτικά ανέφικτη, εκτός φυσικά αν χρησιμοποιήσετε το, όχι και τόσο οικονομικό, 3G.
5. Το WiMAX θα επιτρέψει τη δημιουργία ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων που θα καλύπτουν αξιόπιστα μεγάλες περιοχές. Χρήστες που βρίσκονται στην ίδια μεγαλούπολη, αλλά σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων μεταξύ τους, θα μπορούν να ανταλλάζουν αρχεία δημιουργώντας μεταξύ τους **ένα προστατευμένο ιδιωτικό δίκτυο**, στο οποίο δεν θα έχουν πρόσβαση τρίτα άτομα, παρά μόνο αν γνωρίζουν το μυστικό κλειδί κρυπτογράφησης.

Κεφάλαιο 3

3.1 Εισαγωγή

Όπως όλα τα πρότυπα της σειράς 802 της IEEE, έτσι και το 802.16 επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI, δηλαδή στο φυσικό επίπεδο (Physical Layer – PHY) και στο επίπεδο MAC. Οι αλλαγές που επιτελέστηκαν στα δύο παραπάνω στρώματα σε σχέση με το πρότυπο Wi-Fi είναι σημαντικές. Οι αλλαγές αυτές έχουν σαν κύριο στόχο τη δημιουργία ενός προτύπου το οποίο θα μπορούσε να καλύψει τα κενά που αφήνει ο προκάτοχος του (Wi-Fi) και ταυτόχρονα να κάνει γεγονός την Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση.

Η στοίβα πρωτοκόλλων του WiMAX παρουσιάζεται στην Σχήμα 5. Το Service Access Point (SAP) αποτελεί το σημείο επικοινωνίας ενός υποεπιπέδου με το άλλο.



Σχήμα 5: Στοίβα πρωτοκόλλων του 802.16.

Ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω παρατηρούμε ότι το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο το οποίο ασχολείται με τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης. Πιο πάνω παρατηρούμε ότι το MAC επίπεδο αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία (Convergence Sublayer - CS). Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δουλειά αυτού του υποεπιπέδου είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC υποεπιπέδο κοινού τμήματος (Common Part Sublayer - CPS). Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα όπως η διαχείριση του καναλιού. Το μοντέλο είναι ότι ο BS ελέγχει το σύστημα. Μπορεί δηλαδή να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τον BS προς τον SS), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από τον SS προς τον BS). Το τελευταίο υποεπίπεδο είναι το υποεπίπεδο ιδιωτικότητας (Privacy Sublayer - PS). Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση, ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφηση.

3.2 Το Φυσικό Στρώμα (Physical Layer)

Το WiMAX δεν είναι και τόσο καινούριο, ωστόσο, είναι μοναδικό επειδή σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου από την αρχή για να προσφέρει τη μέγιστη ικανότητα διαβίβασης δεδομένων στη μέγιστη απόσταση και παράλληλα να είναι 99,999% αξιόπιστο. Για να επιτευχθεί αυτό, οι σχεδιαστές (IEEE 802.16 Working Group D) βασίστηκαν σε αποδεδειγμένες τεχνολογίες για το φυσικό στρώμα, όπως Orthogonal Frequency (OFDM), Time Division Duplex (TDD), Frequency Division Duplex (FDD), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) και Quadrature Amplitude Modulation (QAM).

Όπως υπονοεί το όνομα, το 802.16 (WiMAX) είναι ένα παρακλάδι του IEEE 802, το οποίο βρίσκει εφαρμογή στο Ethernet, την τεχνολογία που χρησιμοποιεί το καλώδιο κατηγορίας 5, το οποίο συνδέει την πλειοψηφία των υπολογιστών παγκοσμίως. Στο Ethernet, το Φυσικό Στρώμα εμπεριέχεται σε ένα κατηγορίας 5 καλώδιο. Εν συντομία, το WiMAX και το προηγούμενο 802.11 (WiFi) είναι ασύρματες μορφές του Ethernet. Επομένως, ισχύει το μεγαλύτερο μέρος του μοντέλου αναφοράς OSI (Open Systems Interconnection).

Εφόσον τα πρότυπα IEEE 802.11 και 802.16 είναι ασύρματες εκδόσεις του Ethernet, χρησιμοποιούν ένα Φυσικό Στρώμα και ένα Στρώμα Ελέγχου του Μέσου ώστε να υλοποιηθεί το ασύρματο μέσο.

3.2.1 Η λειτουργία του Φυσικού Στρώματος

Ο σκοπός του Φυσικού Στρώματος, όπως υπονοεί και το όνομά του, είναι η φυσική μεταφορά των δεδομένων. Το φυσικό στρώμα είναι αρμόδιο για την φυσική μεταφορά των δεδομένων. Συγκεκριμένα ορίζει τη ζώνη συχνοτήτων, τη διαμόρφωση, τις τεχνικές διόρθωσης λαθών, το ρυθμό μετάδοσης και το συγχρονισμό ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πρέπει να διασφαλίζουν τη μέγιστη αποτελεσματικότητα μετρούμενη σε εύρος ζώνης και συχνότητα φάσματος. Για να είναι αποτελεσματική και συνάμα ελαστική η χρησιμοποίηση των συχνοτήτων, το φυσικό στρώμα του 802.16 υποστηρίζει και αμφιδρόμηση με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing, TDD) και αμφιδρόμηση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplexing, FDD). Το πρότυπο 802.16 αναφορικά με τη μετάδοση στο φυσικό μέσο έχει τρεις παραλλαγές αυτές είναι, μετάδοση μονού φέροντος (Single Carrier), μετάδοση 256 υποκαναλιών OFDM και 2048 OFDMA τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

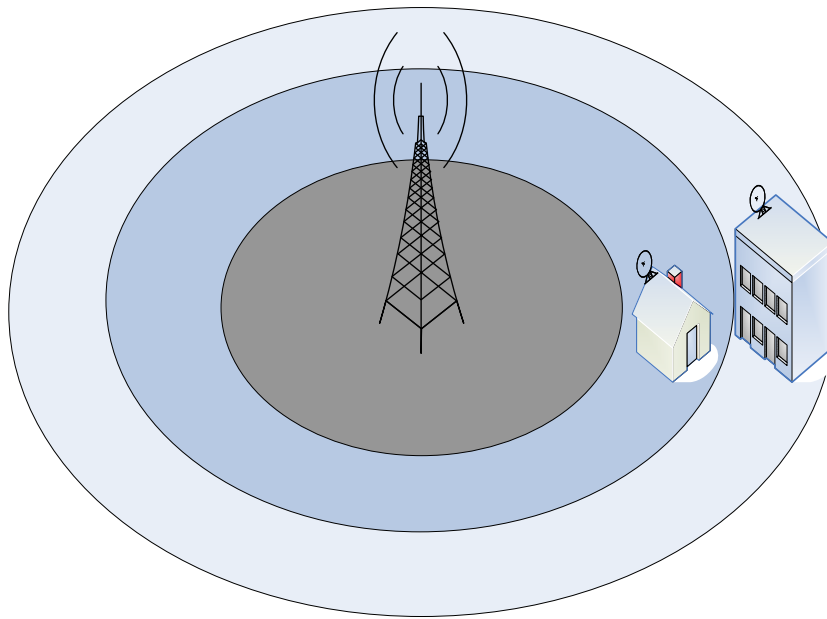
- **Ανερχόμενη ζεύξη (uplink)**

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

- Η TDMA είναι μια τεχνική όπου χωρίζουμε τον χρόνο σε ένα φυσικό δίαυλο σε μία σειρά από πλαίσια, όπου το κάθε ένα αποτελείται από έναν αριθμό από θυρίδες. Μία ή περισσότερες θυρίδες ανατίθενται σε ένα λογικό κανάλι.

- Η DAMA είναι μια τεχνική ανάθεσης χωρητικότητας που προσαρμόζεται στις αλλαγές ζήτησης από τους σταθμούς. Στην DAMA-TDMA η ανάθεση των χρονοθυρίδων γίνεται δυναμικά.

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



Σχήμα 6: Κωδικοποίηση στο περιβάλλον μετάδοσης

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

Σταθμός Βάσης

QAM-64 (6 bits)

- **Κατερχόμενη ζεύξη (downlink)**

QAM-16 (4 bits)

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

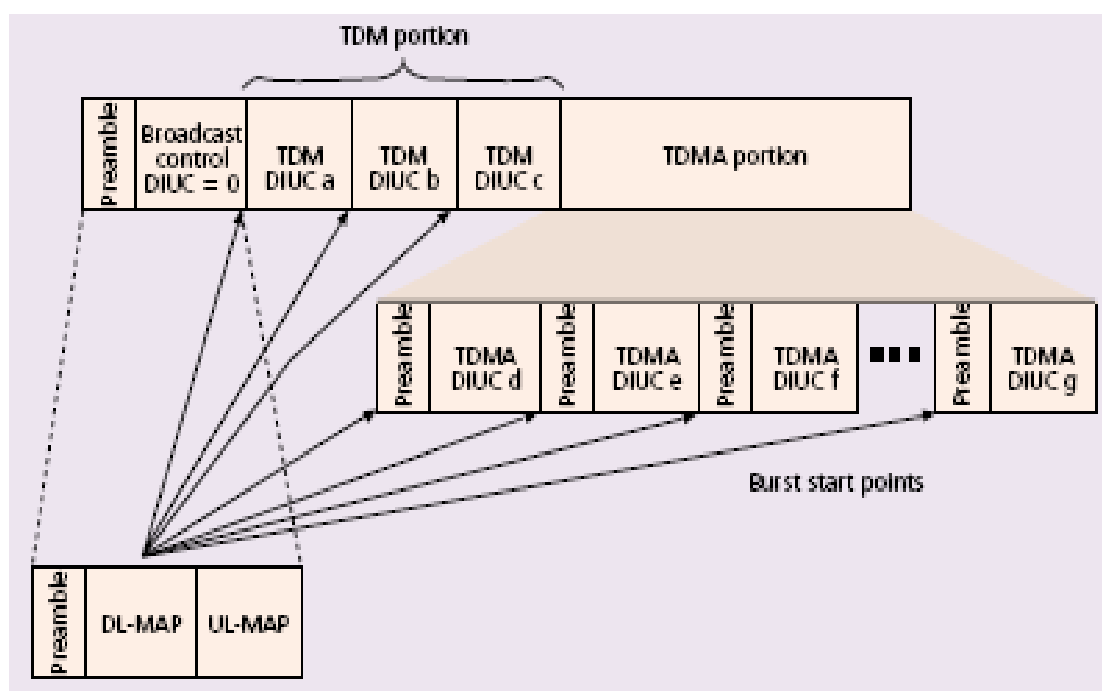
QPSK (2 bits)

3.2.1.1 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας

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

Το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης αρχίζει με ένα προοίμιο με πληροφορίες που αφορούν το συγχρονισμό των πλαισίων και τον έλεγχο. Ακολούθως, στο κομμάτι ελέγχου υπάρχουν τα μηνύματα UL-MAP (Up Link MAP) και DL-MAP (Down Link MAP), τα οποία περιέχουν πληροφορίες για το χρόνο που αρχίζει η ροή των δεδομένων, ανάλογα με την κατεύθυνση της πληροφορίας. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα κομμάτι TDM οργανωμένο σε μικρότερα “εκρηκτικά” κομμάτια. Το κομμάτι TDM της κατερχόμενης ζεύξης περιέχει δεδομένα τα οποία μεταδίδονται στις εξής οντότητες:

- Full-duplex SSs.
- Half-duplex SSs οι οποίοι προγραμματίζουν να μεταδώσουν αργότερα στο πλαίσιο που λαμβάνουν.
- Half-duplex SSs οι οποίοι δεν προγραμματίζουν να μεταδώσουν σε αυτό το πλαίσιο.

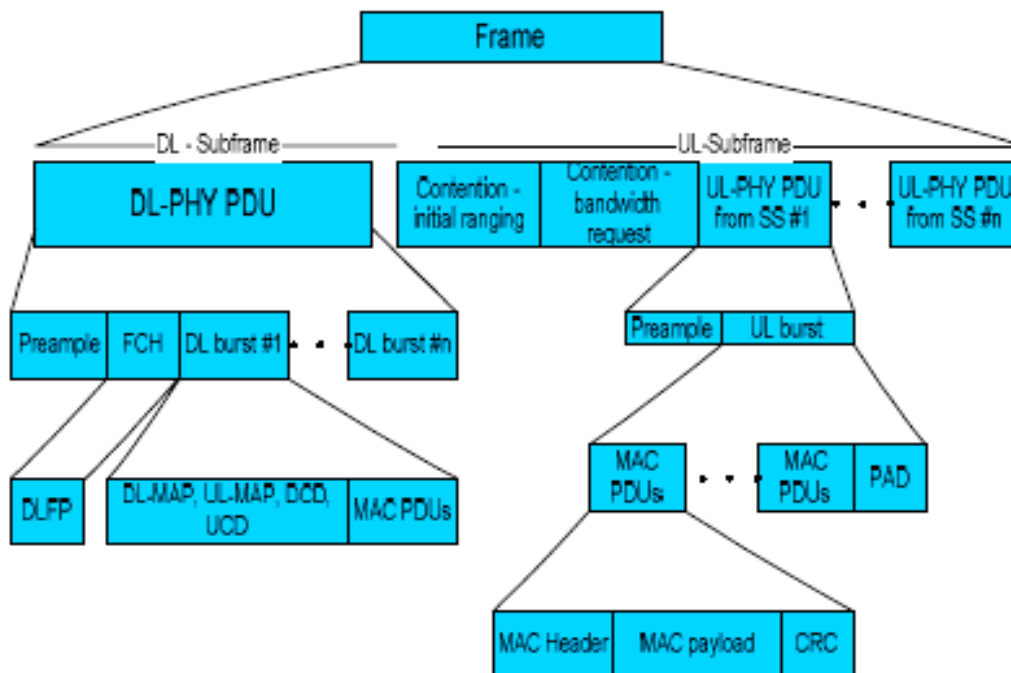


Σχήμα 7: Δομή πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης για ένα FDD σύστημα

Κάθε SSs πρέπει να παραλάβει όλα τα μέρη που αφορούν το πλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης ενώ οι half-duplex SSs δεν πρέπει να επιχειρήσουν να παραλάβουν κομμάτια που συμπίπτουν με τη στιγμή που αυτοί μεταδίδουν. Στη συνέχεια το πλαίσιο ακολουθείται από ένα κομμάτι TDMA το οποίο μεταφέρει πληροφορίες στους SSs, οι οποίοι σχεδιάζουν να μεταδώσουν πριν το λαμβανόμενο πλαίσιο. Αυτό επιτρέπει στους SSs να αποκωδικοποιήσουν ένα κομμάτι του υποπλαισίου και όχι ολόκληρο. Κάθε “εκρηκτικό” κομμάτι πληροφορίας στο κομμάτι TDMA αρχίζει με ένα προοίμιο που αφορά πληροφορίες για το συγχρονισμό της φάσης.

3.2.1.2 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου

Στην περίπτωση της τεχνικής αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου, η ανερχόμενη και η κατερχόμενη ζεύξη λειτουργούν στην ίδια συχνότητα αλλά διαχωρίζονται στο χρόνο, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Ένα πλαίσιο TDD έχει καθορισμένη διάρκεια και περιέχει ένα υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης και ένα της κατερχόμενης. Η πλαιοποίηση στο TDD είναι προσαρμοσμένη στο ότι η χωρητικότητα που κατανέμεται στις δύο ζεύξεις μπορεί να ποικίλει.



Σχήμα 8: Δομή πλαισίου για ένα TDD σύστημα

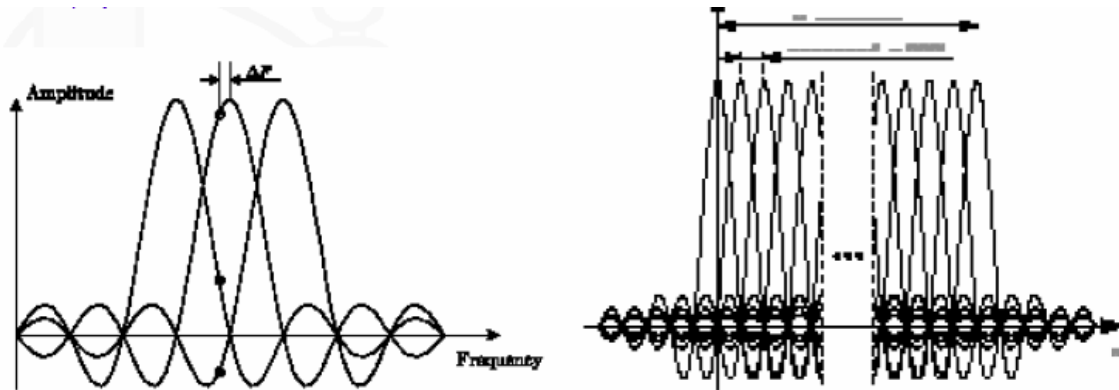
Στην περίπτωση της TDD λειτουργίας το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης φτάνει πρώτα. Το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης αρχίζει με ένα προοίμιο που αφορά πληροφορίες για συγχρονισμό και αντιστάθμιση. Αυτό ακολουθείται από το κομμάτι ελέγχου του πλαισίου που περιέχει τα UL-MAP και DL-MAP. Ακολούθως υπάρχει το TDM κομμάτι.

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

3.2.1.3 Διαμόρφωση OFDM

Ένας από τους κυριότερους λόγους υιοθέτησης του OFDM ως του μοντέλου διαμόρφωσης για ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών. Σε συστήματα μονής φέρουσας ένας επίδοξος παρεμβολέας μπορεί να προκαλέσει ακόμα και την κατάρρευση μιας σύνδεσης, σε αντίθεση με τα συστήματα πολλών φερουσών, όπου ένα μικρό μόνο ποσοστό των φερουσών θα επηρεαστεί. Μία από τις προτεινόμενες λύσεις για βέλτιστη αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η χρήση της Κωδικοποίησης Διόρθωσης Σφάλματος (Error Correction Coding - ECC).

Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάντα συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια συχνοτήτων. Κάθε υποκάνάλι διαμορφώνεται και από διαφορετικό σύμβολο και ακολούθως τα N υποκανάλια πολυπλέκονται στο πεδίο των συχνοτήτων. Η ιδέα που εισήγαγε το OFDM ήταν πρωτοποριακή μιας και οδηγούσε στην εξοικονόμηση φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, έκανε λόγο για χρήση επικαλυπτόμενων υποκαναλιών, που χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας γεγονός που οδηγεί στην αποφυγή ισοστάθμισης, την αντιμετώπιση θορύβου και εξασθένησης σήματος λόγω πολυδιόδευσης καθώς και την πλήρη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.



Σχήμα 9:(a) Συμβατική Τεχνική Πολλών Φερουσών (b) OFDM

Στο σχήμα 9 είναι φανερή η διαφορά μεταξύ των συμβατικών τεχνικών με μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια και του OFDM. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση εύρους φάσματος που αγγίζει κατά περίπτωση ακόμα και το 50%. Βέβαια όπως προαναφέρθηκε πρέπει να εξασφαλιστεί η όσο το δυνατόν μικρότερη παρεμβολή μεταξύ των υποφερουσών.

Η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση αναφέρεται σαν μία μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μπάντας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό σε κανάλια κατά την uplink και downlink ζεύξη δηλαδή κατά τη μεταφορά δεδομένων από το SS προς το σταθμό βάσης και αντίστροφα. Για την Uplink συγκεκριμένα διατίθενται 16 υποκανάλια. Επίσης να πούμε ότι το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει Time Division Duplexing (TDD) και Frequency Division Duplexing (FDD) εργασίες, τόσο για FDD όσο και για ημιαμφίδρομους (Half-Duplex) FDD.

Η OFDM διαμόρφωση είναι πολύ ανθεκτική σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath) ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο 802.16 χρησιμοποιεί.

3.2.1.4 Διαμόρφωση OFDMA

Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτό διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα διαχωρισμού σε υποκανάλια. Τα συνεχή κενά της μεταφοράς οδηγούν σε ένα υψηλότερο φάσμα αποδοτικότητας σε ευρεία κανάλια, και σε μείωση του κόστους στα πιο στενά κανάλια. Είναι γνωστό επίσης σαν Scalable OFDMA (SOFDMA).

Βελτιώσεις έχουν γίνει στα φυσικά στρώματα των OFDM και OFDMA, ώστε να υποστηρίζουν συσκευές και υπηρεσίες σε ένα κινητό περιβάλλον. Αυτές οι βελτιώσεις, που περιλαμβάνουν Scaleable OFDMA, MIMO και υποστήριξη για idle/sleep mode και hand-off, θα επιτρέπουν πλήρη κινητικότητα σε ταχύτητες ως και 160 χιλιόμετρα την ώρα.

- Βελτίωσε την κάλυψη χρησιμοποιώντας εξελιγμένες κεραιές, τοποθετημένες σε ποικίλους συνδυασμούς.
- Βελτίωσε την κάλυψη εισάγοντας συστήματα κεραιών πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (Multiple Input Multiple Output - MIMO).
- Βελτίωσε την ικανότητα του να διεισδύει καλύτερα σε εσωτερικούς χώρους.
- Χρησιμοποίησε νέες τεχνολογίες κωδικοποίησης όπως Turbo Coding και Low-Density Parity Check (LDPC), αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια.
- Έδωσε τη δυνατότητα στους administrators να εναλλάσσουν την κάλυψη για τη δυναμικότητα και το αντίστροφο.
- Ο νέος αλγόριθμος FFT επιτρέπει μεγαλύτερες καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων και έτσι είναι περισσότερο ανθεκτικό σε παρεμβολές πολλών διαφορετικών μονοπατιών στη μεταφορά δεδομένων.
- Αύξησε την ποιότητα, ευνοώντας έτσι τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μετατρέποντας το έτσι στο πλέον κατάλληλο για εφαρμογές VoIP.
- Αύξησε την υποστήριξη για κινητικότητα των συνδρομητών, κάτι το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία του πρωτοκόλλου 802.16-2005 και είναι πολύ βασικό για την εξέλιξη του 'Mobile WiMax'.

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

3.3 Το Στρώμα Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (MAC)

Το MAC επίπεδο του WiMAX εκτελεί την τυποποιημένη λειτουργία ελέγχου παροχής μιας διεπαφής ανεξάρτητης του μέσου στο φυσικό επίπεδο του WiMAX. Επειδή το φυσικό επίπεδο είναι ένα ασύρματο επίπεδο, η κύρια εστίαση του MAC επιπέδου είναι να ρυθμιστούν οι πόροι της σύνδεσης κατά τρόπο αποδοτικό. Το MAC του WiMAX παρέχει «νοημοσύνη» για το Φυσικό Στρώμα και εξασφαλίζει ένα πλήθος χαρακτηριστικών QoS που

δε συναντώνται σε άλλα ασύρματα πρότυπα. Ίσως η μεγαλύτερή του αξία είναι ότι παρέχει δυναμική κατανομή εύρους ζώνης που κατατροπώνει τις συνηθισμένες υποβαθμίσεις των ασύρματων υπηρεσιών, δηλαδή λανθάνων χρόνου και παραμόρφωση σήματος (jitter).

Το πρωτόκολλο MAC του WiMAX σχεδιάστηκε για point-to-multipoint εφαρμογές ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Επιλαμβάνεται της ανάγκης για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, και για το UL (στον σταθμό βάσης) και για το DL (από τον σταθμό βάσης). Με το WiMAX, σε αντίθεση με τους Wi-Fi προκατόχους του, οι αλγόριθμοι πρόσβασης και κατανομής εύρους ζώνης εξυπηρετούν εκατοντάδες τερματικά ανά κανάλι και πολλαπλοί τελικοί χρήστες μπορεί να μοιράζονται αυτά τα τερματικά. Οι τελικοί χρήστες απαιτούν υπηρεσίες που ποικίλουν στη φύση περιλαμβάνοντας συμβατική TDM φωνή και δεδομένα, συνδεσιμότητα IP και πακετοποιημένο VoIP. Για να υποστηριχθεί αυτή η ποικιλία υπηρεσιών το MAC του WiMAX προσαρμόζεται και σε συνεχόμενη κίνηση και σε εκρηκτική κίνηση (bursty traffic). Επιπλέον, σε αυτές τις υπηρεσίες αναθέτονται QoS παράμετροι κατά που ταιριάζουν στα είδη κίνησης.

Στην ποικιλία απαιτήσεων backhaul που υποστηρίζει το πρωτόκολλο MAC του WiMAX περιλαμβάνονται και ATM και βασιζόμενα σε πακέτα πρωτόκολλα. Τα υποστρώματα σύγκλισης αντιστοιχίζουν την κίνηση που ορίζει το στρώμα μεταφοράς σε ένα MAC που είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να μεταφέρει αποτελεσματικά οποιοδήποτε είδος κίνησης. Τα υποστρώματα σύγκλισης και το MAC συνεργάζονται χρησιμοποιώντας καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου, συσκευασία (packing), και κατακερματισμό για τη μεταφορά της κίνησης με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο από αυτόν του αρχικού μηχανισμού μεταφοράς.

Το MAC επίπεδο είναι συνδεσμο-προσανατολισμένο. Στην είσοδο του δικτύου, κάθε σταθμός συνδρομητών δημιουργεί μια ή περισσότερες συνδέσεις πέρα από στις οποίες τα δεδομένα διαβιβάζονται προς και από το σταθμό βάσης. Το επίπεδο MAC σχεδιάζει τη χρήση των πόρων σύνδεσης και παρέχει διάκριση στην ποιότητα υπηρεσιών. Εκτελεί λειτουργίες προσαρμογής συνδέσεων και αυτόματου αιτήματος επανάληψης (Automatic Repeat Request - ARQ) για να διατηρήσει τα Bit Error Rates (BER) μεγιστοποιώντας την έξοδο δεδομένων. Το MAC επίπεδο χειρίζεται επίσης την είσοδο δικτύων στους σταθμούς συνδρομητών που μπαίνουν και βγαίνουν από το δίκτυο, και αυτό εκτελεί έργα δημιουργίας PDU.

Όταν εγκαθιδρύεται μία σύνδεση, ο χρήστης και το υποδίκτυο, δηλαδή ο πελάτης και ο φορέας, συμφωνούν σε ένα συγκεκριμένο μοτίβο κίνησης για το κύκλωμα αυτό. Μερικές φορές αυτό ονομάζεται Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσιών. Όσο ο πελάτης υπακούει στην συμφωνία, στέλνοντας πακέτα μόνο με βάση το συμφωνημένο συμβόλαιο, ο φορέας υπόσχεται να τα παραδίδει όλα εγκαίρως. Η μορφοποίηση κίνησης μειώνει την συμφόρηση

και βοηθά έτσι τον φορέα να υλοποιήσει την υπόσχεσή του. Οι συμφωνίες αυτές δεν είναι τόσο σημαντικές για τις μεταφορές αρχείων, έχουν όμως μεγάλη σημασία για τα δεδομένα πραγματικού χρόνου, όπως τις συνδέσεις ήχου και βίντεο, όπου υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών.

Στο υποεπίπεδο της ασφάλειας, χρησιμοποιείται κρυπτογραφία για να διατηρηθούν μυστικά όλα τα δεδομένα που μεταδίδονται. Κρυπτογραφούνται μόνο τα ωφέλιμα φορτία των πλαισίων και όχι οι κεφαλίδες. Παρακάτω αναλύονται τα τρία υποστρώματα του MAC επιπέδου.

3.3.1 Υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία

Το υπόστρωμα σύγκλισης (Service Specific Convergence Sublayer, CS) βρίσκεται πάνω από το κοινό υπόστρωμα του MAC (MAC CPS) και παρέχει μια ενιαία διεπαφή με το ανώτερο στρώμα δικτύου, ανεξάρτητα από την κλάση ποιότητας υπηρεσίας που χρησιμοποιείται από το κατώτερο υποεπίπεδο MAC. Αρχικά αντιστοιχίζει ή καλύτερα μετασχηματίζει δεδομένα που λαμβάνει από το σημείο πρόσβασης υπηρεσίας SAP (και που έχουν σταλθεί από το επίπεδο δικτύου) σε MAC SDU (σε τύπου MAC πακέτα δεδομένων υπηρεσίας). Στη συνέχεια αυτά τα «τροποποιημένα» δεδομένα λαμβάνονται με τη σειρά τους από το κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC (MAC CPS) μέσω του MAC SAP. Η διαδικασία αυτή της αντιστοίχισης δεδομένων περιλαμβάνει κατ' αρχήν ταξινόμηση των πακέτων δεδομένων υπηρεσίας που λαμβάνει από το επίπεδο δικτύου με βάση κάποιες παραμέτρους και αντιστοίχιση αυτών των δεδομένων με τη σωστή υπηρεσία του MAC CPS καθώς και με μία ταυτότητα σύνδεσης (CID) ώστε να οριστεί μονοσήμαντα η σύνδεση. Μερικές φορές είναι πιθανόν να εφαρμοστούν ακόμα PHS συναρτήσεις στα δεδομένα, οι οποίες έχουν ως στόχο να απομακρύνουν κάποια δεδομένα που εμφανίζονται δύο φορές και έτσι η μεταφορά από ένα επίπεδο στο άλλο να γίνει με μεγαλύτερη ευκολία.

Από τα παραπάνω που αναφέραμε φαίνεται ότι το CS υποεπίπεδο αποτελεί ένας είδος διεπαφής με πολλά διαφορετικά πρωτόκολλα. Αναλυτικότερα οι λειτουργίες που εκτελεί φαίνονται παρακάτω:

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

- Παραδίδει τα επεξεργασμένα PDUs στην κατάλληλη διεπαφή MAC SAP.
- Παραλαμβάνει CS PDUs από την ομότιμη οντότητα, στο επίπεδο διαχείρισης (network manager plane).

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

ATM CS

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

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

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

CS πακέτων

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

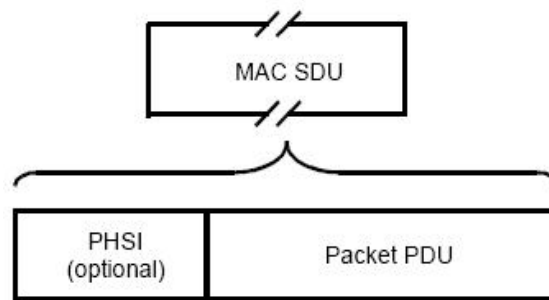
- κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων PDUs από τα ανώτερα στρώματα στην κατάλληλη σύνδεση.
- Συμπύσσει (προαιρετικά) την επικεφαλίδα.
- Παράδοση του προκύπτοντος CS PDU στην διεπαφή MAC SAP συσχετίζοντας τα με την υπηρεσία στην ομότιμη οντότητα.
- Παραλαμβάνει CS PDUs από την ομότιμη οντότητα.
- Επαναφέρει (προαιρετικά) τις συμπυκνωμένες επικεφαλίδες.

Το λαμβανόμενο CS είναι αρμόδιο για την παράδοση των MAC SDU στο MAC SAP. Η MAC είναι αρμόδια για την παράδοση των MAC SDU στη MAC SAP σύμφωνα με το QoS, τεμαχισμός, αλληλουχία και άλλες λειτουργίες μεταφορών που συνδέονται με τα

χαρακτηριστικά ροής υπηρεσιών μιας ιδιαίτερης σύνδεσης. Το λαμβανόμενο CS είναι αρμόδιο για την αποδοχή της MAC SDU από την όμοια MAC SAP και την παράδοση της σε ένα υψηλό στρώμα οντότητας.

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

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



Σχήμα 10: Δομή του MAC SDU

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

3.3.2 Υποεπίπεδο Κοινό Τμήμα (MAC CP)

Ένα δίκτυο του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε ένα μέσο επικοινωνίας, πρέπει να διαθέτει μηχανισμούς να διαχειρίζεται αυτό το μέσο και να το μοιράζει στους κόμβους του. Στη περίπτωση του πρωτοκόλλου WiMAX το υποεπίπεδο MAC CPS αναλαμβάνει το έργο της διαχείρισης του καναλιού.

Το κατέβασμα δεδομένων από το BS στο χρήστη γίνεται με μία PTM λογική. Έτσι το WiMAX λειτουργεί με ένα κεντρικό BS και μία κεραία πολλαπλών τομέων, η οποία έχει τη

δυνατότητα να διαχειρίζεται αυτούς τους πολλαπλούς τομείς παράλληλα. Για μία συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και ένα συγκεκριμένο τομέα, όλοι οι χρήστες λαμβάνουν τα ίδια δεδομένα. Για αυτό ακριβώς το λόγο ένας BS εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο τομέα (με συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού) και στα μηνύματα απάντησης συγκρατεί τις διευθύνσεις των χρηστών του τομέα για μελλοντική επικοινωνία.

Στην αντίθετη κατεύθυνση οι SS, μοιράζονται το κανάλι επικοινωνίας με το BS, με βάση τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Βασικός παράγοντας βέβαια είναι και οι υπηρεσίες που ζητούν.

Σε κάθε τομέα οι χρήστες «υπακούουν» ένα πρωτόκολλο μετάβασης, έτσι ώστε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού να μπορεί να επιτευχθεί η εξυπηρέτηση όλων των χρηστών. Υπάρχουν διαφορετικού τύπου μηχανισμοί χρονοπρογραμματισμού ανεβάσματος δεδομένων στον BS. Οι μηχανισμοί είναι σαφώς ορισμένοι από το πρωτόκολλο έτσι ώστε να μπορούν οι κατασκευάστριες εταιρίες προϊόντων WiMAX να βελτιώνουν όλο και περισσότερο στα προϊόντα τους, διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνικών που ορίζουν οι παραπάνω μηχανισμοί.

Το MAC CPS δημιουργεί συνδέσεις για να διαχειριστεί το κανάλι. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία και εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Η σύνδεση γίνεται ως εξής. Κάθε φορά που ένα SS εγκαθίσταται στο δίκτυο, τότε αμέσως δημιουργείται μια σύνδεση με αυτόν για να είναι δυνατή η ροή υπηρεσιών. Οι συνδέσεις απαιτούν ενεργή συντήρηση. Αυτή η συντήρηση βέβαια εξαρτάται και από το τύπο της υπηρεσίας που συνδέεται. Για παράδειγμα κάποιοι τύποι υπηρεσιών δεν απαιτούν ενεργή συντήρηση της σύνδεσης αφού έχουν σταθερό εύρος ζώνης για κάθε πακέτο δεδομένων, σε αντίθεση με άλλες υπηρεσίες που αυτό μεταβάλλεται δυναμικά. Τέλος να πούμε ότι η σύνδεση τερματίζεται είτε από το BS είτε από το SS .

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

- Γίνεται κατηγοριοποίηση των Service Data Units (SDUs) και συσχετισμός τους στην κατάλληλη MAC ροή και στον Connection Identifier (CID).
- Μπορεί να περιλαμβάνει και λειτουργίες όπως η σύμπτυξη της επικεφαλίδας.
- Πολλές CS προδιαγραφές παρέχονται για να παρέχουν τη διεπαφή με διάφορα πρωτόκολλα.
- Το εσωτερικό σχήμα του φορτίου του CS είναι μοναδικό για το CS, και το MAC CPS δεν απαιτείται να καταλαβαίνει αυτό το σχήμα ή να αναλύει κάποια πληροφορία που περικλείει αυτό.

- Παρέχει τον πυρήνα της λειτουργικότητας του MAC επιπέδου, την ανάθεση του εύρους, την εγκαθίδρυση συνδέσεων και την συντήρησή τους.
- Λαμβάνει δεδομένα από τα διάφορα CSs, και κάνει την κατηγοριοποίηση σε συγκεκριμένες MAC συνδέσεις.
- Εφαρμόζεται Quality of Service (QoS) στην εκπομπή και στον προγραμματισμό των δεδομένων πάνω από το φυσικό επίπεδο

3.3.3 Υποεπίπεδο Ιδιωτικότητας

Το υποεπίπεδο ασφάλειας παρέχει μυστικότητα στους χρήστες του WiMAX ασύρματου ευρυζωνικού δικτύου. Αυτό το επιτυγχάνει αποκρύπτοντας τις συνδέσεις ανάμεσα στα SS και BS. Πιο συγκεκριμένα ο σταθμός βάσης αποτρέπει την αναρμόδια πρόσβαση σε δεδομένα με το να κρυπτογραφεί τις ροές δεδομένων από διάφορες υπηρεσίες κατά μήκος του δικτύου. Το υποεπίπεδο ασφάλειας χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού τύπου πελάτη-εξυπηρετητή όπου ο BS που έχει το ρόλο του εξυπηρετητή, ελέγχει τη διανομή του κρυπτογραφημένου υλικού στον πελάτη που είναι ο SS.

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

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

Το υπόστρωμα ασφάλειας χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο κρυπτογράφησης που παρέχει μέσα για τη κρυπτογράφηση δεδομένων και ένα βασικό διοικητικό πρωτόκολλο που παρέχει μέσα για τον συγχρονισμό ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τους συνδρομητές υποσταθμούς. Το IEEE 802.16 χρησιμοποιεί την έννοια μιας σύνδεσης ασφαλείας (security associations ή SAs) για να καθορίσει τις παραμέτρους ασφαλείας που σχετίζονται με τη σύνδεση. Ένα SA είναι ένα σύνολο παραμέτρων ασφαλείας που μοιράζονται από το BS με ένα ή περισσότερα SSs για να επιτραπεί η ασφαλή ροή επικοινωνίας μέσω του δικτύου 802.16. Ένα SA προσδιορίζεται από την ταυτότητα σύνδεσης ασφαλείας του.

Κεφάλαιο 4

Ο Τρόπος Λειτουργίας του WiMAX

Όπως στις περισσότερες επικοινωνίες δεδομένων, το WiMAX βασίζεται σε μια διαδικασία αποτελούμενη από την εγκατάσταση της συνόδου και αυθεντικοποίηση. Το RLC (Radio Link Control) διαχειρίζεται και παρακολουθεί την ποιότητα της ροής υπηρεσίας. Με το WiMAX, αυτή η διαδικασία είναι μια σειρά ανταλλαγών (DLs και ULs) μεταξύ του σταθμού βάσης (BS) και του σταθμού συνδρομητή (SS). Μια πολύπλοκη διεργασία καθορίζει ποιες FDD και TDD ρυθμίσεις θα χρησιμοποιηθούν για τη ροή της υπηρεσίας, FEC, κρυπτογράφηση, αιτήσεις εύρους ζώνης, προφίλ ριπών, κ.οκ. Η διεργασία αρχίζει με την απόκτηση καναλιού από τον προσφάτως εγκατεστημένο σταθμό συνδρομητή.

4.1 Απόκτηση Καναλιού

Το πρωτόκολλο MAC περιλαμβάνει μια διαδικασία αρχικοποίησης σχεδιασμένη έτσι ώστε να μην υπάρχει ανάγκη χειροκίνητης ρύθμισης. Με άλλα λόγια, ο συνδρομητής βγάζει τον SS από το κουτί, τροφοδοτεί με ρεύμα και Ethernet, και συνδέεται σχεδόν αμέσως στο δίκτυο. Οι επόμενες παράγραφοι περιγράφουν πως αυτό είναι εφικτό χωρίς επίπονη εγκατάσταση από τον χρήστη ή κάποιο κύκλο δοσοληψιών του πάροχου υπηρεσιών.

Μετά την εγκατάσταση, ο SS αρχίζει να σαρώνει τη λίστα συχνοτήτων του για να βρει ένα λειτουργικό κανάλι. Μπορεί να είναι προρυθμισμένος από τον πάροχο υπηρεσιών να καταχωρείται σε έναν συγκεκριμένο BS. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο σε πυκνές αναπτύξεις όπου ο SS μπορεί να ακούσει έναν δευτερεύοντα BS εξαιτίας ψεύτικων σημάτων ή όταν ο SS επιλέξει τον πλευρικό λοβό της κεραίας ενός κοντινού BS. Συν τοις άλλοις, αυτό το χαρακτηριστικό θα βοηθήσει τους παροχείς υπηρεσιών να αποφύγουν πολυδάπανες εγκαταστάσεις και επακόλουθους κύκλους δοσοληψιών (truck roll).

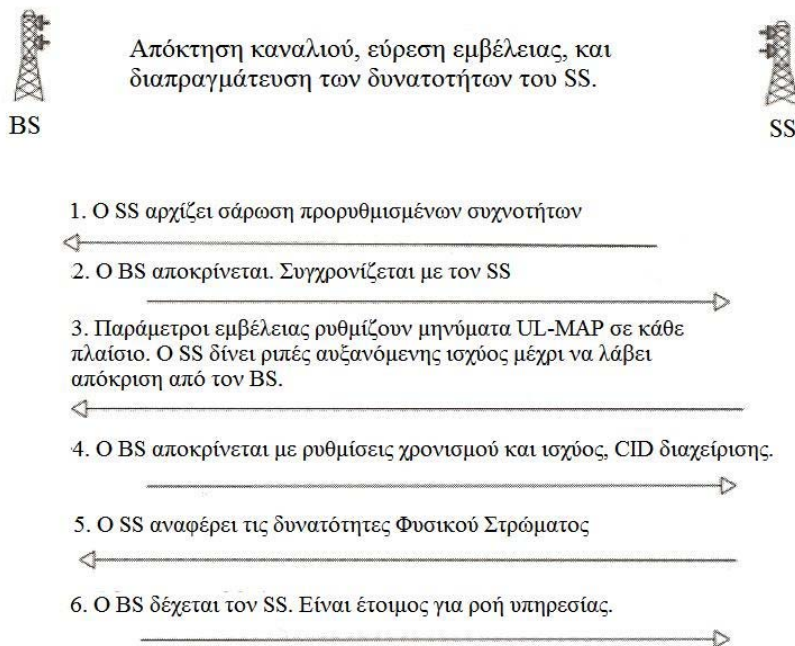
Μετά την επιλογή καναλιού ή ζευγαριού καναλιών, ο SS συγχρονίζεται στην εκπομπή DL από τον BS εντοπίζοντας τα περιοδικά προοίμια πλαισίων. Μόλις συγχρονιστεί το PHY, ο SS θα ψάξει για τα περιοδικώς εκπεμπόμενα μηνύματα DCD και UCD που δίνουν τη δυνατότητα στον SS να καθορίσει τη διαμόρφωση και τα σχέδια FEC που θα χρησιμοποιηθούν στο φέρον του BS.

4.1.1 Αρχική εύρεση εμβέλειας και διαπραγμάτευση των δυνατοτήτων του SS

Μόλις εγκαθιδρυθούν οι παράμετροι των εκπομπών εύρεσης αρχικής εμβέλειας, ο SS θα σαρώσει τα μηνύματα UL-MAP που υπάρχουν σε κάθε πλαίσιο με πληροφορίες εμβέλειας. Ο SS χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο back-off για να καθορίσει ποια υποδοχή αρχικής εμβέλειας θα χρησιμοποιήσει για να στείλει ένα μήνυμα αίτησης εμβέλειας (RNG-REQ). Τότε ο SS θα στείλει τη ριπή του χρησιμοποιώντας τη ρύθμιση ελάχιστης ισχύος και θα επαναλάβει με αυξανόμενη ισχύ εκπομπής μέχρι να λάβει μια απόκριση εμβέλειας.

Βάσει του χρόνου άφιξης του αρχικού RNG-REQ και τη μετρούμενη ισχύ του σήματος, ο BS προσαρμόζει τον χρονισμό προήγησης και την ισχύ στον SS σύμφωνα με την απόκριση εμβέλειας (RNG-RSP). Η απόκριση παρέχει στον SS τα βασικά και πρωταρχικά CID διαχείρισης. Μόλις ο χρονισμός προήγησης (timing advance) των εκπομπών του SS καθοριστεί σωστά, η διαδικασία εμβέλειας για οξύ συντονισμό (fine-tuning) της ισχύος γίνεται μέσω μιας σειράς προτρεπόμενων εκπομπών.

Οι εκπομπές του WiMAX γίνονται χρησιμοποιώντας το πιο σθεναρό προφίλ ριπών. Για την εξοικονόμηση εύρους ζώνης, ο SS στη συνέχεια αναφέρει τις δυνατότητές του ως προς το PHY, περιλαμβάνοντας ποια σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης υποστηρίζει καθώς και αν είναι, σε ένα σύστημα FDD, ημιαμφίδρομος (half-duplex) ή πλήρως αμφίδρομος (full-duplex). Ο BS, στην απόκρισή του, μπορεί να αρνηθεί τη χρήση οποιασδήποτε αναφερόμενης από τον SS δυνατότητας. Το σχήμα 11 απεικονίζει αυτή τη διαδικασία.



Σχήμα 11: Διαδικασία απόκτησης καναλιού μεταξύ BS και SS

4.1.2 Αυθεντικοποίηση SS και καταχώρηση

Το Wi-Fi έχει τη φήμη της χαλαρής ασφάλειας. Ίσως η καλύτερη «ιστορία τρόμου» έχει να κάνει με έναν πωλητή υπολογιστών που εγκατέστησε ένα ασύρματο LAN. Ένας πελάτης αγόρασε έναν φορητό υπολογιστή με ενσωματωμένο εξοπλισμό Wi-Fi και ανυπόμονος να το δοκιμάσει, το ενεργοποίησε στο χώρο στάθμευσης του πωλητή. Ο νέος κάτοχος laptop ήταν αμέσως ικανός να «βυσματωθεί» στο Wi-Fi δίκτυο του πωλητή και μπορούσε να πάρει μερικές πληροφορίες πιστωτικών καρτών πελατών. Ευτυχώς ο κάτοχος του laptop ήταν δημοσιογράφος και όχι επαγγελματίας απατεώνας. Η ιστορία, προς δυσaréσκεια του πωλητή και της βιομηχανίας Wi-Fi, έγινε εθνική είδηση. Η βιομηχανία Wi-Fi έπρεπε να εργαστεί σκληρά για να αποτινάξει τη φήμη των χαλαρών μέτρων ασφάλειας. Μια παρόμοια ιστορία δε θα παρουσιαστεί εύκολα, αν όχι ποτέ, στο WiMAX.

Κάθε SS περιέχει ένα εργοστασιακής εγκατάστασης ψηφιακό πιστοποιητικό X.509 που εκδίδει ο κατασκευαστής και ένα πιστοποιητικό του κατασκευαστή. Ο SS στα μηνύματα αίτησης εξουσιοδότησης και πληροφοριών αυθεντικοποίησης στέλνει αυτά τα πιστοποιητικά, με τα οποία αρχικοποιείται η ζεύξη μεταξύ της 48-bit διεύθυνσης MAC του SS και του δημοσίου κλειδιού RSA, στον BS. Το δίκτυο μπορεί να πιστοποιήσει την ταυτότητα του SS ελέγχοντας τα πιστοποιητικά και επομένως μπορεί να ελέγξει το επίπεδο εξουσιοδότησης του SS. Αν ο SS είναι εξουσιοδοτημένος να εισέλθει στο δίκτυο, ο BS θα απαντήσει στην αίτησή του με μια απάντηση εξουσιοδότησης που περιέχει ένα κλειδί εξουσιοδότησης (Authorization Key) κρυπτογραφημένο με το δημόσιο κλειδί του SS το οποίο θα χρησιμοποιηθεί και για άλλες ασφαλείς συναλλαγές.

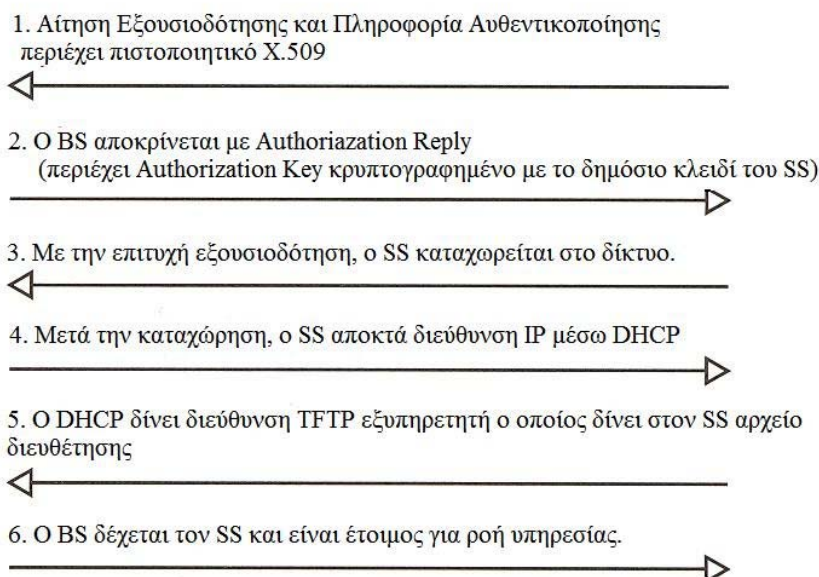
Μετά την επιτυχή εξουσιοδότηση, ο SS θα καταχωρηθεί στο δίκτυο. Αυτό θα εγκαθιδρύσει τη σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης του SS και θα καθορίσει τις δυνατότητες που σχετίζονται με την αρχικοποίηση της σύνδεσης και τη λειτουργία του MAC. Στη σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης καθορίζεται επίσης κατά την καταχώρηση η έκδοση του πρωτοκόλλου IP που θα χρησιμοποιηθεί.

4.1.3 Συνδετικότητα IP

Μετά την καταχώρηση, ο SS αποκτά μια διεύθυνση IP μέσω DHCP και ρυθμίζει την ημερήσια ώρα μέσω του Internet Time Protocol. Ο εξυπηρετητής DHCP παρέχει επίσης τη διεύθυνση του εξυπηρετητή TFTP από τον οποίο ο SS μπορεί να αιτηθεί αρχείο διευθέτησης. Αυτό το αρχείο παρέχει μια πρότυπη διεπαφή για την παροχή ειδικών πληροφοριών ρύθμισης του πωλητή. Το σχήμα 12 απεικονίζει αυτή τη διαδικασία.



Αυθεντικοποίηση και καταχώρηση σταθμού συνδρομητή



Σχήμα 12: Αυθεντικοποίηση και καταχώρηση **SS**

4.1.4 Αρχικοποίηση σύνδεσης

Σειρά έχει η αρχικοποίηση της σύνδεσης, όπου ουσιαστικά ρέουν τα δεδομένα. Το WiMAX χρησιμοποιεί την έννοια ροών υπηρεσίας για να ορίσει τη μιας κατεύθυνσης μεταφορά πακέτων είτε στην DL είτε στην UL. Οι ροές υπηρεσιών χαρακτηρίζονται από ένα σύνολο παραμέτρων QoS, όπως λανθάνων χρόνο και παραμόρφωση σήματος. Για την πιο αποδοτική αξιοποίηση των δικτυακών πόρων, όπως εύρος ζώνης και μνήμη, το WiMAX υιοθετεί ένα μοντέλο ενεργοποίησης δύο φάσεων κατά το οποίο ανατεθειμένοι πόροι σε μια συγκεκριμένη αναγνωρισμένη ροή υπηρεσίας μπορεί να μην αποδίδονται μέχρι να ενεργοποιηθεί η ροή υπηρεσίας. Κάθε αναγνωρισμένη (admitted) ή ενεργή (active) ροή υπηρεσίας αντιστοιχίζεται σε μια σύνδεση MAC με ένα μοναδικό CID. Γενικώς, οι ροές υπηρεσιών στο WiMAX προσφέρονται από πριν, και ο BS ξεκινά την αρχικοποίηση των ροών υπηρεσιών κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης του SS.

Επιπροσθέτως, ο BS ή ο SS μπορεί να εγκαθιδρύσει ροές υπηρεσιών δυναμικά. Ο SS τυπικά θέτει σε εφαρμογή ροές υπηρεσιών μόνο αν υπάρχει μια σύνδεση που ξεκινά δυναμικά, όπως μια SVC (Switched Virtual Connection) από ένα δίκτυο ATM. Η εγκαθίδρυση των ροών υπηρεσιών πραγματοποιείται μέσω ενός πρωτοκόλλου τριών χειραφιών στο

οποίο η αίτηση για εγκαθίδρυση ροής υπηρεσίας έχει μια απόκριση και η απόκριση μια επιβεβαίωση.

Εκτός από την υποστήριξη δυναμικής εγκαθίδρυσης υπηρεσίας, το WiMAX υποστηρίζει δυναμικές αλλαγές υπηρεσίας στις οποίες οι παράμετροι της ροής υπηρεσίας επαναδιαπραγματεύονται. Αυτές οι αλλαγές στη ροή υπηρεσίας ακολουθούν ένα πρωτόκολλο τριπλών χειραψιών παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για την δυναμική εγκαθίδρυση ροής υπηρεσίας.

4.2 Radio Link Control (RLC)

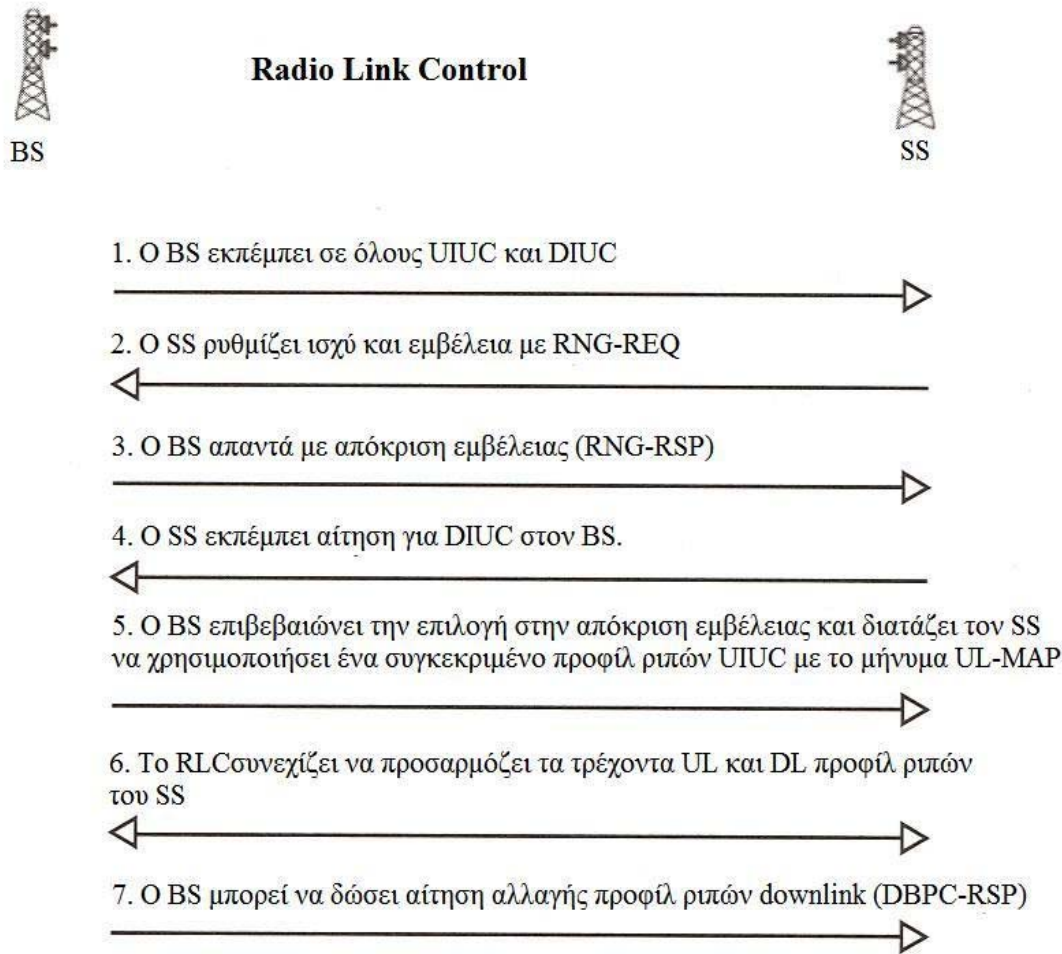
Ο έλεγχος ράδιο-ζεύξης (RLC) εκτελείται ταυτόχρονα στην απόκτηση καναλιού και στη ροή υπηρεσίας για τη διατήρηση μιας σταθερής ζεύξης. Το Φυσικό Στρώμα του WiMAX απαιτεί εξίσου προηγμένα RLC, ειδικότερα την δυνατότητα του PHY μετάβασης από το ένα προφίλ ριπών στο άλλο. Το RLC ελέγχει αυτή τη δυνατότητα καθώς και τις παραδοσιακές του λειτουργίες που δεν είναι άλλες από τον έλεγχο ισχύος και εμβέλειας.

Το RLC ξεκινά με περιοδικές broadcast εκπομπές των προφίλ ριπών που επιλέχθηκαν για την ανοδική ζεύξη και την κατερχόμενη ζεύξη. Τα ειδικά προφίλ ριπών που χρησιμοποιούνται σε ένα κανάλι επιλέγονται βάσει ενός συνόλου παραγόντων, όπως περιοχές βροχής και δυνατότητες εξοπλισμού. Τα προφίλ ριπών για την κατερχόμενη ζεύξη δέχονται μια αναγνωριστική ετικέτα, το DIUC (Downlink Interval Usage Code). Αντίστοιχα της ανοδικής ζεύξης λέγεται UIUC (Uplink Interval Usage Code).

Κατά τη διάρκεια της αρχικής πρόσβασης, ο SS κάνει διαβάθμιση αρχικής ισχύος και εμβέλειας χρησιμοποιώντας μηνύματα RNG-REQ εκπεμπόμενα σε παράθυρα αρχικής συντήρησης. Ρυθμίσεις για την εκπομπή προπορευόμενου χρόνου (time advance) των SS επιστρέφονται στον SS σε μηνύματα RNG-RSP. Για τις τρέχουσες ρυθμίσεις ισχύος και εμβέλειας ο BS μπορεί να εκπέμψει αυτόκλητα μηνύματα RNG-RSP που να διατάζουν τον SS να ρυθμίσει την ισχύ ή το συγχρονισμό του. Αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 13.

Κατά τη διάρκεια του αρχικού ελέγχου εμβέλειας, ο SS επίσης αιτείται να εξυπηρετηθεί στην DL μέσω ενός συγκεκριμένου προφίλ ριπών εκπέμποντας το DIUC που επέλεξε στον BS. Ο SS κάνει την επιλογή του πριν και κατά τη διάρκεια του αρχικού ελέγχου εμβέλειας βάσει των λαμβανόμενων μετρήσεων ποιότητας σήματος DL. Ο BS μπορεί να επιβεβαιώσει ή να αρνηθεί την επιλογή στο RNG-RSP. Παρομοίως, ο BS παρακολουθεί την ποιότητα του σήματος UL που λαμβάνει από τον SS. Ο BS διατάζει τον SS να χρησιμοποιήσει ένα

συγκεκριμένο προφίλ ριπών απλώς περιλαμβάνοντας το κατάλληλο UIUC προφίλ ριπών με τις επιχορηγήσεις των SS στα μηνύματα UL-MAP.



Σχήμα 13: Το **RLC** διασφαλίζει συνεχή σταθερότητα στην σύνδεση **WiMAX**

Μετά τον αρχικό καθορισμό UL και DL προφίλ ριπών μεταξύ του BS και ενός συγκεκριμένου SS, το RLC συνεχίζει να παρακολουθεί και να ελέγχει τα προφίλ ριπών. Σκληρότερες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να αναγκάσουν τον SS να αιτηθεί ένα πιο σθεναρό προφίλ ριπών. Σε διαφορετική περίπτωση, με εξαιρετικές καιρικές συνθήκες ο SS μπορεί να λειτουργεί προσωρινώς με ένα πιο αποδοτικό προφίλ ριπών. Το RLC συνεχίζει να προσαρμόζει τα τρέχοντα UL και DL προφίλ ριπών των SS, προσπαθώντας πάντοτε να επιτύχει μια ισορροπία μεταξύ σθεναρότητας και αποδοτικότητας.

Από τη στιγμή που ο BS ελέγχει και παρακολουθεί απευθείας την ποιότητα του σήματος UL, το πρωτόκολλο για την αλλαγή του UL προφίλ ριπών ενός SS είναι απλό: ο BS ορίζει το UIUC του προφίλ όποτε επιχορηγεί στον SS εύρος ζώνης σε ένα πλαίσιο. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη επιβεβαίωσης, αφού ο SS πάντα θα λαμβάνει και το UIUC και την επιχορήγηση ή

τίποτα από τα δύο. Αυτό αναιρεί την πιθανότητα αποτυχημένου συνδυασμού UL προφίλ ριπών μεταξύ του BS και του SS.

Στην DL, ο SS παρακολουθεί την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος και γνωρίζει πότε να αλλάξει το DL προφίλ ριπών του. Ο BS έχει ακόμα τον απόλυτο έλεγχο αλλαγής. Ο SS έχει δύο διαθέσιμες μεθόδους για να ζητήσει μια αλλαγή στο DL προφίλ ριπών, ανάλογα με το αν ο SS λειτουργεί με GPC (Grant per Connection) ή GPSS (Grant per SS).

Η πρώτη μέθοδος βρίσκει εφαρμογή (βάσει της ικανότητας λήψης αποφάσεων του αλγόριθμου χρονοπρογραμματισμού του BS) μόνο σε GPC σταθμούς συνδρομητών. Σε αυτή την περίπτωση, ο BS μπορεί περιοδικά να εκχωρεί ένα διάστημα συντήρησης σταθμού στον SS. Ο SS μπορεί να χρησιμοποιήσει το μήνυμα RNG-REQ για να ζητήσει μια αλλαγή στο DL προφίλ ριπών. Η προτιμώμενη μέθοδος είναι ο SS να εκπέμψει μια αίτηση αλλαγής DL προφίλ ριπών (DBPC-REQ). Σε αυτή την περίπτωση, που πάντοτε είναι μια επιλογή για GPSS σταθμούς συνδρομητών και μπορεί να είναι επιλογή για GPC σταθμούς συνδρομητών, ο BS αποκρίνεται με ένα μήνυμα DBPC-RSP επαλήθευσης ή άρνησης της αλλαγής.

Επειδή τα μηνύματα μπορεί να χαθούν εξαιτίας αμετάκλητων σφαλμάτων bit, τα πρωτόκολλα αλλαγής του DL προφίλ ριπών ενός SS πρέπει να δομούνται προσεκτικά. Η σειρά ενεργειών για την αλλαγή προφίλ ριπών είναι διαφορετική όταν γίνεται μετάβαση σε ένα περισσότερο σθεναρό προφίλ ριπών από όταν γίνεται σε ένα λιγότερο σθεναρό. Το πρότυπο αξιοποιεί το γεγονός ότι πάντα ένας SS απαιτείται να ακούει σε περισσότερο σθεναρά κομμάτια της DL όπως επίσης και το προφίλ που διαπραγματεύτηκε.

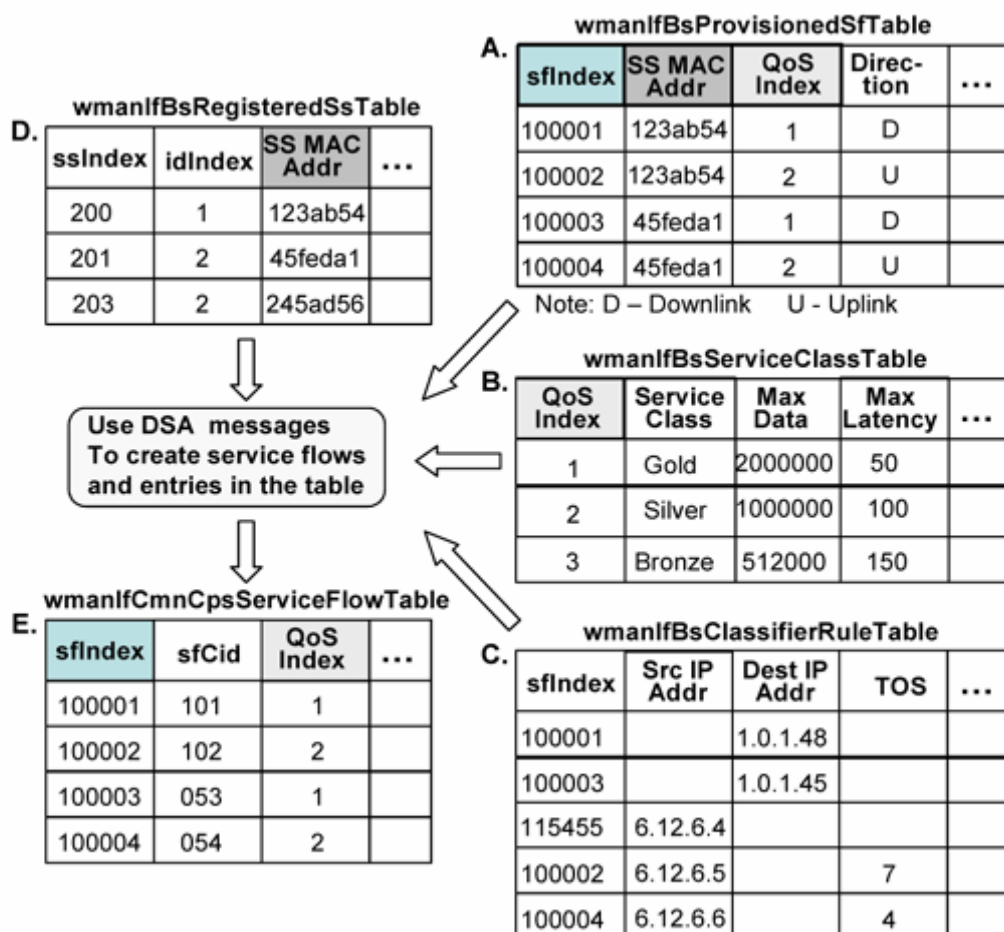
4.3 UL

Κάθε σύνδεση στην ανοδική ζεύξη (UL) αντιστοιχίζεται σε μια υπηρεσία χρονοπρογραμματισμού (scheduling service). Κάθε υπηρεσία χρονοπρογραμματισμού συσχετίζεται με ένα σύνολο επιβαλλόμενων κανόνων στον χρονοπρογραμματιστή BS που είναι υπεύθυνος για την κατανομή της χωρητικότητας UL και το πρωτόκολλο αίτησης-επιχορήγησης μεταξύ του SS και του BS. Οι λεπτομερείς προδιαγραφές των κανόνων και της υπηρεσίας χρονοπρογραμματισμού που χρησιμοποιούνται για μια συγκεκριμένη σύνδεση UL διαπραγματεύονται στο χρόνο αρχικοποίησης της σύνδεσης. Οι υπηρεσίες χρονοπρογραμματισμού στο WiMAX βασίζονται σε αυτές που ορίζονται στο πρότυπο DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification).

4.4 Ροή Υπηρεσίας (Service Flow)

Τα Service Flows είναι κανάλια επικοινωνίας (π.χ. μια ροή πακέτων) που έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά υπηρεσιών συσχετισμένα με τη μεταφορά (ροή) των δεδομένων. Για παράδειγμα, μια ζεύξη επικοινωνίας μπορεί να συσχετίζεται με αρκετές ροές υπηρεσιών, μια ροή υπηρεσίας πραγματικού χρόνου για φωνή, και μια ροή υπηρεσίας besteffort για περιήγηση στο διαδίκτυο.

Η ελαχιστοποίηση των επεμβάσεων από τους πελάτες και κυκλικών δοσοληψιών (truck roll) είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη ενός δικτύου WiMAX. Ο πίνακας παρεχόμενων ροών υπηρεσίας (Provisioned Service Flow Table), ο πίνακας τάξεων υπηρεσιών (Service Class Table), και ο πίνακας ταξινόμησης κανόνων (Classifier Rule Table) είναι ρυθμισμένοι να υποστηρίζουν αυτοεγκατάσταση και αυτόματη ρύθμιση παραμέτρων. Όταν οι πελάτες εγγράφονται συνδρομητές στην υπηρεσία, λένε στον πάροχο υπηρεσιών τις πληροφορίες της ροής υπηρεσίας περιλαμβάνοντας τον αριθμό των UL/DL συνδέσεων με τους ρυθμούς δεδομένων, καθώς και τα είδη των εφαρμογών που προτίθεται να εκτελέσει ο πελάτης (π.χ. διαδίκτυο, φωνή, ή βίντεο). Ο πάροχος υπηρεσιών προδιαθέτει τις υπηρεσίες εισάγοντας τις πληροφορίες ροής υπηρεσίας στη βάση δεδομένων ροής υπηρεσίας. Όταν ο SS εισέρχεται στον BS ολοκληρώνοντας τις διαδικασίες εισαγωγής στο δίκτυο και αυθεντικοποίησης, ο BS μεταφορτώνει τις πληροφορίες ροής υπηρεσίας από την βάση δεδομένων ροής υπηρεσίας. Το σχήμα 14 δίδει ένα παράδειγμα του τρόπου συμπλήρωσης των πληροφοριών ροής υπηρεσίας. Τα σχήματα 14α, 14β, και 14γ δείχνει ότι δύο SS, αναγνωρισμένοι με διεύθυνση MAC 0x123ab54 και 0x45fead1, έχουν προδιατεθεί.



Σχήμα 14: Προδιάθεση ροής υπηρεσίας

Κάθε SS έχει δύο ροές υπηρεσίας, που αναγνωρίζονται από το qosIndex 1 και 2 αντιστοίχως. Το qosIndex δείχνει σε μια εγγραφή QoS στο wmanIfBsServiceClassTable ότι περιέχει τρία επίπεδα QoS: χρυσό (Gold), αργυρό (Silver) και χάλκινο (Bronze). Το sflIndex δείχνει στην εγγραφή στο wmanBsClassifierRuleTable και υποδεικνύει ποιοι κανόνες θα χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση πακέτων στην εν λόγω ροή υπηρεσίας.

Όταν ο SS με διεύθυνση MAC 0x123ab54 καταχωρείται στον BS, ο BS δημιουργεί μια εγγραφή στο wmanIfBaseRegisteredTable. Βάσει της διεύθυνσεως MAC, ο BS θα μπορεί να βρει τις πληροφορίες ροής υπηρεσίας που έχει προδιατεθεί. Ο BS θα χρησιμοποιήσει ένα μήνυμα ενεργοποίησης δυναμικής υπηρεσίας (Dynamic Service Activate) για να δημιουργήσει ροές υπηρεσιών για τα sflIndex 100001 και 100002, με τις προδιατεθειμένες πληροφορίες ροής υπηρεσίας. Αυτό όπως φαίνεται στο σχήμα 14 δημιουργεί δύο εγγραφές στο wmanIfCmnCpsServiceFlowTable. Οι ροές υπηρεσιών θα είναι τότε διαθέσιμες στον πελάτη για αποστολή δεδομένων.

4.5 Συμπέρασμα

Αυτό το κεφάλαιο εξηγεί τα επιτακτικά βήματα για την αρχικοποίηση ροής υπηρεσίας στο WiMAX. Η διαδικασία αρχίζει με έλεγχο εμβέλειας και διαπραγμάτευση μεταξύ του BS και του SS ακολουθώντας η αυθεντικοποίηση και η καταχώρηση. Αυτός ο σχεδιασμός διακρίνεται για τη σθεναρή του φύση. Το RLC του WiMAX τότε εγκαθιδρύει την UL, η οποία δημιουργεί τη ροή υπηρεσίας. Ο κοινός τόπος του WiMAX με το DOCSIS γίνεται προφανής με το στιβαρό σχεδιασμό αυτής της διαδικασίας.

Κεφάλαιο 5

5.1 Ποιότητα Υπηρεσίας στο WiMAX

Έχοντας παρουσιάσει έως τώρα μια αναλυτική περιγραφή της τεχνολογίας του WiMAX, στις ενότητες που ακολουθούν θα γίνει περιγραφή των μηχανισμών ασφάλειας που έχει ενσωματώσει το WiMAX για να αντιμετωπίσει τυπικές απειλές που συναντιούνται σε ασύρματα δίκτυα.

Ίσως η μεγαλύτερη ένσταση στα ασύρματα συστήματα ευρυζωνικής πρόσβασης είναι η ιδέα ότι οποιοδήποτε πρωτόκολλο επικοινωνιών δεδομένων θα μπορούσε να λειτουργήσει σε ασύρματο περιβάλλον. Η δικτύωση είναι αρκετά δύσκολη σε ένα προβλεπόμενο, ελεγχόμενο ενσύρματο περιβάλλον. Ας πάρουμε τα χαμένα πακέτα. Πως μπορεί μια παραλλαγή του IEEE 802 (Ethernet) να λειτουργήσει στον ελεύθερο χώρο; Το QoS αναφέρεται, με δυο λόγια, στη μείωση της καθυστέρησης και της παραμόρφωσης σήματος και στην αποφυγή απώλειας πακέτων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συμβατικές και ειδικές τροποποιήσεις στο WiMAX για τη διασφάλιση βαθμιδωτής απόδοσης φέροντος σε ένα ανόμοιο εχθρικό περιβάλλον.

Σήμερα, τυπικές απαιτήσεις ασφάλειας σε ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν προστασία της ασύρματης σύνδεσης, αμοιβαία αυθεντικοποίηση για πρόσβαση δικτύου, προστασία της ακεραιότητας των μηνυμάτων που στέλνονται. Η ασφάλεια της ασύρματης σύνδεσης έχει υποβληθεί σε πολυάριθμες βελτιώσεις στην περιοχή του WLAN, το οποίο ορίζει συγκεκριμένα προφίλ ασφάλειας όπως το WPA και το WPA2, καθένα από τα οποία επιτυγχάνει ένα σταθερά εγγυημένο επίπεδο ασφάλειας. Η ασφάλεια στο WiMAX είναι διαφορετική από ότι σε σχέση με το WLAN σε ένα αριθμό θεμάτων, αν και συχνά βασίζονται στις ίδιες αρχές.

5.2 Πρωτόκολλα ποιότητας υπηρεσιών

Στις μέρες μας λόγω της ραγδαίας εξάπλωσης του Διαδικτύου όλο και περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν καθημερινά διαδικτυακές υπηρεσίες τόσο στο εργασιακό όσο και στο οικιακό τους περιβάλλον. Η ανάγκη για διαρκή ανάπτυξη καινούριων online εφαρμογών είναι επιτακτική. Ωστόσο, εφαρμογές μεταφοράς ήχου και εικόνας πραγματικού χρόνου (real-time) απαιτούν καλύτερη **ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service, QoS)** σε σχέση με την ποιότητα που μπορεί να προσφέρει σήμερα το Διαδίκτυο. Για να είναι λοιπόν σε θέση ένας

πάροχος υπηρεσιών να προσφέρει υπηρεσίες τις οποίες οι πελάτες του μπορούν να εμπιστευθούν, χρειάζεται ένα δίκτυο με δυνατότητες ποιότητας υπηρεσίας (QoS enabled).

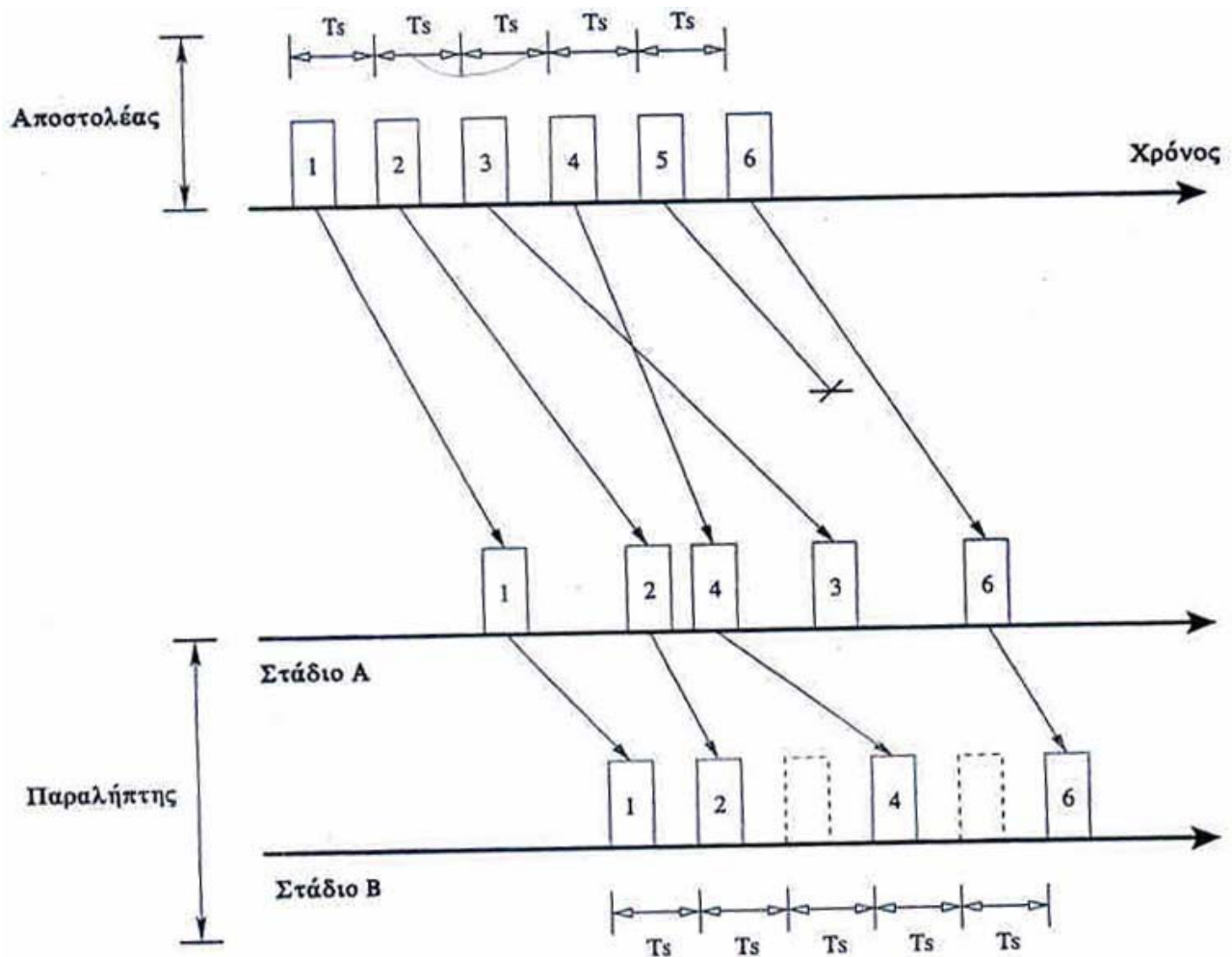
Διαισθητικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο όρος Ποιότητα Υπηρεσίας περιγράφει τη συνολική εμπειρία που αποκομίζει ένας χρήστης ή μια εφαρμογή από το δίκτυο. Πέρα όμως από τη διαισθητική περιγραφή του όρου QoS, η επιστημονική κοινότητα επιδιώκει τον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων που ποσοτικοποιούν την Ποιότητα Υπηρεσίας ως μέγεθος ανεξάρτητο από την υποκειμενική αντίληψη του χρήστη.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα που προσφέρει το δίκτυο στη μεταφορά των εφαρμογών είναι:

- Το εύρος ζώνης (**bandwidth**)
- Η καθυστέρηση (**delay**)
- Η διακύμανση καθυστέρησης (**jitter**)
- Οι απώλειες πακέτων (**loss**)

Οι παραπάνω μετρικές της ποιότητας υπηρεσίας ορίζονται ως εξής:

- **Εύρος ζώνης (Bandwidth):** είναι ο ρυθμός, με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα σε κάποια ζεύξη του δικτύου, συνήθως σε bits/sec. Για τη μεταφορά μιας υπηρεσίας μπορεί να ενδιαφέρουν: η μέγιστη τιμή εύρους ζώνης που μπορεί να διατεθεί από το δίκτυο, η μέση τιμή καθώς και η ελάχιστη.
- **Καθυστέρηση (delay):** Πρόκειται για τον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να φτάσει μέσω του δικτύου από τον αποστολέα στον παραλήπτη του.
- **Η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) :** είναι η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων σε μια συγκεκριμένη ροή.
- **Απώλειες πακέτων (loss):** είναι το ποσοστό απώλειας πακέτων (loss) που σημειώνεται είτε εξαιτίας της υπερχειλίσης των θέσεων μνήμης στις ουρές αναμονής μετάδοσης των δρομολογητών, είτε λόγω αλλοίωσης από θόρυβο των φυσικών μέσων μετάδοσης, είτε από αναδιάταξη (reordering) λόγω μεταφοράς πακέτων της ίδιας ροής μέσω διαφορετικών μονοπατιών.



Σχήμα 15: Καυστέρηση, jitter και απώλεια πακέτων σε μεταγωγή πακέτων

Από τις παραμέτρους κίνησης συχνότερη αναφορά γίνεται στο εύρος ζώνης και την καθυστέρηση.

Προβλέπεται ότι για τις εφαρμογές που θα αναπτυχθούν στο κοντινό μέλλον θα είναι απαραίτητο εύρος ζώνης μερικών megabits ανά δευτερόλεπτο (10Mbps) και καθυστέρηση που θα κυμαίνεται μεταξύ 30 και 500ms. Μερικές εφαρμογές απαιτούν επίσης αυστηρά όρια για τη διακύμανση καθυστέρησης, αλλά τα προβλήματα αυτά συνήθως μπορούν να αντιμετωπιστούν με ενταμιευτές εγκατεστημένους στους παραλήπτες των πακέτων.

Στις μέρες μας, στο Διαδίκτυο, κάθε υποδίκτυο το οποίο ανήκει στη διαδρομή ενός πακέτου IP εκτελεί μια βέλτιστη προσπάθεια να προωθήσει το πακέτο προς τον προορισμό του. Αν σε έναν δρομολογητή η ουρά είναι υπερφορτωμένη, πακέτα απορρίπτονται χωρίς διάκριση μεταξύ χαμηλής και υψηλής προτεραιότητας κίνησης. Η προαναφερόμενη διαδικασία είναι γνωστή ως υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (best effort). Κάθε νέα σύνδεση γίνεται πάντοτε δεκτή και ποτέ ένα δίκτυο βέλτιστης προσπάθειας δεν αρνείται την εξυπηρέτησή της.

Με αυτόν τον τρόπο επιβαρύνεται η επίδοση των ήδη εγκατεστημένων συνδέσεων, δίνοντας την εντύπωση στο χρήστη ότι ένα δίκτυο βέλτιστης προσπάθειας δεν είναι ποτέ πλήρως κατειλημμένο, αντίθετα με αυτό που συμβαίνει στα συνήθη κυκλώματα μεταγωγής.

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται διάφοροι τύποι εφαρμογών καθώς και οι απαιτήσεις τους από το δίκτυο προκειμένου να επιτευχθεί συγκεκριμένο επιπέδο ποιότητας υπηρεσίας.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ		
		Μέση Καθυστέρηση	Διακύμανση Καθυστέρησης	Ποσοστό Απώλειας
Αλληλεπίδρασης	VoIP, video conferencing, interactive gaming	*****	*****	***
Απόκρισης	web browsing, server access, ecommerce	***	***	*****
Συνεχούς Ροής	VoD, internet radio, news broadcast, teletraining	***	***	***
Παρασκηνίου	e-mail, μεταφορά αρχείων	*	*	*****
Ελέγχου Δικτύου	συναγερμοί παρακολούθησης, δρομολόγηση,	*****	*	*****

Πίνακας 3: Κατηγορίες εφαρμογών και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας

Εύκολα γίνεται αντιληπτό, ότι για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας, το δίκτυο οφείλει να προσφέρει διαφορετικούς πόρους στις διάφορες εφαρμογές, διαφοροποιώντας έτσι τη μεταχείρισή τους.

Ως βάση για την προοπτική παροχής διαφορετικής ποιότητας υπηρεσίας σε διαφορετικού τύπου εφαρμογές προέκυψαν από την εμπειρία οι ακόλουθες 4 αρχές:

Αρχή 1: Η κατηγοριοποίηση των πακέτων (μέσω συγκεκριμένης σήμανσής τους) δίνει τη δυνατότητα σε ένα δρομολογητή να ξεχωρίζει τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας.

Αρχή 2: Είναι επιθυμητό να παρέχεται ένας βαθμός απομόνωσης μεταξύ διαφορετικών μορφών κυκλοφορίας, έτσι ώστε η κυκλοφορία μιας εφαρμογής να μην επηρεάζεται αρνητικά από την κυκλοφορία οποιασδήποτε άλλης προβληματικά συμπεριφερόμενης εφαρμογής.

Αρχή 3: Επιπρόσθετα με την απομόνωση της κυκλοφορίας των διαφόρων εφαρμογών, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά οι διαθέσιμοι πόροι (π.χ. εύρος ζώνης της σύνδεσης και οι ενταμιευτές).

Αρχή 4: Απαιτείται μια διαδικασία αποδοχής κλήσεων, βάσει της οποίας οι εφαρμογές θα δηλώνουν τις ανάγκες τους σε ποιότητα υπηρεσίας και είτε θα γίνονται δεκτές στο δίκτυο (με το ζητούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας), είτε θα μπλοκάρονται (εάν το δίκτυο δε μπορεί να παρέχει το ζητούμενο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας).

Οι παραπάνω αρχές μπορούν να υλοποιηθούν μέσω διαφόρων μηχανισμών. Γενικά, υπάρχουν δύο ευρείες προσεγγίσεις τις οποίες μπορεί να ακολουθήσει κανείς. Οι **Μηχανισμοί Αστυνόμευσης (policing)** και οι **Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού (scheduling)**.

1. Μηχανισμοί Αστυνόμευσης (policing)

Η πρώτη προσέγγιση βασίζεται στο σκεπτικό της “αστυνόμευσης” της κυκλοφορίας. Εάν η κυκλοφορία μιας εφαρμογής πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένα κριτήρια (π.χ. η ταχύτητα μετάδοσης πακέτων να μην υπερβαίνει ένα μέγιστο όριο), μπορεί να υλοποιηθεί ένας μηχανισμός αστυνόμευσης ο οποίος θα διασφαλίζει ότι τα κριτήρια αυτά τηρούνται πραγματικά. Εάν η ελεγχόμενη εφαρμογή αρχίσει να συμπεριφέρεται προβληματικά, ο μηχανισμός αστυνόμευσης θα αναλαμβάνει κάποια ενέργεια (π.χ. απόρριψη ή καθυστέρηση των πακέτων που παραβιάζουν τα κριτήρια), έτσι ώστε να διασφαλίζει ότι η κυκλοφορία που εισέρχεται στο δίκτυο συμμορφώνεται με τα κριτήρια.

Πιο αναλυτικά, μπορούμε να ορίσουμε τρία σημαντικά κριτήρια αστυνόμευσης (ρύθμιση της ταχύτητας με την οποία μπορεί να στέλνει πακέτα στο δίκτυο μια εφαρμογή). Κάθε κριτήριο διαφέρει από τα άλλα ανάλογα με τη χρονική κλίμακα στην οποία γίνεται η αστυνόμευση. Τα κριτήρια είναι: της μέσης ταχύτητας, της μέγιστης ταχύτητας και του μεγέθους ακολουθίας πακέτων. Για το χαρακτηρισμό των ορίων αστυνόμευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναλογία ο μηχανισμός του “τρύπιου δοχείου” (leaky bucket).

Τόσο ο μηχανισμός κατηγοριοποίησης και σήμανσης των πακέτων όσο και ο μηχανισμός αστυνόμευσης είναι τοποθετημένοι στην ίδια θέση, στα “όρια” του δικτύου, είτε στο τελικό σύστημα είτε σε έναν περιμετρικό δρομολογητή. Πρόκειται για μηχανισμό διαχείρισης καταχωρητή (buffer management).

2. Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού (scheduling)

Μια εναλλακτική προσέγγιση η οποία μπορεί να παρέχει επαρκή απομόνωση μεταξύ διαφορετικών μορφών κυκλοφορίας είναι ο μηχανισμός **χρονοπρογραμματισμού πακέτων** σε επίπεδο σύνδεσης, ο οποίος δεσμεύει ρητά ένα σταθερό ποσό από το εύρος ζώνης της σύνδεσης για την κυκλοφορία κάθε εφαρμογής.

Σε ένα δίκτυο τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας «πολυπλέκονται» (multi-plexed) και αναμένουν στην ουρά για μετάδοση, στους ενταμιευτές εξόδου μιας σύνδεσης. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται πακέτα από την ουρά αναμονής για μετάδοση μέσω της σύνδεσης αναφέρεται ως **μέθοδος χρονοπρογραμματισμού της σύνδεσης (scheduling)**. Η μέθοδος χρονοπρογραμματισμού παίζει σημαντικό ρόλο στις καθυστερήσεις που υφίστανται τα πακέτα και συνεπώς στην παροχή υπηρεσιών εγγυημένης ποιότητας.

Για παράδειγμα πακέτα που ανήκουν σε μια εφαρμογή VoIP με ευαισθησία στην καθυστέρηση θα πρέπει να μεταδίδονται με προτεραιότητα έναντι των πακέτων μιας εφαρμογής e-mail. Για να επιτευχθεί παρόμοια διαφοροποίηση στη συμπεριφορά ενός μηχανισμού χρονοπρογραμματισμού χρησιμοποιούνται περισσότεροι του ενός καταχωρητές, ο καθένας από τους οποίους λαμβάνει διαφορετική μεταχείριση από τη διαδικασία επιλογής του επόμενου πακέτου προς μετάδοση. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι οι:

- απόλυτης προτεραιότητας (strict Priority Queuing, PQ)
- δίκαιος με βάρη (Weighted Fair Queuing, WFQ)
- κυκλικής σειράς με βάρη (Weighted Round Robin, WRR)
- WRR με έλλειμμα (Deficit Weighted Round Robin)
- υβριδικό όπως ο βασιζόμενος σε κλάσεις (Class Based Queuing, CBQ) κ.ά.

Με κάθε τέτοιο μηχανισμό σε κάθε διαφορετικό καταχωρητή αποδίδεται τελικά ένα μέρος του εύρους ζώνης του φυσικού μέσου μετάδοσης. Δεδομένων των ρυθμίσεων του κάθε μηχανισμού, το μερίδιο αυτό εξαρτάται από το φόρτο των καταχωρητών. Έτσι, οι μηχανισμοί διακρίνονται περαιτέρω σε :

- σταθερού έργου (work-conserving)
- μη σταθερού έργου (not work-conserving)

Στους μηχανισμούς σταθερού έργου (work-conserving) το μέγεθος του εύρους ζώνης που παραχωρείται σε κάθε καταχωρητή είναι σταθερό ανεξάρτητα με το αν ο συνολικός φόρτος είναι χαμηλός και αφήνει μέρος του εύρους ζώνης αναξιοποίητο. Αντίθετα, στους μηχανισμούς μη σταθερού έργου (not work-conserving) όταν υπάρχει επιπλέον εύρος ζώνης αυτό μοιράζεται μεταξύ των καταχωρητών που έχουν πακέτα προς μετάδοση αυξάνοντας έτσι το μερίδιο που τους αντιστοιχεί.

Ένας χρήστης δικτύου το οποίο υποστηρίζει ποιότητα υπηρεσίας, αντιλαμβάνεται ένα μοντέλο υπηρεσίας παρόμοιο με αυτό ενός τηλεφωνικού δικτύου, σε αντίθεση με αυτό που ισχύει στο κλασικό Διαδίκτυο. Έτσι, σε πρώτη φάση λαμβάνει χώρα μια διαδικασία παρόμοια με αυτή της εγκατάστασης κλήσης, όπου ο χρήστης προσπαθεί να αρχικοποιήσει μια σύνδεση και να δεσμεύσει τους απαραίτητους πόρους. Υποθέτοντας ότι η κλήση έχει γίνει δεκτή, ο χρήστης έχει στη διάθεσή του έναν καθαρό τηλεπικοινωνιακό δίαυλο. Στην αντίθετη περίπτωση, ο χρήστης λαμβάνει ένα σήμα κατειλημμένου, που τον ειδοποιεί ότι η αίτησή του για σύνδεση με τη συγκεκριμένη ποιότητα δεν έγινε δεκτή.

5.3 IntServ

5.3.1 Εισαγωγή

Η ποιότητα υπηρεσιών (QoS), όπως την ορίσαμε νωρίτερα, απαιτεί προφανώς ένα διαχωρισμό μεταξύ υπηρεσιών, ώστε κάθε μία να υπόκειται σε διαφορετική μεταχείριση. Έτσι, ο οργανισμός **Internet Engineering Task Force (IETF)** όρισε δύο αρχιτεκτονικές ποιότητας υπηρεσίας: την **Αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών** (Integrated Services Architecture – **IntServ**), η οποία ακολουθήθηκε αρχικά και το **μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών** (Differentiated Services Framework – **DiffServ**) που υιοθετήθηκε αργότερα. Η κάθε μία έχει το ρόλο της και ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει και τις δύο, προσφέροντας τα συμπληρωματικά πλεονεκτήματά τους, θα αποτελούσε μια πολύ καλή λύση για την επίτευξη ποιότητας υπηρεσίας.

Η ομάδα εργασίας Ενοποιημένων Υπηρεσιών (Integrated Services, IntServ) ιδρύθηκε με σκοπό την επαύξηση της βασικής αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου σε μια νέα IntServ αρχιτεκτονική όπως αρχικά προτάθηκε στο RFC1633, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η εξυπηρέτηση εφαρμογών πραγματικού χρόνου με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας πέραν της best-effort.

Ως αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας δημιουργήθηκε ένα μοντέλο υπηρεσιών που περιγράφει τις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από τη νέα αρχιτεκτονική και αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση όλων των τύπων εφαρμογών, προδιαγράφηκαν οι επιπρόσθετοι μηχανισμοί Ελέγχου Κίνησης (Traffic Control, TC) στους δρομολογητές του δικτύου που είναι απαραίτητοι για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής καθώς και τα σχετικά interfaces με τους υπάρχοντες μηχανισμούς. Ακόμα, αναπτύχθηκε το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων (Resource Reservation Protocol, RSVP), το οποίο επιτρέπει στις εφαρμογές να επιλέγουν το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας για την κίνηση που δημιουργούν και πρόκειται να

εξυπηρετηθεί από το δίκτυο. Για τον λεπτομερή σχεδιασμό του πρωτοκόλλου RSVP ιδρύθηκε η RSVP ομάδα εργασίας.

Σύμφωνα με το IntServ μοντέλο υπηρεσιών οι εφαρμογές κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time).
- στις εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου ή ελαστικές (nonrealtime / elastic).

Στις real-time εφαρμογές ταυτόχρονα με τη λήψη των πακέτων στον προορισμό πραγματοποιείται ασύγχρονα και ανεξάρτητα η επεξεργασία τους για τη σύνθεση του δειγματοληπτημένου σήματος. Τα πακέτα που φτάνουν με καθυστέρηση για την ανασύνθεση του σήματος δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οπότε θεωρούνται άκυρα και απορρίπτονται. Αντίθετα, στις non-real-time εφαρμογές η επεξεργασία των πακέτων είναι σύγχρονη με τη λήψη τους, μπλοκάρει μέχρι την άφιξη του επόμενου στη σειρά πακέτου η οποία εξασφαλίζεται μέσω μηχανισμών ανίχνευσης λάθους (error detection) και επαναμεταδόσεων από την πηγή.

Οι real-time εφαρμογές διακρίνονται περαιτέρω σε δύο υποκατηγορίες :

- στις ανεκτικές (tolerant).
- στις μη ανεκτικές (intolerant) real-time εφαρμογές.

Tolerant εφαρμογές χαρακτηρίζονται εκείνες οι real-time εφαρμογές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αφομοιώσουν διακυμάνσεις σε delay και jitter και να λειτουργήσουν ικανοποιητικά σε αντίθεση με τις intolerant εφαρμογές των οποίων η ποιότητα μειώνεται σε παρόμοιες συνθήκες.

Η αρχιτεκτονική IntServ βασίζεται στην προσέγγιση ανά ροή και τη δυναμική δέσμευση πόρων. Μέσω της αρχιτεκτονικής IntServ παρέχεται εξατομικευμένη εγγυήση ποιότητας υπηρεσίας σε μεμονωμένες συνόδους εφαρμογών. Η λογική πίσω από την IntServ αρχιτεκτονική είναι ότι σε κάθε ροή (flow) δίνονται απόλυτες εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας για την πιθανότητα απωλειών καθώς και για την καθυστέρηση, εφόσον η κίνηση για κάθε ροή υπακούει σε προκαθορισμένες παραμέτρους. Μία ροή καθορίζεται (στο IPv4) από τις IP διευθύνσεις πηγής και προορισμού, αριθμούς sockets και πρωτόκολλο μεταφοράς. Στο IPv6 υπάρχει ειδικό πεδίο γι' αυτό το σκοπό. Οι ροές αναφέρονται σε μία κατεύθυνση μόνο (σε αντίθεση με μια TCP σύνδεση, που είναι διπλής κατεύθυνσης). Κάθε ροή λοιπόν μπορεί να συσχετιστεί με μια τιμή ToS (Type Of Service), η οποία αναφέρεται στην ποιότητα υπηρεσίας που απαιτεί. Το πεδίο ToS βρίσκεται στην κεφαλίδα ενός πακέτου του IPv4.

Πιο συγκεκριμένα, προτού κάποια εφαρμογή αρχίσει να στέλνει δεδομένα, στέλνει μία αίτηση στο δίκτυο αναφέροντας το προφίλ της κίνησής της, καθώς και τις απαιτήσεις που έχει σε χωρητικότητα και καθυστέρηση. Αν το δίκτυο αποφασίσει ότι διαθέτει τους απαραίτητους

πόρους για την εξυπηρέτηση της εφαρμογής, απαντά ότι αποδέχεται την αίτηση, οπότε και η εφαρμογή μπορεί να αρχίσει να στέλνει δεδομένα.

Τα δύο βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής των Ενοποιημένων Υπηρεσιών είναι:

- Δέσμευση πόρων: Ένας δρομολογητής απαιτείται να ξέρει το ποσοστό των πόρων του (ενταμιευτές, εύρος ζώνης) που είναι ήδη εγκατεστημένοι από τις ήδη εγκατεστημένες ροές.
- Εγκατάσταση κλήσης: Μια ροή με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας θα πρέπει πρώτα να δεσμεύσει επαρκείς πόρους σε κάθε δρομολογητή στο μονοπάτι από την πηγή στον προορισμό για να διασφαλίσει από άκρη σε άκρη ποιότητα υπηρεσίας. Η διαδικασία εγκατάστασης κλήσης (γνωστή και ως αποδοχή κλήσης) απαιτεί τη συμμετοχή κάθε δρομολογητή που βρίσκεται στο μονοπάτι. Κάθε δρομολογητής θα πρέπει να ορίσει τους πόρους που απαιτούνται τοπικά από τη συγκεκριμένη ροή, το ποσοστό των πόρων που είναι δεσμευμένοι από τις υπάρχουσες ροές και εάν έχει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει την ανά κόμβο ποιότητα υπηρεσίας της συγκεκριμένης ροής σε αυτόν τον δρομολογητή, χωρίς να αθετήσει τις τοπικές εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας στις ήδη εγκατεστημένες ροές.

Η διαδικασία προετοιμασίας για αποδοχή κλήσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Χαρακτηρισμός της κυκλοφορίας και προσδιορισμός της επιθυμητής ποιότητας υπηρεσίας.

Για να μπορεί ένας δρομολογητής να εξακριβώσει εάν οι πόροι του είναι επαρκείς για να καλύψουν τις απαιτήσεις QoS μιας συνόδου ή όχι, η σύνοδος αυτή πρέπει πρώτα να δηλώσει τις απαιτήσεις της σε ποιότητα υπηρεσίας, καθώς και να χαρακτηρίσει την κυκλοφορία που πρόκειται να στείλει στο δίκτυο και για την οποία απαιτεί εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας. Στην αρχιτεκτονική IntServ, το Rspec (όπου το R προέρχεται από το Reservation, κράτηση) ορίζει το συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που ζητείται από μία σύνδεση. Το Tspec (όπου το T προέρχεται από το Traffic, κυκλοφορία) χαρακτηρίζει την κυκλοφορία που πρόκειται να στέλνει ο αποστολέας στο δίκτυο ή να λαμβάνει ο παραλήπτης από το δίκτυο. Η συγκεκριμένη μορφή των Rspec και Tspec ποικίλλει ανάλογα με τη ζητούμενη υπηρεσία. Τα Tspec και Rspec ορίζονται μερικώς στα έγγραφα RFC 2210 και RFC 2215.

2. Σηματοδοσία για την αποδοχή κλήσης.

Τα Tspec και Rspec μιας συνόδου πρέπει να μεταφέρονται στους δρομολογητές στους οποίους θα δεσμευτούν πόροι για τη σύνοδο. Στο Διαδίκτυο, το πρωτόκολλο RSVP, είναι επί του παρόντος το προτιμώμενο πρωτόκολλο σηματοδοσίας. Το έγγραφο RFC 2210 περιγράφει τη χρήση του πρωτοκόλλου δέσμευσης πόρων RSVP στην αρχιτεκτονική IntServ.

3. Αποδοχή κλήσης ανά στοιχείο.

Αφού ένας δρομολογητής λάβει τα Tspec και Rspec για μία σύνοδο, η οποία ζητά εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας, μπορεί να εξακριβώσει εάν μπορεί να κάνει αποδεκτή τη

κλήση ή όχι. Αυτή η απόφαση αποδοχής ή όχι της κλήσης θα εξαρτάται από τον χαρακτηρισμό της κυκλοφορίας, την υπηρεσία και τη διαθεσιμότητα πόρων από τις ήδη εγκατεστημένες συνόδους.

Στο IntServ μοντέλο η δέσμευση των πόρων μπορεί να γίνει με ένα πρωτόκολλο ειδικά σχεδιασμένο γι' αυτό το σκοπό, όπως το RSVP (**R**esource **R**e**S**er**V**ation **P**rotocol). Η χρήση του RSVP παρέχει τρεις διαφορετικούς τύπους υπηρεσίας για την εξυπηρέτηση των πιο πάνω κατηγοριών εφαρμογών και είναι οι εξής :

- 1) την υπηρεσία Εγγυημένης Ποιότητας (Guaranteed QoS service) για intolerant real-time εφαρμογές.
- 2) την υπηρεσία Ελεγχόμενου Φορτίου (Controlled Load service) για tolerant real-time εφαρμογές.
- 3) και την υπηρεσία Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort service) για elastic εφαρμογές.

5.3.2 Υπηρεσία εγγυημένης ποιότητας

Η προδιαγραφή για εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας, η οποία ορίζεται στο έγγραφο RFC 2212 παρέχει ακράδαντα (μαθηματικώς αποδεικτέα) όρια για τις καθυστερήσεις που θα αντιμετωπίσει ένα πακέτο στην ουρά ενός δρομολογητή. Παράλληλα τα πακέτα της ροής που ανήκουν σε αυτή την κλάση δεν απορρίπτονται λόγω υπερχείλισης των ενταμιευτών στους δρομολογητές του δικτύου και παρέχεται εγγυημένο εύρος ζώνης. Τα παραπάνω βέβαια ισχύουν εφόσον η πηγή της συγκεκριμένης ροής στέλνει πακέτα στο δίκτυο σύμφωνα με τις παραμέτρους κίνησης που έχουν προσυμφωνηθεί με το δίκτυο.

Η διαδικασία ενεργοποίησης της υπηρεσίας ξεκινά από τον αποστολέα (sender) ο οποίος καθορίζει τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα χρησιμοποιήσει την υπηρεσία και στη συνέχεια ο παραλήπτης (receiver) καθορίζει το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας. Όσο ο αποστολέας στέλνει στο δίκτυο κίνηση που υπακούει στα δοθέντα χαρακτηριστικά, τα πακέτα φτάνουν στον παραλήπτη χωρίς απώλειες εξαιτίας πιθανής συμφόρησης και με καθυστέρηση μικρότερη ή το πολύ ίση με το δοθέν άνω όριο καθυστέρησης. Για να είναι δυνατή η πραγματοποίηση της υπηρεσίας Guaranteed QoS, κάθε κόμβος του από άκρο σε άκρο μονοπατιού θα πρέπει να υλοποιεί τους απαραίτητους μηχανισμούς που την υποστηρίζουν. Σημειώνεται πως εγγυήσεις παρέχονται για την μέγιστη καθυστέρηση και όχι για την ελάχιστη ή κατά μέσο όρο καθυστέρηση, αλλά και κατά κανένα τρόπο για τη διακύμανση της καθυστέρησης (jitter).

Προορίζεται για υπηρεσίες πολυμέσων με αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά το χρόνο παράδοσης των ψηφιακών δεδομένων όπως είναι οι εφαρμογές μεταφοράς ήχου και

εικόνας, όπου το μέγεθος των ενταμιευτών στους αποκωδικοποιητές είναι μικρό και σταθερό με αποτέλεσμα κάθε καθυστερημένο πακέτο να απορρίπτεται.

5.3.3 Υπηρεσία ελεγχόμενου φόρτου

Μία σύνοδος η οποία λαμβάνει υπηρεσία ελεγχόμενου φορτίου θα λάβει “ποιότητα υπηρεσίας η οποία προσεγγίζει το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που θα λάμβανε η ίδια κυκλοφορία από ένα στοιχείο του δικτύου το οποίο δεν αντιμετωπίζει φόρτο” (RFC 2211). Προσεγγίζει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η υπηρεσία best-effort σε ελαφρώς φορτωμένα δίκτυα, ανεξάρτητα με τον πραγματικό φόρτο του δικτύου την κάθε στιγμή. Στην πραγματικότητα, το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι ιδιαίτερα χαμηλό και η καθυστέρηση εξαιτίας του χρόνου αναμονής στις ουρές μετάδοσης των κόμβων του δικτύου πολύ μικρή. Η υλοποίηση αυτής της υπηρεσίας προϋποθέτει, όπως και για την Guaranteed QoS υπηρεσία, η εφαρμογή του χρήστη να τροφοδοτήσει το δίκτυο με τα στοιχεία της κίνησης που πρόκειται να παράγει, σε αυτή την περίπτωση μια εκτίμηση των χαρακτηριστικών της κίνησης. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος στο μονοπάτι μεταφοράς της συγκεκριμένης υπηρεσίας χρησιμοποιεί αυτή την εκτίμηση για να υπολογίσει αν οι διαθέσιμοι πόροι είναι αρκετοί για την εξυπηρέτησή της, χωρίς όμως να κάνει χρήση αυστηρών μαθηματικών μοντέλων και των παραμέτρων που αφορούν την καθυστέρηση και την απώλεια. Κατ’ αυτό τον τρόπο είναι πιθανό, διακυμάνσεις στον ρυθμό της κίνησης που τελικά παράγεται από τις πηγές να οδηγήσει σε περιστασιακή συμφόρηση με αποτέλεσμα καθυστερήσεις ή/και απώλειες πακέτων, οι οποίες όμως, καθώς δεν είναι ιδιαίτερα έντονες, δεν επηρεάζουν την ποιότητα των tolerant εφαρμογών που εξυπηρετούν.

Η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων, οι οποίες μπορούν να ανεχθούν μικρές απώλειες πακέτων και μικρές καθυστερήσεις, αρκεί αυτό να γίνεται μέσα σε ένα λογικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, η υπηρεσία Video on Demand θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τη συγκεκριμένη κλάση, αρκεί το τερματικό του δέκτη να είχε το κατάλληλο μέγεθος ενταμιευτή, ώστε να μπορεί να κρατήσει ψηφιακά δεδομένα, το χρονικό μήκος των οποίων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να εισάγει το δίκτυο. Μια τέτοιου είδους υπηρεσία πολυμέσων πραγματικού χρόνου ονομάζεται προσαρμοσμένη υπηρεσία πραγματικού χρόνου (adaptive real-time application). Αντίθετα για την υπηρεσία μετάδοσης φωνής μεταξύ δύο συνομιλητών, όπου η μέγιστη καθυστέρηση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 125 ms, η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι ακατάλληλη.

5.3.4 Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)

Η υπηρεσία Best Effort είναι παρόμοια με τη γνωστή υπηρεσία που παρέχεται από τη βασική αρχιτεκτονική του Διαδικτύου κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες φόρτου, που ποικίλουν από ελαφρώς φορτωμένα δίκτυα έως και υπερφορτωμένα δίκτυα. Εξάλλου η υπηρεσία αυτή είναι και η υπηρεσία που παρέχεται στις εφαρμογές που δεν υλοποιούν την αρχιτεκτονική IntServ.

5.3.5 Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – RSVP

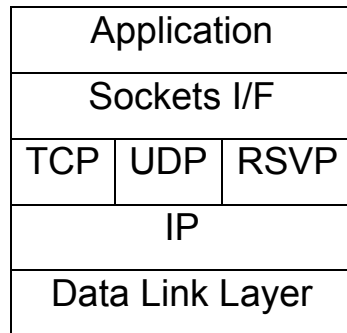
Το μοντέλο Ενοποιημένων Υπηρεσιών του Διαδικτύου διαχωρίζει το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για μεταφορά αιτήσεων δέσμευσης πόρων δικτύου από το μηχανισμό ελέγχου και περιγραφή της κίνησης του χρήστη (QoS control). Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται κυρίως το πρωτόκολλο μεταφοράς αιτήσεων δέσμευσης πόρων δικτύου.

Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – Resource Reservation Protocol, RSVP (RFC 2205, Zhang 1993) διαφέρει σε αρκετά σημεία από άλλα πρωτόκολλα σηματοδότησης που έχουν αναπτυχθεί για δίκτυα μεταγωγής πακέτου.

Χαρακτηριστικότερη διαφορά είναι η υποστήριξη πολλαπλών ετερογενών δεσμεύσεων μέσα σε μια σύνοδο. Αυτό σημαίνει ότι διαφορετικοί δέκτες της ίδιας συνόδου μπορούν να ζητήσουν διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται είτε διότι δεν έχουν όλοι οι δέκτες την ίδια δικτυακή υποδομή (πχ. ένας δέκτης μπορεί να λαμβάνει μέρος σε μια υπηρεσία τηλεδιάσκεψης μέσω ενός απλού modem στα 56 kbps ενώ ένας άλλος να είναι συνδεδεμένος σε ένα LAN των 10Mbps), είτε λόγω διαφοροποίησης του κόστους βάσει της ποιότητας υπηρεσίας. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RSVP, είναι η υποστήριξη δυναμικής μεταβολής της ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής πακέτων. Ανά πάσα στιγμή ο κάθε δέκτης μπορεί να μεταβάλει τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνει πρώτα προσωρινή κατάργησή της και εκ νέου εγκατάστασή της.

Ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό που συναντάμε στο RSVP είναι ότι η δέσμευση των πόρων του δικτύου γίνεται από τον δέκτη της πληροφορίας και όχι από τον πομπό. Αυτό είναι απαραίτητο για την υποστήριξη ετερογενών δεσμεύσεων μέσα στην ίδια σύνοδο. Μάλιστα, ο δέκτης της πληροφορίας μπορεί να ζητήσει από το δίκτυο να δεσμευτούν λιγότεροι πόροι από ότι ορίζεται στο προφίλ κίνησης του πομπού. Ακόμη, το γεγονός ότι η δέσμευση πόρων γίνεται από το δέκτη της πληροφορίας διευκολύνει την ύπαρξη συνόδων με πολύ μεγάλο αριθμό μελών.

Το πρωτόκολλο RSVP τοποθετείται ακριβώς πάνω από το πρωτόκολλο IP στη στοίβα πρωτοκόλλων TCP/IP καταλαμβάνοντας τη θέση πρωτοκόλλου μεταφοράς. Ωστόσο, το RSVP παρέχει υπηρεσίες επιπέδου συνόδου εφόσον δε μεταφέρει δεδομένα εφαρμογής.



Σχήμα16: Στοίβα πρωτοκόλλων τερματικού Διαδικτύου

Το RSVP είναι απλά ένα μονόδρομο (simplex) πρωτόκολλο σηματοδοσίας (signalling) που μεταφέρει αιτήσεις δέσμευσης πόρων για ροές μίας κατεύθυνσης και επιστρέφει μια ένδειξη για την επιτυχή ή αποτυχημένη περάτωση της διαδικασίας στην πλευρά που πραγματοποιεί την αίτηση. Δεν είναι το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης αλλά χρησιμοποιεί τους πίνακες δρομολόγησης όπως έχουν διαμορφωθεί από άλλους μηχανισμούς.

Η δέσμευση πόρων σε ένα κόμβο για κάθε ροή κίνησης που τον διατρέχει συνεπάγεται την αποθήκευση και διαχείριση πληροφορίας κατάστασης της ροής στον κόμβο, χαρακτηριστικό που αποτελεί θεμελιώδη και ουσιαστική αλλαγή στη βασική αρχιτεκτονική του Διαδικτύου. Είναι σημαντικό ακόμα να αναφέρουμε πως το RSVP είναι πρωτόκολλο χαλαρής κατάστασης (soft-state), που σημαίνει πως, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, αυτή η πληροφορία κατάστασης πρέπει να ανανεώνεται με την αποστολή και λήψη νέων μηνυμάτων για να συνεχίζει να θεωρείται έγκυρη.

Η διαδικασία δέσμευσης πόρων με το πρωτόκολλο RSVP πραγματοποιείται σε δύο φάσεις, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί.

Αρχικά, PATH μηνύματα στέλνονται από τον αποστολέα (αιτούσα πλευρά) προς τον προορισμό. Αυτά τα μηνύματα περιλαμβάνουν πληροφορία που αφορά τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα παράγει ο αποστολέας και τη διεύθυνση IP του προηγούμενου στη σειρά κόμβου ώστε να είναι δυνατή η αντίστροφη δρομολόγηση της απόκρισης από τον παραλήπτη προς τον αποστολέα χρησιμοποιώντας το ίδιο μονοπάτι (reverse path forwarding). Σε αυτή τη φάση, σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο αποθηκεύεται η κατάσταση

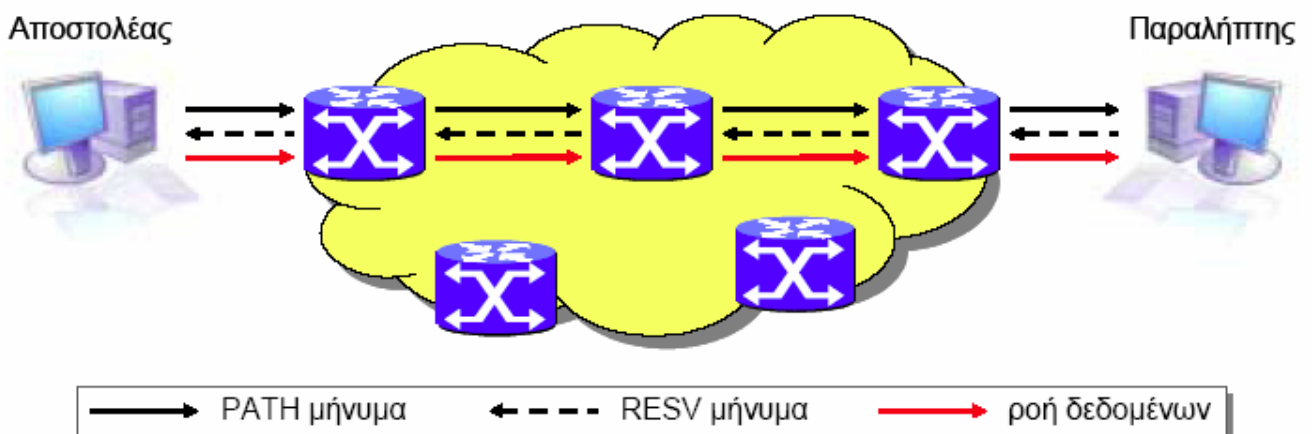
μονοπατιού (path state) για τη συγκεκριμένη ροή με βάση τα PATH μηνύματα αλλά δεν γίνεται καμία απόπειρα δέσμευσης πόρων.

Αφού ολοκληρωθεί αυτή η φάση, ο παραλήπτης αποκρίνεται με RESV μηνύματα προς τον αποστολέα τα οποία περιλαμβάνουν πληροφορία σχετικά με τις απαιτήσεις σε ποιότητα υπηρεσίας και ακολουθούν το αντίστροφο μονοπάτι όπως το path state υποδεικνύει σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο. Σε αυτή τη φάση με βάση τα RESV μηνύματα σε κάθε κόμβο επιχειρείται δέσμευση πόρων και αντίστοιχα αποθηκεύεται η κατάσταση δέσμευσης (reservation state) για τη συγκεκριμένη ροή. Στον επόμενο κόμβο προς τον αποστολέα προωθείται το μήνυμα RESV αν επιτύχει η δέσμευση πόρων ή ένα μήνυμα λάθους σε αντίθετη περίπτωση.

Με την επιτυχή περάτωση της διαδικασίας ο αποστολέας ξεκινά την μετάδοση πακέτων που συνιστούν τη ροή δεδομένων που εξυπηρετείται από τους δεσμευμένους πλέον από άκρο σε άκρο πόρους του δικτύου.

Το γεγονός πως το πρωτόκολλο RSVP προσανατολίζεται στον παραλήπτη (receiver-oriented) παρέχει πολλά πλεονεκτήματα σε ένα περιβάλλον εφαρμογών πολλαπλής αποστολής (multicast), π.χ. κάθε φύλλο του δένδρου πολλαπλής αποστολής απαιτεί να έχει το δικό του επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας και οι αντίστοιχες δεσμεύσεις πόρων στους ενδιάμεσους κόμβους είναι δυνατό να συγχωνεύονται.

Το πρωτόκολλο RSVP έχει σχεδιαστεί ανεξάρτητα από τις προδιαγραφές των υπηρεσιών του μοντέλου IntServ.



Σχήμα17: Ενεργοποίηση υπηρεσίας με RSVP

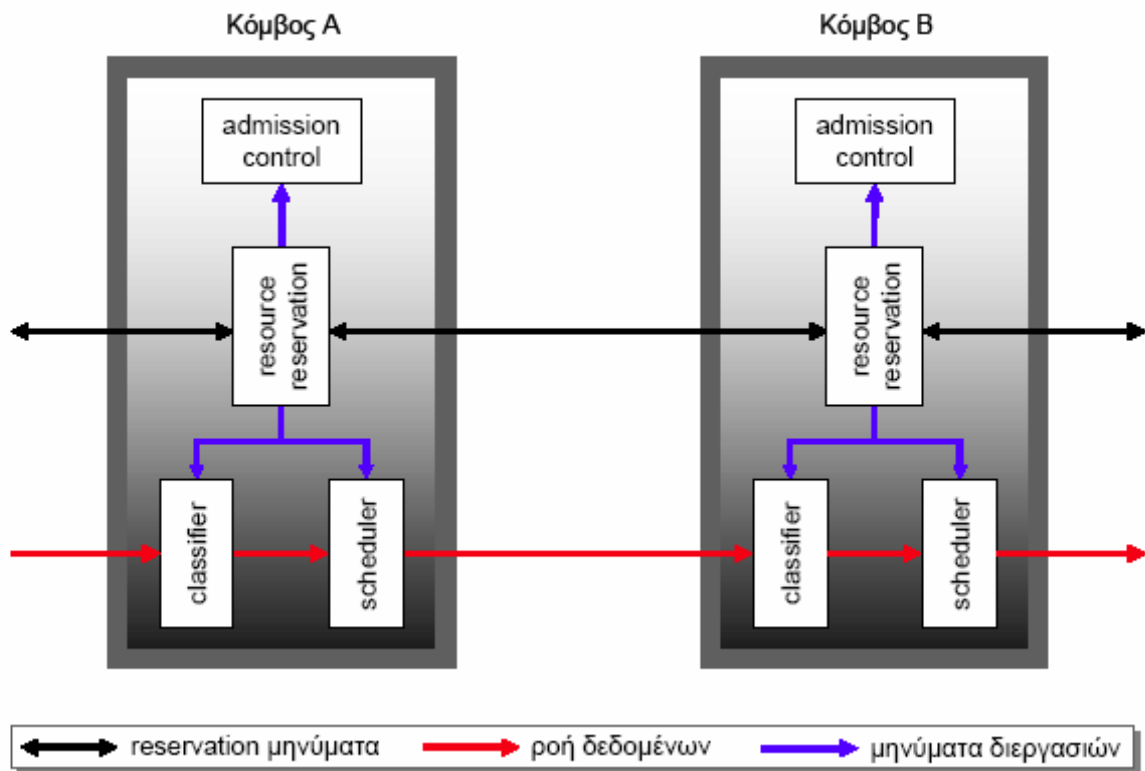
5.3.6 Μηχανισμοί Ελέγχου Κίνησης

Η αρχιτεκτονική IntServ ορίζει τρεις μηχανισμούς που αποτελούν τις λειτουργίες του ελέγχου κίνησης στους δρομολογητές του δικτύου (βλέπε Σχήμα 18), τον χρονοπρογραμματισμό πακέτων (packet scheduler), τον ταξινομητή πακέτων (packet classifier) και τον έλεγχο εισόδου κίνησης (admission control). Οι μηχανισμοί ελέγχου κίνησης μαζί με το μηχανισμό δέσμευσης πόρων, όπως τελικά υλοποιείται από το πρωτόκολλο RSVP, αποτελούν τα τέσσερα δομικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στους κόμβους για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής IntServ.

Ο scheduler είναι ο μηχανισμός χρονοπρογραμματισμού του δρομολογητή και μπορεί να είναι οποιοσδήποτε κατάλληλος μη FIFO μηχανισμός υλοποιείται από τον εκάστοτε τύπο του δρομολογητή. Θεωρείται πως ενσωματωμένος σε αυτό τον μηχανισμό είναι και ο μηχανισμός αστυνόμευσης κίνησης (traffic policing) καθώς της μετάδοσης των πακέτων προηγείται έλεγχος έναντι του επιτρεπτού ρυθμού όπως έχουν δηλωθεί τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής κατά τη δέσμευση πόρων της συγκεκριμένης υπηρεσίας και τα πακέτα που κρίνονται πως ξεπερνούν τον επιτρεπτό ρυθμό απορρίπτονται.

Ο classifier ταξινομεί κάθε εισερχόμενο πακέτο σε μια συγκεκριμένη κλάση. Στις διαμορφωμένες αυτές κλάσεις επενεργεί στη συνέχεια ο scheduler παρέχοντας διαφοροποιημένη ανά κλάση ποιότητα υπηρεσίας. Η κλάση μπορεί να ορίζεται με βάση τα περιεχόμενα της IP επικεφαλίδας του πακέτου ή/και κάποιο επιπλέον χαρακτηριστικό ταξινόμησης που έχει προσδοθεί σε κάθε πακέτο. Οι κανόνες ταξινόμησης μπορεί να διαφέρουν από κόμβο σε κόμβο με την ίδια λογική που ο μηχανισμός scheduler μπορεί είναι διαφορετικός.

Ο έλεγχος εισόδου κίνησης αποφασίζει εάν μία νέα ροή μπορεί να εξυπηρετηθεί αν η ποιότητα υπηρεσίας που αιτείται δεν μειώνει την ποιότητα υπηρεσίας των ήδη ενεργών ροών. Ο έλεγχος εισόδου κίνησης καλείται κατά την αίτηση για μία νέα υπηρεσία σε κάθε κόμβο στο μονοπάτι της ροής που θα παράγει ο χρήστης. Η απόφαση βασίζεται στη διαθεσιμότητα των τοπικών πόρων του κόμβου και στις πολιτικές του παρόχου που μπορεί να ορίζουν επιπρόσθετους όρους και κανόνες για την αποδοχή μίας αίτησης. Ο αλγόριθμος ελέγχου εισόδου κίνησης πρέπει να είναι συμβατός με το υπό χρήση μοντέλο υπηρεσιών.



Σχήμα 18: Λειτουργικό μοντέλο κόμβου IntServ

5.3.7 Αξιολόγηση

Πλεονεκτήματα του μοντέλου IntServ – RSVP

Η αρχιτεκτονική που προέρχεται από τις Ενοποιημένες Υπηρεσίες (Integrated Services, IntServ) παρέχει απόλυτη ποιότητα υπηρεσίας. Η συμπεριφορά του μοντέλου προδιαγράφηκε με αρκετή λεπτομέρεια ώστε να επιτρέπει στους πελάτες RSVP (RSVP clients) να προδιαγράψουν κάθε κατηγορία υπηρεσίας λεπτομερώς. Επειδή το RSVP εφαρμόζεται σε κάθε δρομολογητή από την πηγή έως τον προορισμό, μέσω της παρακολούθησης των ροών αποτρέπεται η κατανάλωση πόρων πέρα από αυτούς που αρχικά είχαν ζητηθεί, δεσμευθεί και προφανώς πληρωθεί.

Ένα άλλο όφελος του RSVP είναι ότι χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης ώστε να ορίσει το μονοπάτι της ροής μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Περιοδικά επαναμεταδίδονται τα μηνύματα **PATH1** και **RESV2** και το πρωτόκολλο μπορεί και αντιδρά στην αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου. Αυτά ακριβώς τα ανανεωμένα PATH και RESV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν το μονοπάτι της δεσμευμένης ροής. Η απώλεια αυτών των μηνυμάτων μπορεί να βοηθήσει επίσης στη διαπίστωση ότι είτε ο

αποστολέας είτε ο παραλήπτης δεν είναι πλέον ενεργός. Όταν ο δρομολογητής ανακαλύψει αυτήν την απώλεια, αποδεσμεύει τους πόρους που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη σύνοδο.

Ένας από τους πρωταρχικούς σκοπούς του IntServ ήταν αν παρέχει ποιότητα υπηρεσίας σε ροές από μια πηγή σε ένα προορισμό (unicast) και από μια πηγή σε πολλαπλούς προορισμούς (multicast). Το πρωτόκολλο RSVP σχεδιάστηκε ώστε να επιτρέπει μηνύματα PATH να αναγνωρίζουν όλα τα τερματικά σημεία μιας ροής πολλαπλών προορισμών και να στέλνουν το μήνυμα PATH σε κάθε αποδέκτη. Επίσης, επιτρέπει τα μηνύματα RESV από κάθε αποδέκτη να μπορούν να συνδυάζονται σε μία μόνο αίτηση στα σημεία του δικτύου όπου ροή πολλαπλών προορισμών θα έστελνε την ίδια ροή σε δύο διαφορετικά κανάλια.

Μειονεκτήματα του μοντέλου IntServ – RSVP

Η αρχιτεκτονική IntServ ωστόσο παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα εφαρμογής σε μεγάλη κλίμακα (scalability) που απορρέουν από τη χρήση του RSVP. Οι πόροι σε ισχύ επεξεργασίας και χώρο μνήμης ενός δρομολογητή που αναλίσκονται για τις ανάγκες του RSVP σε επίπεδο ελέγχου (control plane) και σε επίπεδο δεδομένων (data plane) αυξάνουν αναλογικά με τον αριθμό των ροών που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας, εκείνων δηλαδή που χρησιμοποιούν υπηρεσία άλλης της best effort. Έχει αποδειχθεί πως οι περισσότερες IP συνδέσεις από άκρο σε άκρο διαρκούν πολύ λίγο και πως μερικές δεκάδες χιλιάδες τέτοιες συνδέσεις είναι ενεργές ανά πάσα στιγμή σε ένα μέσο δρομολογητή ενός δικτύου κορμού. Τα RSVP μηνύματα για την εγκατάσταση κάθε τέτοιας σύνδεσης επιβαρύνουν σημαντικά το δίκτυο σε εύρος ζώνης αναλογικά με το εύρος ζώνης που τελικά χρησιμοποιείται από αυτές τις συνδέσεις.

Είναι φανερό πως, ιδιαίτερα σε δίκτυα κορμού με φυσικές συνδέσεις υψηλής ταχύτητας, η απόδοση των δρομολογητών επηρεάζεται σημαντικά από την επιβάρυνση σε επεξεργαστική ισχύ εξαιτίας του RSVP, της διαχείρισης πληροφορίας για τις ενεργές ροές και της ταξινόμησης κάθε εισερχόμενου πακέτου σε μία από αυτές τις ενεργές ροές. Επιπλέον, οι περισσότερες γνωστές υλοποιήσεις scheduling αλγορίθμων δεν μπορούν να διαχειριστούν παρόμοιο πλήθος ταυτόχρονων ενεργών ροών. Χειροτερεύοντας ακόμα το σενάριο, αν η

1 **PATH message:** είναι το ειδικό μήνυμα που στέλνει ο πομπός με σκοπό να ενημερώσει το δέκτη αλλά και τους ενδιάμεσους δρομολογητές, για τα χαρακτηριστικά της κίνησης που πρόκειται να αρχίσει να εκπέμπει.

2 **RESV message:** Όταν το μήνυμα PATH περάσει μέσα από όλους τους ενδιάμεσους δρομολογητές και φτάσει τελικά στο δέκτη (ή στους δέκτες) της πληροφορίας, τότε αυτός στέλνει στο δίκτυο το κατάλληλο μήνυμα RSVP, που ονομάζεται RESV message, για τη δέσμευση των αντίστοιχων πόρων. Το μήνυμα RESV περιέχει τους πόρους που θέλει ο συγκεκριμένος δέκτης να δεσμεύσει από το δίκτυο για τη ροή των πακέτων που περιγράφεται από το μήνυμα PATH που έλαβε.

τοπολογία του δικτύου άλλαζε, οι δεσμεύσεις πόρων για όλες αυτές τις συνδέσεις θα έπρεπε να διαπραγματευτούν ξανά ταυτόχρονα. Όλα αυτά καθιστούν σχεδόν αδύνατη την εφαρμογή του RSVP σε μεγάλη κλίμακα.

5.4 DiffServ

5.4.1 Εισαγωγή

Αναγνωρίζοντας τα προβλήματα εφαρμογής της αρχιτεκτονικής IntServ σε μεγάλη κλίμακα, ο οργανισμός IETF δημιούργησε την ομάδα εργασίας Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services, DiffServ) με σκοπό τη δημιουργία μιας εναλλακτικής πρότασης επέκτασης της βασικής αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου για παροχή ποιότητας υπηρεσίας που να είναι εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα (scalable). Η συγκεκριμένη ομάδα εργασίας, που θεσπίστηκε το Φεβρουάριο του 1998, παρουσίασε το Δεκέμβριο του ίδιου έτους το RFC 2475 για την Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών.

Η βασική αρχή της αρχιτεκτονικής DiffServ είναι ότι τοποθετεί τη διαχείριση ροών κίνησης στα άκρα του δικτύου, όπου γίνεται η ανάθεση και συνάθροιση (aggregation) των ροών κίνησης σε πεπερασμένες και προκαθορισμένες κλάσεις, ενώ η διαχείριση των κλάσεων αυτών γίνεται από τους εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Έτσι, η ογκώδης πληροφορία και η πολύπλοκη επεξεργασία (π.χ. αστυνόμευση, μορφοποίηση) των ξεχωριστών ροών, δηλαδή των μεμονωμένων συνόδων που αποτελούσαν τις ροές στο IntServ, περιορίζεται στους ακραίους κόμβους, ενώ οι εσωτερικοί κόμβοι, ανεξάρτητα από το πλήθος των ενεργών ροών, καλούνται να διαχειριστούν ανά πάσα στιγμή τον ίδιο αριθμό κλάσεων, καθιστώντας την αρχιτεκτονική εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα. Αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής DiffServ έναντι του μοντέλου IntServ/RSVP, καθώς μπορεί εύκολα να κλιμακωθεί.

Ως αποτέλεσμα των πιο πάνω είναι και η απαλλαγή των εσωτερικών κόμβων από τη διαδικασία δέσμευσης πόρων ανά ροή και κατά συνέπεια από την από άκρο σε άκρο σηματοδότηση κατά την ενεργοποίηση μιας ροής. Η πληροφορία για την ποιότητα υπηρεσίας που είναι να λάβει μια ροή φαίνεται στην επικεφαλίδα των πακέτων με την αναγραφή της κλάσης, στην οποία έχει ενταχθεί. Συγκεκριμένα, η πληροφορία αυτή κωδικοποιείται στο DS πεδίο της επικεφαλίδας των IP πακέτων. Το πεδίο DS (Differentiated Services) ορίστηκε από την ομάδα εργασίας της IEEE για τις Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες, αντικαθιστώντας το πεδίο Type of Service - TOS (στο IPv4) ή το πεδίο Traffic Class (στο IPv6). Αυτή τη στιγμή έχουν γίνει οι απαραίτητοι ορισμοί του DS Field και της αρχιτεκτονικής των Differentiated

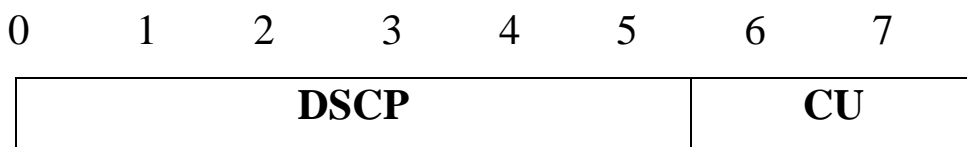
Services, ωστόσο δεν έχουν ακόμη τυποποιηθεί οι διάφορες υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει το μοντέλο. Οι υπηρεσίες αυτές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παρέχονται προς μια κατεύθυνση, είναι δηλαδή μονοκατευθυντικές (unidirectional) και άρα ασύμμετρες. Η αρχιτεκτονική DiffServ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για unicast μετάδοση και το μοντέλο δε μπορεί ακόμα να υποστηρίξει multicast μετάδοση.

Περιληπτικά, η λειτουργία του μοντέλου έχει ως εξής: οι πελάτες ζητούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας, μαρκάροντας το DS field του κάθε πακέτου με μια συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή προσδιορίζει την ανά κόμβο συμπεριφορά του δικτύου (Per-Hop Behavior, PHB) ως προς το πακέτο. Οι τιμές του DS πεδίου είναι μέσα στα πλαίσια της συμφωνίας (Service Level Agreement, SLA) ανάμεσα στον πάροχο (provider) και τον πελάτη και ορίζουν τις παραμέτρους του επιπέδου υπηρεσίας, όπως είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η προτεραιότητα μετάδοσης και απόρριψη, η εξυπηρέτηση στην ουρά κ.α.

5.4.2 Κατηγοριοποίηση

Η αρχιτεκτονική DiffServ αντί να καθορίσει τα χαρακτηριστικά των ίδιων των υπηρεσιών, καθορίζει τα χαρακτηριστικά πεπερασμένων κλάσεων που υλοποιεί το δίκτυο και οι οποίες αποτελούν τα δομικά στοιχεία με βάση τα οποία στη συνέχεια κάθε Πάροχος Διαδικτύου μπορεί να δομήσει τις υπηρεσίες που θα παρέχει στην περιοχή του, εξυπηρετώντας καλύτερα τις ιδιαίτερες ανάγκες του.

Κάθε πακέτο που εισέρχεται στο δίκτυο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών μαρκάρεται με ένα Κωδικό Σημείο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ Code Point, DSCP) στο πεδίο DS. Πακέτα με το ίδιο DSCP ανήκουν σε μία συσσωρευμένη συμπεριφορά (behaviour aggregate) και λαμβάνουν την ίδια μεταχείριση PHB, ανεξάρτητα από τη ροή στην οποία ανήκουν. Στη συνέχεια, αναλύουμε το DS πεδίο.



DSCP = DiffServ Code Point [RFC 2474]

CU = Currently Unused

Σχήμα19: Πεδίο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DS field)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το format του DS field, όπως έχει οριστεί από την ομάδα εργασίας των DiffServ. Τα πρώτα 6 bits του πεδίου αποτελούν το Differentiated Services Code Point (DSCP) και χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν την Per-Hop Behaviour που θα

έχει το πακέτο και κατά συνέπεια την υπηρεσία που θα του παρέχεται. Συνολικά, μπορούν να διακριθούν 64 (2^6) διαφορετικές υπηρεσίες (προτεραιότητες) στο DSCP μέσα στο DS πεδίο.

Οι 64 υπηρεσίες έχουν χωριστεί σε τρεις διαφορετικές ομάδες :

1. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 32 απ' άκρο σε άκρο συμπεριφορές (υπηρεσίες).
2. Οι επόμενες 16 υπηρεσίες είναι δεσμευμένες για τοπική ή πειραματική χρήση.
3. Οι επόμενες 16 υπηρεσίες είναι δεσμευμένες αρχικά για τοπική ή πειραματική χρήση, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν overflow ομάδα υπηρεσιών σε περίπτωση που και οι 32 υπηρεσίες της πρώτης ομάδας έχουν όλες χρησιμοποιηθεί.

Τα τελευταία 2 bits του DS field είναι δεσμευμένα για μελλοντική χρήση και αγνοούνται κατά τη διαδικασία της επιλογής PHB. Όμως υπάρχει ένα πλήθος από δρομολογητές που δεν ανήκουν σε πεδία που υποστηρίζουν DiffServ και συνεχίζουν να ρυθμίζουν τη λειτουργία τους με βάση την τιμή του Traffic Class πεδίου στην επικεφαλίδα των IP πακέτων. Η μετατροπή ενός πεδίου που δεν υποστηρίζει DiffServ σε πεδίο που υποστηρίζει DiffServ είναι μη πρακτική και αρκετά δύσκολη. Έτσι, για την παροχή ολοκληρωμένων από άκρο σε άκρο υπηρεσιών πρέπει να υπάρχει κάποια συμβατότητα ανάμεσα στο DSCP πεδίο και στο Traffic Class πεδίο. Για το σκοπό αυτό τα 3 bits προτεραιότητας του Traffic Class πεδίου λαμβάνονται υπόψη και διερμηνεύονται στο DSCP field, από τον δρομολογητή που υποστηρίζει DiffServ. Μπορούν λοιπόν να υποστηριχθούν από το DSCP field, 8 (2^3) επίπεδα προτεραιότητας (class selector codepoints).

5.4.3 Κλάσεις DiffServ

Πέραν της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας (**Best Effort**) το δίκτυο υποστηρίζει δύο επιπλέον διαφοροποιημένες υπηρεσίες: την Εξαιρετική (**Premium**) και την Εγγυημένη (**Assured**).

Η Εξαιρετική (Premium) κλάση υλοποιεί μια υπηρεσία που έχει συγκεκριμένο μέγιστο εύρος ζώνης (Peak Bandwidth), ασήμαντη αναμονή στις ουρές των δρομολογητών, δεν δανείζεται εύρος ζώνης από άλλες υπηρεσίες και μπορεί να υλοποιηθεί αρκετά εύκολα. Αυτή η κλάση είναι κατάλληλη για εμπορικές εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλη εκρηκτικότητα αλλά είναι αρκετά ευαίσθητες στις χρονικές καθυστερήσεις (πχ. VoIP, video conference).

Από την άλλη μεριά, η Εγγυημένη (Assured) υπηρεσία έχει χρονικές καθυστερήσεις παρόμοιες με αυτές που έχει η υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας όταν το δίκτυο δε διαθέτει υψηλό φορτίο. Ροές πακέτων που χρησιμοποιούν την Εγγυημένη υπηρεσία μπορούν να δανείζονται εύρος ζώνης από άλλες κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας (ή και από κλάσεις

υψηλότερης προτεραιότητας όταν αυτές έχουν μικρή κίνηση) όταν αυτό είναι απαραίτητο. Για αυτό το λόγο η συγκεκριμένη υπηρεσία είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου με υψηλή εκρηκτικότητα (πχ. World Wide Web).

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι απαιτήσεις διαφόρων εφαρμογών σε εύρος ζώνης καθώς και χρονική ευαισθησία τους.

Application	Bandwidth	Sensitivity to		
		Delay	Jitter	Loss
VoIP	Low	High	High	Med
Video Conferencing	High	High	High	Med
Streaming video on demand	High	Med	Med	Med
Streaming audio	Low	Med	Med	Med
Client/Server transactions	Med	Med	Low	High
E-mail	Low	Low	Low	High
File transfer	Med	Low	Low	High

Πίνακας 4: Απαιτήσεις διαφόρων υπηρεσιών

5.4.4 Συμπεριφορές - Ανά - Κόμβο (PHBs)

Κάθε κλάση προδιαγράφεται μέσω της αντίστοιχης Συμπεριφοράς Ανά Κόμβο (Per Hop Behaviour, PHB). Αυτό σημαίνει ότι η κάθε κλάση έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά προώθησης (forwarding) σε κάθε δρομολογητή που παρεμβάλλεται στη διαδρομή ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Η ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει μια ροή δεδομένης κλάσης από άκρο σε άκρο εξαρτάται από τους πόρους που έχουν δεσμευτεί για το αντίστοιχο PHB σε κάθε δρομολογητή του μονοπατιού και από τις άλλες ενεργές ροές της ίδιας κλάσης σε αυτό το μονοπάτι. Έτσι, ο πάροχος ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά ποιότητας των υπηρεσιών όπως κρίνεται επιθυμητό, καθορίζοντας τους ανά κλάση δεσμευμένους πόρους σε κάθε δρομολογητή και τις ροές κίνησης που αποκτούν πρόσβαση σε αυτούς ανά πάσα στιγμή.

Τα PHBs υλοποιούνται σε κάθε δρομολογητή μέσω των μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού και διαχείρισης καταχωρητή που ρυθμίζουν αντίστοιχα την καθυστέρηση μετάδοσης και την πιθανότητα απώλειας. Το κάθε PHB αντιστοιχεί σε μία

μοναδική τιμή του πεδίου DSCP. Έχουν προτυποποιηθεί τρεις κατηγορίες PHBs και είναι οι εξής :

- 1) η default PHB που αντιστοιχεί στη γνωστή best-effort συμπεριφορά προώθησης (**Best Effort, BE**) – σχετίζεται με την κλάση BE.
- 2) η Εγγυημένη Προώθηση (**Assured Forwarding, AF**) - σχετίζεται με την κλάση Assured.
- 3) η Εσπευσμένη Προώθηση (**Expedited Forwarding, EF**) - σχετίζεται με την κλάση Premium.

Σημειώνεται πως, πέραν των πιο πάνω τριών κατηγοριών, κάθε πάροχος μπορεί στην επικράτειά του να ορίζει ειδικά PHBs σύμφωνα με τις ανάγκες του.

• Θεωρητικά, ένα δίκτυο θα μπορούσε να έχει μέχρι 64 (2^6) διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές στο DSCP. Τα DiffServ RFCs συστήνουν, αλλά δεν απαιτούν, ορισμένες κωδικοποιήσεις, οι οποίες προσφέρουν στους παρόχους των δικτύων μεγάλη ευελιξία στον καθορισμό των κατηγοριών κυκλοφορίας. Στην πράξη, εντούτοις, τα περισσότερα δίκτυα χρησιμοποιούν τις παραπάνω συμπεριφορές ανά-κόμβο.

Βέλτιστης Προσπάθειας Προώθηση (Best Effort, BE)

Το BE PHB αντιστοιχεί σε μετάδοση με χαμηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης και υψηλότερη προτεραιότητα απόρριψης και χρησιμοποιείται στη γενική περίπτωση για την εξυπηρέτηση εκείνων των ροών που δεν αντιστοιχούν σε κάποιο SLA και κατ' επέκταση των ροών που προκύπτουν από εφαρμογές μη συμβατές με το DiffServ.

Η προτεινόμενη τιμή του πεδίου DSCP για την προκαθορισμένη (default) PHB, που είναι ουσιαστικά η κίνηση Βέλτιστης Προσπάθειας, είναι: 000000.

Εγγυημένη Προώθηση (Assured Forwarding, AF)

Η IETF καθορίζει την Εγγυημένη Προώθηση (Assured Forwarding, AF) στο RFC 2597. Η AF ομάδα PHBs δημιουργήθηκε για να εξυπηρετήσει πελάτες και εφαρμογές που επιθυμούν εγγυήσεις για ένα μέρος της κίνησης που παράγουν, αλλά και τη δυνατότητα να το ξεπερνούν όταν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι στο δίκτυο ακόμα κι αν αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερες καθυστερήσεις.

Η ομάδα AF περιλαμβάνει 4 διαφορετικές PHBs (AF1x έως AF4x), που προσφέρουν 4 επίπεδα εγγυήσεων μετάδοσης από τα πιο υψηλά (AF1x) έως τα πιο χαμηλά (AF4x) αντίστοιχα. Για κάθε μία από τις 4 αυτές PHBs θα παρέχεται κάποιο ελάχιστο ποσό εύρους ζώνης και χώρου στους ενταμιευτές. Σε περίπτωση που κάποιες κλάσεις δεν κάνουν χρήση όλου του εύρους ζώνης που τους έχει ανατεθεί, το περίσσειμα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τις άλλες κλάσεις. Σε κάθε μία από τις 4 PHBs αντιστοιχούν 3 επίπεδα

προτεραιότητας απόρριψης, π.χ. AF11, AF12 και AF13 από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη. Καθώς οι ροές που εξυπηρετούνται με AF είναι δυνατό να ξεπερνούν το traffic profile τους, αναμένεται σε κάποιες περιπτώσεις οι ρυθμοί άφιξης να είναι μεγαλύτεροι από το δεσμευμένο εύρος ζώνης και άρα να δημιουργούνται ουρές και καθυστερήσεις. Επιπλέον, εφόσον τα πλεόνασμα της κίνησης μπορεί να είναι οσοδήποτε μεγάλο αλλά οι καταχωρητές των ουρών πεπερασμένοι αναμένεται να παρουσιάζεται συμφόρηση και να υπάρχουν απώλειες.

Τότε τα διαφορετικά επίπεδα απόρριψης εξασφαλίζουν τα πακέτα που έχουν βρεθεί inprofile και φέρουν DSCP χαμηλότερης προτεραιότητας απόρριψης (AF11, AF21 κ.λ.π.) εις βάρος των επιπλέον out-of-profile πακέτων με DSCP υψηλότερων προτεραιοτήτων, τα οποία τελικά απορρίπτονται προς αντιμετώπιση της συμφόρησης.

Μεταβάλλοντας το ποσό των πόρων που κατανέμονται σε κάθε κατηγορία, μια εταιρεία παροχής Διαδικτύου μπορεί να παρέχει διαφορετικά επίπεδα απόδοσης σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας AF.

Ο συνδυασμός κατηγοριών και “προτίμησης για απόρριψη” παράγει τις δώδεκα χωριστές κωδικοποιήσεις DSCP από AF11 μέχρι AF43 όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Assured Forwarding (AF) Behavior Group

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Low Drop	AF11	AF21	AF31	AF41
Med Drop	AF12	AF22	AF32	AF42
High Drop	AF13	AF23	AF33	AF43

Πίνακας 5: Οι δώδεκα κωδικοποιήσεις DSCP

Εσπευσμένη Προώθηση (Expedited Forwarding, EF)

Η IETF καθορίζει την **Εσπευσμένη Προώθηση (EF PHB)** στο RFC 3246. Το EF PHB μοιάζει με υπηρεσία εικονικής μισθωμένης γραμμής (Virtual Leased Line, VLL) όπου οι τελικοί χρήστες έχουν την εντύπωση πως χρησιμοποιούν σύνδεση πάνω από αποκλειστικά δική τους φυσική γραμμή. Η υλοποίηση της EF απαιτεί ο ρυθμός μετάδοσης να είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερος ή ίσος του ρυθμού άφιξης των πακέτων και να χρησιμοποιεί απόλυτη υψηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης επί των άλλων PHBs. Με αυτό τον τρόπο οι χρόνοι αναμονής στις ουρές των δρομολογητών μηδενίζονται καθώς και οι απώλειες πακέτων λόγω υπερχείλισης των καταχωρητών των ουρών, επιτυγχάνοντας θεωρητικά μετάδοση με μηδενικό delay, loss και jitter, πέραν αυτών που οφείλονται στους συνδέσμους

του φυσικού επιπέδου. Εξαιτίας της απόλυτης υψηλότερης προτεραιότητας μετάδοσης, οι ροές που εξυπηρετούνται με EF αστυνομεύονται έτσι ώστε να μην ξεπερνούν ποτέ το traffic profile τους, καθώς κάτι τέτοιο θα μείωνε την ποιότητα υπηρεσίας των ροών των άλλων PHBs. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για τη φωνή, το βίντεο και άλλες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Τυπικά δίκτυα θα περιορίζουν την EF κίνηση στο 30% το πολύ της συνολικής κίνησης.

5.4.5 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσίας (SLAs)

Για να μπορούν οι χρήστες να λαμβάνουν διαφοροποιημένες υπηρεσίες από τον Πάροχο Υπηρεσίας Διαδικτύου (Internet Service Provider, ISP), πρέπει να έχουν μία Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Agreement, SLA) με τον τελευταίο. Η SLA σηματοδοτεί τις υποστηριζόμενες κλάσεις υπηρεσίας και το επίπεδο κίνησης που επιτρέπεται σε κάθε κλάση. Οι SLAs διακρίνονται σε στατικές και δυναμικές. Οι στατικές SLAs είναι διαπραγματεύσιμες σε κανονική βάση, κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Απ' την άλλη πλευρά, οι δυναμικές SLAs είναι διαπραγματεύσιμες μέσω πρωτοκόλλων σηματοδότησης όπως το RSVP. Ο έλεγχος πόρων μπορεί να διεξαχθεί από τους πράκτορες (Bandwidth Brokers) που έχουν την απαιτούμενη γνώση των προτεραιοτήτων και πολιτικών του δικτύου, κάνοντας έτσι εφικτό τον καταμερισμό των πόρων.

Στην SLA περιγράφονται οι παράμετροι της συμφωνίας υπηρεσίας που καθορίζουν τις δεσμεύσεις του παρόχου ως προς την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας, τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας, τον τρόπο χρέωσης, κ.λ.π., και τις υποχρεώσεις του πελάτη ως προς τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα λάβει η υπηρεσία. Τα SLAs δημιουργούνται και μεταξύ ομότιμων παρόχων (ISPs) για την εξυπηρέτηση πελατών με ανάγκες επικοινωνίας πέραν της περιοχής ενός μόνο παρόχου και την εξασφάλιση end-to-end QoS μεταξύ χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικούς ISPs. Το υποσύνολο των παραμέτρων που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας ονομάζεται Προδιαγραφή Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Specification, SLS).

5.4.6 Μεσίτες Εύρους Ζώνης (BBs)

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να αναφερθούμε διεξοδικότερα στην πολύ σημαντική οντότητα των Bandwidth Brokers στα DiffServ δίκτυα. Γενικά, οι οντότητες οι οποίες πρέπει να υπάρχουν σε ένα δίκτυο για να μπορεί να υποστηρίξει Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες είναι: δρομολογητές με ικανότητα Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών, σημαδευτές πακέτων (markers), ταξινομητές πακέτων (classifiers), μηχανισμοί αστυνόμησης (policers), και ένα καινούριο είδος στοιχείου δικτύου ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης (Bandwidth Broker, BB). Οι Μεσίτες

Εύρους Ζώνης Συχνοτήτων (Bandwidth Brokers, BB) ορίζονται στο RFC 2638. Είναι στην ουσία πράκτορες που διεξάγουν τη διαχείριση πόρων σε ένα δίκτυο-domain. Κάθε BB κατέχει μία βάση δεδομένων που περιέχει κανόνες και πληροφορίες για τις πολιτικές κατανομής πόρων.

Αντιπροσωπεύουν όλα τα δίκτυα από τα οποία θα χρειαστεί να διοχετευτεί μια ροή, δίνοντας μια αφαιρετική εικόνα για αυτά. Κάθε BB είναι υπεύθυνος για τη διασφάλιση των πόρων στο δίκτυο και για την προστασία των γραμμών γειτονικών Παρόχων Υπηρεσιών Internet (Internet Service Providers, ISPs). Όταν ο αποστολέας επικοινωνεί με τον τοπικό Μεσίτη Εύρους Ζώνης για την εγκατάσταση μιας σύνδεσης εξακριβώνεται η γνησιότητα του και η αίτησή του προωθείται σε ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής. Ο μηχανισμός αυτός παίρνει τις αποφάσεις του εφαρμόζοντας προκαθορισμένες πολιτικές (policy based). Στη συνέχεια, ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης προωθεί την αίτηση του χρήστη στο γειτονικό Μεσίτη Εύρους Ζώνης μέχρι να φτάσει η αίτηση στον Πάροχο Υπηρεσιών Internet. Ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης προορισμού επεξεργάζεται την αίτηση και την προωθεί στον παραλήπτη, ο οποίος αποκρίνεται ανάλογα. Αν η αίτηση γίνει δεκτή από το Μεσίτη Εύρους Ζώνης οποιουδήποτε υποδικτύου, θα πρέπει στη συνέχεια να ρυθμίσει τους δρομολογητές της περιοχής αρμοδιότητάς του, ώστε να υποστηρίξει το ζητούμενο προφίλ υπηρεσίας (service profile).

Συγκεκριμένα, η λειτουργία των BB βασίζεται σε τρία πρωτόκολλα: Ο χρήστης μπορεί να κάνει αιτήσεις κατανομής πόρων με το *πρωτόκολλο τελικού χρήστη (endhost)*, οι κατάλληλοι δρομολογητές διαμορφώνονται από το *πρωτόκολλο intra-domain* (π.χ. COPS), και οι γειτονικοί BB μπορούν να επικοινωνούν μέσω του πρωτοκόλλου *inter-domain*. Η βάση δεδομένων του BB επίσης περιέχει και άλλες πληροφορίες: πληροφορίες SLA για leaf routers, χαρτογραφήσεις DSCP, διαμορφώσεις PHB κ.τ.λ.

Οι Μεσίτες Εύρους Ζώνης Συχνοτήτων είναι πολύ σημαντικοί για τις δυναμικές SLAs και την κατανομή πηγών. Ένα νέο πρωτόκολλο QoS προτείνεται για τη interdomain επικοινωνία μεταξύ γειτονικών BB, το Simple Inter-domain Bandwidth Broker Signaling, (SIBBS). Το SIBBS χρησιμοποιεί τα μηνύματα Αίτηση Κατανομής Πόρων (RESOURCE ALLOCATION REQUEST, RAR), Απάντηση Κατανομής Πόρων (RESOURCE ALLOCATION ANSWER, RAA), Ακύρωση Δεσμεύσεων (CANCEL RESERVATIONS, CANCEL) και Επιβεβαίωση Ακύρωσης Δεσμεύσεων (CANCEL RESERVATIONS ACKNOWLEDGE, CANCEL_ACK).

Η βασική διαδικασία κατανομής εύρους συχνοτήτων είναι η ακόλουθη: Ο host που επιθυμεί να κατανείμει ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων σ' ένα συγκεκριμένο DSCP αποστέλλει μία RAR στον BB του domain του, μαζί με όλες τις πληροφορίες για τη συγκεκριμένη μετάδοση. Ο BB κατόπιν καθορίζει τον δρομολογητή που συνδέει το δεύτερο

domain με τον παραλήπτη και την intra-domain διαδρομή προς αυτόν κι ελέγχει αν η ροή υπακούει την SLA. Κατόπιν τούτου, ο BB αποστέλλει μία τροποποιημένη RAR στον BB του άλλου domain ή μία RAA με τη σημαία (flag) απόρριψης αναρτημένη στον πρώτο host. Όταν ο δεύτερος BB λάβει την RAR, διεξάγει τις ίδιες ενέργειες. Αν η εισδοχή είναι επιτυχής, αποστέλλεται στον host του παραλήπτη μία τροποποιημένη RAR, ειδάλλως μία RAA αποστέλλεται στον πρώτο host μέσω του πρώτου BB. Τελικά, οι δύο BB διαμορφώνουν κάποιους ενδιάμεσους δρομολογητές (απαραιτήτως τους δρομολογητές εισόδου και εξόδου) μέσω RAA, οι οποίες περιλαμβάνουν παραμέτρους PHB και λειτουργίες marking. Βεβαίως αυτή είναι η βασική ιδέα της διαδικασίας κατανομής εύρους συχνοτήτων και άλλοι μηχανισμοί μπορεί να παρέχουν λιγότερο πολύπλοκες λύσεις (Aggregate Tunnels).

Η περιγραφή των μηχανισμών του Μεσίτη Εύρους Ζώνης έχει ολοκληρωθεί, δεν έχουν όμως τυποποιηθεί και αποτελούν πεδίο συνεχιζόμενης έρευνας. Ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης δείχνει να είναι η ιδανική οντότητα για να επιτελεί πιστοποίηση ταυτότητας, έλεγχο δικαιώματος πρόσβασης και χρέωση (Authentication Authorization, Accounting, AAA).

5.4.7 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης

Στον πρώτο δρομολογητή εμπιστοσύνης, το δρομολογητή πρόσβασης, που συναντά η κίνηση από την πηγή προς τον προορισμό υλοποιούνται οι μηχανισμοί ελέγχου κίνησης όπως **ταξινόμηση (classification)**, **κατηγοριοποίηση-σήμανση (marking)**, **μέτρηση (metering)** και **αστυνόμευση (policing)**.

Μετά από αυτόν το δρομολογητή κάθε ροή Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών αναμιγνύεται με άλλες ροές με παρόμοια χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία των κλάσεων ροών. Όλες οι διαδικασίες προώθησης και αστυνόμευσης στους εσωτερικούς δρομολογητές του δικτύου πραγματοποιούνται πλέον στο επίπεδο των κλάσεων.

Επιπρόσθετο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ότι απλοποιεί τις επιχειρησιακές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών Internet (ISPs), ώστε να μπορούν αν συνεργαστούν με αποδοτικό τρόπο, να δημιουργήσουν υπηρεσίες από άκρη σε άκρη που διασχίζουν διαφορετικά δίκτυα. Στο μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών κάθε δίκτυο συνάπτει συμφωνίες με τα γειτονικά του δίκτυα για να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες σε διαφορετικές ομάδες ροών. Οι συμφωνίες χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες (profiles). Εφαρμόζοντας με αυστηρότητα τις συμφωνίες κίνησης των ομαδοποιημένων ροών και εξασφαλίζοντας ότι καινούριες συνδέσεις που θα επηρέαζαν αρνητικά την απόδοση του δικτύου δε θα γίνονται δεκτές, το μοντέλο Διαφοροποιημένων

Υπηρεσιών εξασφαλίζει μια καλά ορισμένη υπηρεσία από άκρη σε άκρη για μια αλυσίδα διασυνδεδεμένων δικτύων.

Η αρχιτεκτονική DiffServ απαιτεί στην υλοποίησή της από τους δρομολογητές του δικτύου την υποστήριξη ορισμένων μηχανισμών. Οι κυριότερες λειτουργίες των απαιτούμενων μηχανισμών είναι :

- **Ταξινόμηση πακέτων (packet classification).**

Ταξινόμηση των πακέτων που εισέρχονται στο δίκτυο σε ροές ή συνενώσεις ροών ώστε να ακολουθήσει κατάλληλη εξυπηρέτησή τους. Πραγματοποιείται στον δρομολογητή πρόσβασης, που συναντά η κίνηση από την πηγή προς τον προορισμό.

Συγκεκριμένα, ο ταξινομητής (classifier) ελέγχει την IP επικεφαλίδα των εισερχόμενων πακέτων, τα αντιστοιχεί σε SLAs σύμφωνα με τους κανόνες ταξινόμησης και τα προωθεί για επεξεργασία στις λειτουργίες ρύθμισης, όπως ορίζεται από τους κανόνες ρύθμισης στο κάθε SLA.

Θεωρητικά οι ροές χαρακτηρίζονται από μια πεντάδα που αποτελείται από:

- Την IP διεύθυνση του αποστολέα
- Τον αριθμό port του αποστολέα
- Την IP διεύθυνση του παραλήπτη
- Τον αριθμό port του παραλήπτη
- Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται.

Στην περίπτωση κατά την οποία το υπό εξέταση πακέτο δεν αντιστοιχεί σε κάποιο SLA ακολουθεί τους default κανόνες ρύθμισης όπως έχουν καθοριστεί από τον πάροχο.

Αντίθετα, στην περίπτωση όπου επιθυμούμε να κάνουμε ταξινόμηση σε συνενώσεις ροών τότε αρκεί να χρησιμοποιήσουμε ένα συνδυασμό των παραπάνω πεδίων της πεντάδας που χαρακτηρίζει μια ροή, ή ακόμη και ένα μόνο πεδίο. Η περίπτωση αυτή είναι πιο εύκολη να γίνει και μπορεί τελικά να πραγματοποιείται ταχύτατα σε σύγκριση με τον έλεγχο όλης της πεντάδας.

Στην πραγματικότητα ισχύει πως η ταξινόμηση των πακέτων επιθυμούμε να γίνει σε έναν περιορισμένο αριθμό κατηγοριών (κλάσεων) και συνεπώς αρκεί να χρησιμοποιήσουμε ένα σταθερό πεδίο στην επικεφαλίδα των πακέτων. Η μέθοδος αυτή είναι σαφώς απλούστερη και πιο αποδοτική και στην περίπτωση της DiffServ αρχιτεκτονικής ονομάζεται behavior aggregate classification, και πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η ταξινόμηση που επιτυγχάνει είναι σε επίπεδο aggregates.

- **Μαρκάρισμα πακέτων (packet marking).**

Έπεται της λειτουργίας της ταξινόμησης. Παρέχει συγκεκριμένη τιμή στο πεδίο DSCP καθορίζοντας έτσι το PHB που θα χρησιμοποιηθεί από τους εσωτερικούς κόμβους του Δικτύου για την εξυπηρέτηση του πακέτου και κατά συνέπεια την ποιότητα που θα λάβει από το δίκτυο.

- **Μέτρηση (metering).**

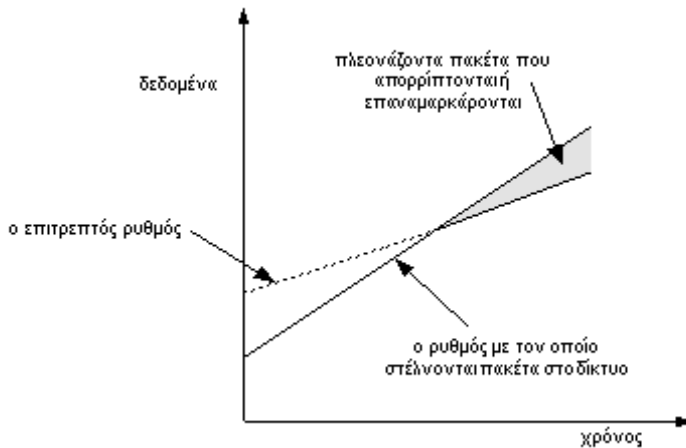
Ο μηχανισμός μέτρησης ελέγχει αν κάθε ροή συμπεριφέρεται σύμφωνα με το προκαθορισμένο προφίλ της, το οποίο έχει συμφωνηθεί από τον πελάτη και τον διαχειριστή του δικτύου. Το προφίλ κίνησης της ροής του χρήστη περιγράφεται στα SLAs. Με βάση τα περιγραφόμενα χαρακτηριστικά τα εισερχόμενα πακέτα κρίνονται είτε ως συμμορφούμενα (in-profile) είτε ως μη συμμορφούμενα (out-of-profile).

Κριτήρια αποτελούν ο ρυθμός άφιξης των πακέτων (arrival rate) και το μέγεθος έκρηξης (burst size). Διαφορετικές ενέργειες ρύθμισης καθορίζονται για τα in profile και out-of-profile πακέτα. Η λειτουργία που ελέγχει τη ροή των πακέτων έναντι του traffic profile της ονομάζεται μετρητής (meter). Η κίνηση που υπερβαίνει το προκαθορισμένο προφίλ είτε επαναμαρκάρεται, ώστε να υποδεικνύεται ως κίνηση κλάσης χαμηλότερης προτεραιότητας, είτε γίνεται απόρριψη ή μορφοποίηση στα πακέτα της.

- **Αστυνόμευση κίνησης (policy routing).**

Η αστυνόμευση σχετίζεται με τον έλεγχο της κίνησης και με τα μέτρα τα οποία λαμβάνει το δίκτυο όταν μια ροή προσπαθεί να διοχετεύσει στο δίκτυο περισσότερα πακέτα από αυτά που έχουν προσυμφωνηθεί. Για τη συμμόρφωση της ροής με το traffic profile της χρησιμοποιούνται ο shaper (μορφοποιεί την κίνηση) και ο dropper (απορρίπτει την κίνηση). Ο shaper καθυστερεί τα πακέτα έτσι ώστε, με την τεχνητή αυτή καθυστέρηση, η ροή που προκύπτει να συμμορφώνεται με το traffic profile της.

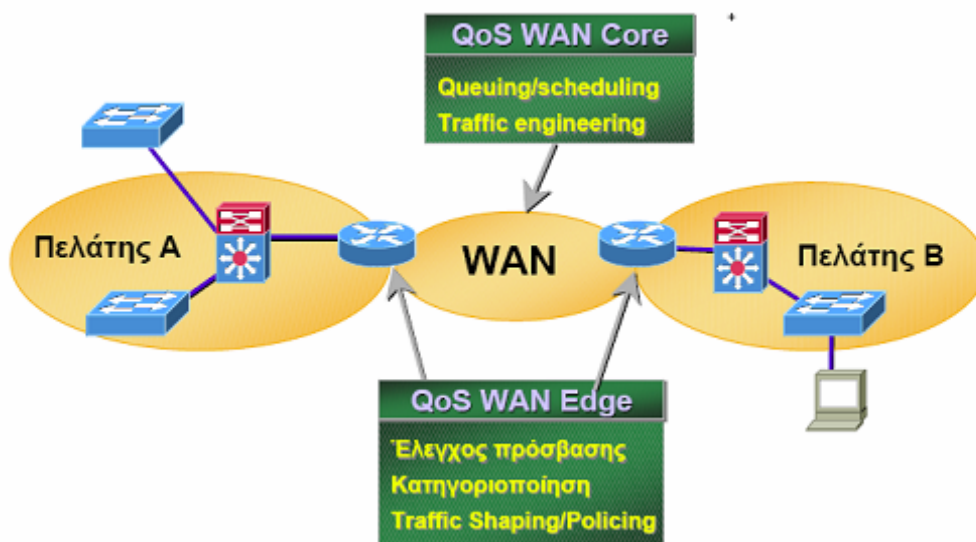
Ο shaper χρησιμοποιεί καταχωρητές περιορισμένης χωρητικότητας για την αποθήκευση των πακέτων που έρχονται πιο γρήγορα από όσο τα μεταδίδει. Κατά την υπερχειλίση αυτών των καταχωρητών τα πακέτα διαγράφονται. Ο dropper απλά διαγράφει τα out-of-profile πακέτα. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή και ως αστυνόμευση (policing). Γνωστοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι οι: token και leaky bucket



Σχήμα20: Η λειτουργία της αστυνόμευσης

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σειρά εφαρμογής των βασικών μηχανισμών που χρησιμοποιεί η DiffServ αρχιτεκτονική. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πιθανό να αλλάζει η συγκεκριμένη σειρά. Για παράδειγμα η μορφοποίηση μπορεί να προηγείται της μέτρησης.

Αφού περιγράψαμε τους μηχανισμούς ελέγχου κίνησης που υλοποιούνται στον δρομολογητή πρόσβασης, θα αναφερθούμε στις λειτουργίες μεταδρομολόγησης που πραγματοποιούν οι δρομολογητές απόληξης καθώς και εσωτερικοί δρομολογητές του δικτύου.



Σχήμα 21: Διαφοροποίηση εξυπηρέτησης

Κάθε θύρα εξόδου ενός δρομολογητή πρέπει να έχει δύο ουρές απλής προτεραιότητας (First-In-First-Out, FIFO) και ένα κατάλληλο μηχανισμό διαχείρισης για αυτές. Κάθε νέο

πακέτο ελέγχεται για το αν ανήκει στην Εξαιρετική (Premium) κλάση ή όχι. Αν το πακέτο ανήκει στην Εξαιρετική κλάση τότε τοποθετείται στην ουρά υψηλής προτεραιότητας. Αντίστοιχα, αν το πακέτο ανήκει στην Εγγυημένη (Assured) κλάση ή στην κλάση βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort), τότε αυτό τοποθετείται στην ουρά χαμηλής προτεραιότητας. Αν το μέγεθος της ουράς χαμηλής προτεραιότητας περάσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι, τότε τα πακέτα της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας αρχίζουν να απορρίπτονται. Αν το μέγεθος της ουράς χαμηλής προτεραιότητας εξακολουθεί να μεγαλώνει και ο αριθμός των πακέτων που ανήκουν στην Εγγυημένη κλάση ξεπεράσει ένα δεύτερο κατώφλι τότε απορρίπτονται και πακέτα της Εγγυημένης κλάσης.

Η ουρά υψηλής προτεραιότητας δεν πρόκειται να υπερχειλίσει ποτέ αφού ο αριθμός των πακέτων της Εξαιρετικής κλάσης ελέγχεται με αυστηρά κριτήρια στην είσοδο του δρομολογητή. Για τον ίδιο λόγο, τα πακέτα αυτής της κλάσης δεν πρόκειται ποτέ να καταλάβουν όλο το εύρος του διαύλου αλλά μόνο ένα κλάσμα αυτού. Ωστόσο, το πλεονέκτημα του παραπάνω μηχανισμού είναι ότι αφενός μπορεί να δοθεί ποιότητα υπηρεσίας (πχ. Εξαιρετική κλάση) και αφετέρου το εύρος του διαύλου που έχει δεσμευθεί για κλάσεις υψηλής προτεραιότητας και το οποίο δεν χρησιμοποιείται, μπορεί να δοθεί στις κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας. Έτσι, επιτυγχάνεται παράλληλα και υψηλή χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου.

Εξαιρετικής λοιπόν σημασίας για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας είναι ο μηχανισμός του χρονοπρογραμματισμού (scheduling). Υλοποιείται τόσο στους ακραίους δρομολογητές, αλλά και σε κάθε εσωτερικό δρομολογητή του δικτύου που παρεμβάλλεται στη διαδρομή μιας ροής από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Σχετίζεται με τη διαχείριση των ουρών του δρομολογητή, καθορίζοντας το επόμενο προς μετάδοση πακέτο.

Η χρονοδρομολόγηση επιδρά καθοριστικά στις θεμελιώδεις μετρικές της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών. Συγκεκριμένα:

- Το **Εύρος Ζώνης (bandwidth)** που ανατίθεται σε κάθε κλάση, εξαρτάται από τη συχνότητα προτίμησης πακέτων προς μετάδοση από συγκεκριμένη ουρά αναμονής. Λόγω της αυξημένης εξυπηρέτησης ουρών με μεγαλύτερη προτεραιότητα, οι αντίστοιχες κλάσεις απολαμβάνουν αυξημένο ρυθμό μετάδοσης (throughput).
- Η **Καθυστέρηση (delay)** κάθε κλάσης, σχετίζεται άμεσα με το χρόνο παραμονής των πακέτων της στην αντίστοιχη ουρά αναμονής.
- Η **Διακύμανση Καθυστέρησης (jitter)**, επηρεάζεται από τον αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης ο οποίος μπορεί να εξασφαλίζει ότι το χρονικό διάστημα μεταξύ εξυπηρετήσεων δύο διαδοχικών πακέτων μιας κλάσης είναι φραγμένο.

Ο ρόλος της χρονοδρομολόγησης είναι πολύ σπουδαίος στην παροχή ποιότητας υπηρεσίας καθώς επιδρά καθοριστικά στους προαναφερθέντες παράγοντες. Συνεπώς, είναι κρίσιμη η σωστή επιλογή του μηχανισμού χρονοδρομολόγησης σε κάθε δρομολογητή. Γνωστές μέθοδοι χρονοδρομολόγησης είναι οι: WFQ/CBWFQ, MDRR, Priority. Ορισμένα από τα κριτήρια για την επιλογή του κατάλληλου μηχανισμού χρονοδρομολόγησης σε ένα δίκτυο είναι:

- η φύση των εγγυήσεων που δίνει ο μηχανισμός
- η αποδοτικότητα των επιβαλλόμενων εγγυήσεων
- η χρονική πολυπλοκότητα, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την επιλογή του επόμενου προς μετάδοση πακέτου
- η ευελιξία διαχείρισης της κίνησης υπό προσυμφωνημένα όρια αλλά και κατά τη διάρκεια συμφόρησης
- η ευκολία καθορισμού παραμέτρων για την ευέλικτη παροχή εγγυήσεων.

5.4.8 Αξιολόγηση

Η αρχιτεκτονική DiffServ σχεδιάστηκε με επίκεντρο το δίκτυο και όχι τις υπηρεσίες όπως η αρχιτεκτονική IntServ. Επιτυγχάνεται με αυτό τον τρόπο η απεμπλοκή της λειτουργίας του δικτύου από την πρόβλεψη και παροχή νέων πολύπλοκων και απαιτητικών υπηρεσιών, καθιστώντας εφικτή την εφαρμογή της αρχιτεκτονικής σε οσοδήποτε μεγάλη κλίμακα και αξιοποιώντας παράλληλα τις δυνατότητες των δικτύων υψηλών ταχυτήτων. Επιπλέον, καθώς δεν προαπαιτείται διαδικασία σηματοδότησης από άκρο σε άκρο για κάθε ενεργοποίηση μιας υπηρεσίας όπως στην περίπτωση της αρχιτεκτονικής IntServ μέσω του RSVP, οι χρήστες απαλλάσσονται από τις αντίστοιχες καθυστερήσεις. Το μεγαλύτερο όφελος αποκομίζουν χρήστες και εφαρμογές που λειτουργούν με πολλαπλές κλήσεις μικρής διάρκειας. Ακόμα, δυνατότητα υπέρβασης του καθορισμένου traffic profile σε συνδυασμό με την ευέλικτη χρήση των διαθέσιμων πόρων από ροές διαφορετικών PHBs ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες, όπως διαμορφώνονται από τις εκάστοτε ενεργές ροές, συντελούν στην πιο εντατική χρήση των πόρων του δικτύου και κατά συνέπεια στην καλύτερη αξιοποίησή τους, στην εξυπηρέτηση περισσότερων πελατών και σε υψηλότερα οικονομικά οφέλη.

Η αρχιτεκτονική DiffServ από μόνη της, σε αντίθεση με την αρχιτεκτονική IntServ, δεν παρέχει μηχανισμούς που να εξασφαλίζουν συγκεκριμένα ποσοτικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Αντ' αυτού προτυποποιεί τα PHBs ως κλάσεις σχετικής διαφοροποίησης της ποιότητας υπηρεσίας, η τελική τιμή της οποίας ρυθμίζεται από τις ανώτερες λειτουργίες

διαχείρισης των πόρων του δικτύου και ελέγχου εισόδου της κίνησης. Κατ' επέκταση, οι πάροχοι που εφαρμόζουν την αρχιτεκτονική DiffServ έχουν την ελευθερία να καθορίσουν, αλλά και την ευθύνη να υλοποιήσουν, την καλή λειτουργία του δικτύου τους.

Από τον ορισμό των EF και AF PHBs είναι φανερό πως το πρώτο χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν απόλυτες εγγυήσεις για συγκεκριμένα ποσοτικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας και το δεύτερο για εφαρμογές που διαθέτουν την ευελιξία να προσαρμόζονται σε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας μεταβάλλοντας τον ρυθμό της κίνησης που διοχετεύουν στο δίκτυο ανάλογα με τους εκάστοτε διαθέσιμους πόρους. Τέτοιες εφαρμογές ονομάζονται προσαρμοστικές (adaptive) εφαρμογές και χρησιμοποιούν στην πλειοψηφία τους τον μηχανισμό αποφυγής συμφόρησης του TCP. Μέσα από πειράματα έχει διαπιστωθεί πως με κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να επιτευχθούν απόλυτες εγγυήσεις για την κίνηση EF και κατά κανόνα ικανοποιητικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας για την κίνηση AF, με περιστασιακές περιόδους συμφόρησης όπου όμως οι εφαρμογές παρόλο που λαμβάνουν χαμηλότερη ποιότητα υπηρεσίας εξακολουθούν να ανταπεξέρχονται, και μάλιστα ανταποκρίνονται μειώνοντας τον ρυθμό της κίνησης και αποσυμφορίζοντας το δίκτυο.

Το πιο πιθανό είναι ότι οι Ενοποιημένες Υπηρεσίες (IntServ) δε θα αναπτυχθούν σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs) λόγω του ότι δεν αποτελούν ένα κλιμακούμενο μοντέλο. Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι πάροχοι υπηρεσιών αναμένουν ότι οι Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (DiffServ) θα ικανοποιήσουν όλες τις ανάγκες τους για Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS). Σε αντίθεση οι Ενοποιημένες Υπηρεσίες προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν κυρίως σε μικρά εταιρικά δίκτυα. Το ερώτημα που τίθεται είναι το εξής: Αν το δίκτυο ευρείας περιοχής είναι βασισμένο σε Διαφοροποιημένες υπηρεσίες και το τοπικό δίκτυο είναι μια μίξη από Διαφοροποιημένες και Ενοποιημένες υπηρεσίες πώς μπορεί να προσφερθεί ποιότητα υπηρεσίας από άκρη σε άκρη όταν ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη παρεμβάλλονται πόροι που ανήκουν σε LAN και WAN;

Αν το τερματικό χρησιμοποιεί Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες για τον καθορισμό της Ποιότητας Υπηρεσίας της ροής τότε το πρόβλημα είναι σχετικά εύκολο. Αν όμως το τερματικό χρησιμοποιεί Ενοποιημένες Υπηρεσίες και οι πάροχοι υπηρεσιών Internet (ISPs) χρησιμοποιούν Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν Ενοποιημένες Υπηρεσίες για τη δέσμευση πόρων στο LAN και ύστερα να μετατραπούν τα μηνύματα RSVP PATH και RESV στο σύνορο L/W1 ώστε οι δρομολογητές του WAN να αγνοήσουν την όποια πληροφορία RSVP στα πακέτα.

Όταν τώρα τα πακέτα φτάνουν στο άλλο σύνορο L/W2 επαναφέρονται στην αρχική τους μορφή και οι Ενοποιημένες υπηρεσίες συνεχίζουν την εξέλιξή τους στο επόμενο τοπικό δίκτυο. Όταν ένα πακέτο φτάνει στο σύνορο L/W1 τότε ο δρομολογητής του βάζει την

κατάλληλη τιμή στο πεδίο που καθορίζει τη Συμπεριφορά Προώθησης Ανά- Κόμβο, η οποία είναι ικανή να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της ροής. Στο άλλο σύνορο γίνεται η αντίστροφη διαδικασία έτσι ώστε το πακέτο να επεξεργαστεί σύμφωνα με αυτά που ορίζει το RSVP.

5.4.9 Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ) στο ΕΔΕΤ

Στη συνέχεια, παρατίθενται στοιχεία από το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ) σχετικά με την προσφερόμενη παροχή ποιότητας υπηρεσίας στην Ελλάδα.

Σύμφωνα με τον σχεδιασμό για την παροχή της υπηρεσίας, το δίκτυο του ΕΔΕΤ παρέχει τρία επίπεδα υπηρεσιών στην κίνηση που διέρχεται από αυτό. Τα επίπεδα αυτά είναι:

1. IP premium (IPP)

- IP Premium
- IP Premium Transparent
- IP Premium VoIP

2. Best Effort (BE)

3. Less than Best Effort (LBE)

Κάθε ένα από τα παραπάνω επίπεδα υπηρεσιών περιέχει μία ή περισσότερες κλάσεις κίνησης. Ως κλάση κίνησης θεωρούμε τα πακέτα τα οποία έχουν μαρκαριστεί με συγκεκριμένη τιμή στο DSCP πεδίο της επικεφαλίδας τους. Η αντιστοίχιση μεταξύ επιπέδων υπηρεσιών, κλάσεων κίνησης και τιμών των DSCP πεδίων φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Επίπεδο υπηρεσίας	Κλάσεις κίνησης	DSCP Field value
IP Premium (IPP)	IP Premium	46
	IP Premium Transparent	40
	IP Premium VoIP	47
BestEffort	BestEffort	0
Less than Best Effort (LBE)	Less than Best Effort	8

Πίνακας 6: BestEffort και Less than Best Effort (LBE)

Αρχίζοντας από τα δύο τελευταία επίπεδα υπηρεσίας και κατά συνέπεια κλάσεις κίνησης (αφού η αντιστοίχιση είναι ένα προς ένα) αναφέρουμε πως στην κλάση Best Effort εντάσσεται όλη η κίνηση για την οποία δεν συντρέχει κανένας λόγος να λάβει ειδική μεταχείριση από το δίκτυο. Οι λόγοι που πρέπει να συντρέχουν για να γίνει αυτό είναι είτε να

διατυπωθεί αίτημα για χρήση της υπηρεσίας IP Premium ή η κίνηση να είναι μαρκαρισμένη κατάλληλα από τον φορέα προκειμένου να ενταχθεί στην κλάση Less than Best Effort.

Αναλυτικότερα η κλάση υπηρεσίας LBE παρέχεται από το δίκτυο χωρίς να απαιτείται οι χρήστες (τυπικά τα NOCs των πελατών του ΕΔΕΤ) να διατυπώσουν αίτημα για τη χρήση της. Όλη η κίνηση που φθάνει στο ΕΔΕΤ από οποιονδήποτε πελάτη του μαρκαρισμένη με την τιμή DSCP 8 χειρίζεται ως κίνηση Less Than Best Effort. Η κίνηση αυτή μπορεί να καταλάβει αθροιστικά (aggregate LBE κίνηση από όλους τους φορείς) έως και το 1% της χωρητικότητας των links του ΕΔΕΤ. Οποιαδήποτε κίνηση υπερβαίνει αυτό το όριο απορρίπτεται από το δίκτυο.

IP Premium

Την υπηρεσία IP Premium θα χρησιμοποιεί η κίνηση για την οποία είναι επιθυμητό να τύχει εξυπηρέτησης κατά προτεραιότητα από το δίκτυο. Με άλλα λόγια, τα πακέτα που ανήκουν στην κλάση IP Premium, μεταφέρονται στο δίκτυο χωρίς συμφόρηση (με βάση και την διαστασιολόγηση της υπηρεσίας) ανεξάρτητα από το φόρτο του δικτύου. Έτσι, η καθυστέρηση διάδοσης και το ποσοστό αποτυχημένων μεταδόσεων των πακέτων αυτών μπορούν να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα.

Η υπηρεσία IP premium περιέχει τρεις κλάσεις κίνησης οι οποίες αν και λαμβάνουν το ίδιο επίπεδο εξυπηρέτησης από το δίκτυο έχουν δημιουργηθεί προκειμένου να εξυπηρετήσουν διαφορετικές λειτουργικές ανάγκες. Οι κλάσεις αυτές είναι οι:

α) **IP Premium**

β) **IP Premium Transparent** και

γ) **IP Premium VoIP**

Αναλυτικότερα η κλάση IP premium θα χρησιμοποιείται μεταξύ δύο άκρων του δικτύου (φορέας 1 με φορέα 2 ή φορέας με Server ΕΔΕΤ) και θα εξασφαλίζει πως ένα κομμάτι της κίνησης που θα ανταλλάσσεται μεταξύ των σημείων αυτών θα εξυπηρετείται κατά προτεραιότητα από το δίκτυο. Προφανώς ο ορισμός της κίνησης γίνεται με την χρήση μιας Access List (ACL) ή και με μαρκάρισμα της κίνησης από τον φορέα.

Η κλάση κίνησης IP Premium transparent λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με την κλάση IP Premium με την διαφορά πως το δεύτερο άκρο θα είναι πάντα το interface διασύνδεσης του ΕΔΕΤ με το GEANT. Η υπηρεσία αυτή, ενώ μέσα στο δίκτυο του ΕΔΕΤ λαμβάνει εξυπηρέτηση άμεσης προώθησης (Priority) εντούτοις στο δίκτυο του GEANT μεταχειρίζεται

ως BestEffort. Τυπική περίπτωση χρήσης της είναι για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε κίνηση που ανταλλάσσεται μεταξύ ενός φορέα του ΕΔΕΤ και ενός άλλου φορέα που είναι συνδεδεμένος σε άλλο ευρωπαϊκό NRN στο κομμάτι του δικτύου που είναι εντός των ορίων του ΕΔΕΤ και πιθανά του άλλου NRN.

Τέλος, η κλάση κίνησης IP Premium VoIP όπως δηλώνει και το όνομα της χρησιμοποιείται στα πλαίσια της υπηρεσίας VoIP. Αντίθετα με τις δύο προηγούμενες κλάσεις η συγκεκριμένη δεν παρέχεται μεταξύ δύο ορισμένων φορέων / σημείων του δικτύου αλλά μεταξύ του αιτούμενου φορέα και του "δικτύου".

5.5 Service Flows

Συγκεντρωτικά για τις ροές υπηρεσίας (service flows) αναφέρουμε τα ακόλουθα:

- Πρόκειται για ροή πακέτων με κοινές τιμές
- Ως ID μιας ροής θεωρούμε το DiffServ DSCP πεδίο (6 bits)
- Στο IPv6 υπάρχει flow-label (20 bits)
- Micro-flow classification: γίνεται με βάση τις IP addresses + port address + protocol ID
- Οι Micro-flows μπορεί να απαιτήσουν ιδιαίτερη QoS
- Μέσω των ροών υπηρεσίας γίνεται πιο εύκολη η πρόβλεψη κίνησης ανά ροή και καλύτερος έλεγχος συμφόρησης και εγγυήσεις QoS.

Μηχανισμοί ανά ροή

- Το πρώτο πακέτο σε μια ροή δημιουργεί πληροφορία κατάστασης (state information) S
- Μόνο το πρώτο πακέτο επεξεργάζεται. Τα υπόλοιπα πακέτα έχουν εξασφαλισμένη QoS.
- Παράλληλη επεξεργασία των ροών.
- Η κατάσταση της ροής τερματίζεται με το τελευταίο πακέτο.
- Οι καταστάσεις των ροών αποθηκεύονται σε μνήμη cache (DDRAM)

Σε ένα δίκτυο που εγγυάται QoS υπάρχουν routers που μπορούν να δρομολογούν τις ροές. Έχουν το πλεονέκτημα ότι οι πληροφορίες για την κατάσταση της ροής παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία από τους παραδοσιακούς routers στην περίπτωση DoS/DdoS επιθέσεων.

Πλεονεκτήματα

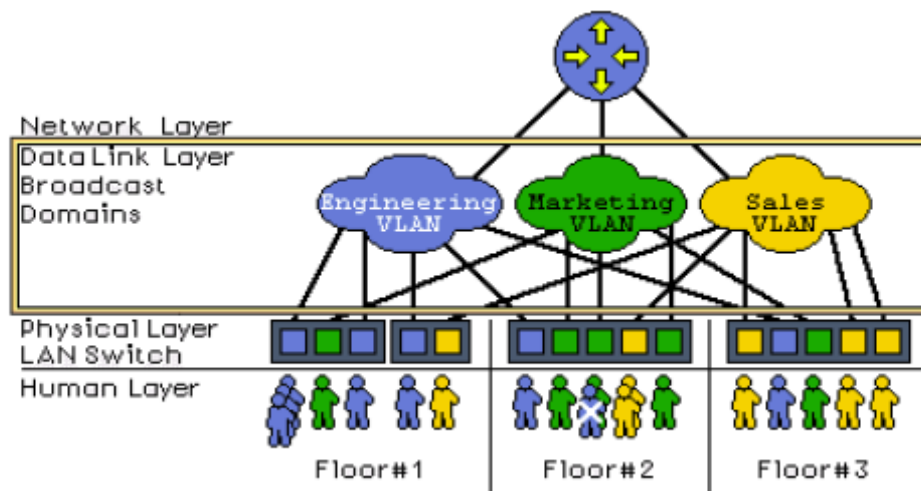
- Κέρδη σε επίπεδο δικτύου και κόμβων
- Καλύτερη υποστήριξη των SLAs
- Μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαύλου.
- Δυνατότητα έξυπνης “αστυνόμευσης” (policing)
- Εγγύηση σχετικά με το delay και το jitter των πακέτων
- Μπορούν να υποστηριχθούν καινοτόμες στρατηγικές τιμολόγησης των υπηρεσιών.

5.6 VLANs - 802.1 Q/p

Για την κατανόηση των VLANs είναι πρώτα απαραίτητη η κατανόηση των LANs. Τα LANs -Local Area Networks- (Τοπικά Δίκτυα) μπορούν να οριστούν ως πεδία ευρυεκπομπής (broadcast domain). Οι τερματικοί κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς να υπάρχει κάποιος δρομολογητής (router). Όμως, η επικοινωνία με συσκευές σε άλλα LANs απαιτεί τη χρήση δρομολογητή. Τα Εικονικά Τοπικά Δίκτυα VLAN (virtual LAN) είναι ομάδες υπολογιστών και λοιπών συσκευών που ενώ φυσικά είναι συνδεδεμένα σε διαφορετικά hub ή τμήματα τοπικών δικτύων, βρίσκονται στην ίδια περιοχή εκπομπής (broadcasting) αποτελώντας έτσι ένα λογικό ή εικονικό LAN.

Ιστορικά αναπτύχθηκαν προκειμένου να εξυπηρετήσουν την αυξανόμενη κυκλοφορία που προέκυψε από την αρχιτεκτονική client /server που κυριάρχησε τη δεκαετία του '90. Με τον τρόπο αυτό τα broadcast μηνύματα κάθε υπολογιστή περιορίζονται στα όρια του VLAN που ανήκει, ελαχιστοποιώντας έτσι την κίνηση των data στο ενιαίο VLAN.

Η ύπαρξη των VLANs παρέχει την ευχέρεια δημιουργίας διαφόρων ομάδων εργασίας με μέλη που δεν βρίσκονται στον ίδιο φυσικό χώρο. Παράδειγμα μπορεί να διασυνδέσει τα γραφεία ενός τμήματος μιας επιχείρησης μεταξύ τους σαν σε τοπικό δίκτυο (LAN), παρά το γεγονός ότι τα γραφεία μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικούς ορόφους ενός κτηρίου.



Σχήμα 22: Παράδειγμα εφαρμογής της λειτουργίας VLAN δικτύων σε επιχειρησιακό περιβάλλον

Στις μέρες μας μια καθόλου ευκαταφρόνητη παράμετρος στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι η καθυστέρηση - latency. Πρόκειται για τη χρονική διάρκεια της καθυστέρησης που εισάγει μια συσκευή στη μετάδοση ενός πακέτου από τη στιγμή που το δέχεται μέχρι τη στιγμή που το πακέτο έχει βγει στη θύρα προορισμού (destination port). Δεδομένου ότι σήμερα υπάρχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για παροχή ποιότητας υπηρεσίας (QoS), παράμετροι όπως είναι η καθυστέρηση (latency) παίζουν καθοριστικό ρόλο στην προσπάθεια εγγυημένης μετάδοσης χρονικά ευαίσθητων εφαρμογών όπως είναι για παράδειγμα η IP τηλεφωνία (VoIP).

Η υλοποίηση ενός VLAN γίνεται με τη βοήθεια της συσκευής VLAN-Switch (Switch που διαθέτουν ενσωματωμένη την υποστήριξη VLAN), που είναι οι μόνες που γνωρίζουν την ύπαρξη ενός VLAN. Οι υπολογιστές και λοιπές συσκευές των τοπικών δικτύων (πχ. εκτυπωτές δικτύου) δε γνωρίζουν τη συμμετοχή τους ή όχι σε κάποιο LAN.

Το πλεονέκτημα της χρήσης VLAN έγκειται, ως προς την καθυστέρηση μετάδοσης των πακέτων, στο γεγονός ότι ένας μεταγωγέας (Switch) εισάγει αρκετά μικρότερη καθυστέρηση (latency) σε σύγκριση με ένα δρομολογητή (Router). Η διαδικασία που ακολουθούν οι routers για τη δρομολόγηση των πακέτων σε επίπεδο 3 είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα, γεγονός που οδήγησε στη λύση του VLAN, όπου αυτό είναι εφικτό. Παράλληλα τα switches αποτελούν μια πιο οικονομική λύση σε σχέση με τους routers.

Επιπλέον, οι διαχειριστές ενός δικτύου μπορούν να διαμορφώνουν VLANs μέσω λογισμικού, γεγονός που τα καθιστά εξαιρετικά ευέλικτα. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά χρήσης των VLANs εμφανίζεται στην περίπτωση φυσικής μετακίνησης ενός υπολογιστή από μια θέση σε μια άλλη. Στην περίπτωση αυτή εξακολουθεί να ανήκει στο VLAN χωρίς να απαιτείται περαιτέρω διαμόρφωση σε επίπεδο υλικού.

Τα εικονικά LANs λειτουργούν στο επίπεδο 2 (επίπεδο ζεύξης δεδομένων) του OSI μοντέλου. Παρ' όλα αυτά, οι διαχειριστές συχνά διαμορφώνουν ένα VLAN που να απεικονίζεται απευθείας σε ένα IP δίκτυο ή υποδίκτυο που δίνει την εντύπωση ότι εμπλέκει το επίπεδο 3 (επίπεδο δικτύου).

Στο σημείο αυτό αναφέρουμε τον όρο trunk, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στον κόσμο των VLANs. Δηλώνει μια σύνδεση δικτύου στην οποία «κρέμονται» πολλαπλά VLANs, τα οποία αναγνωρίζονται από «ετικέτες» (labels ή tags) που υπάρχουν στα πακέτα τους. Συχνά αποτελεί ζεύξη μεταξύ μεταγωγέων (switches) ή ζεύξη μεταξύ μεταγωγέα και δρομολογητή (router), παρά ζεύξη με τερματικούς σταθμούς.

5.6.1 Καθορισμός των μελών ενός VLAN

Ακολουθούν οι διάφορες τεχνικές καθορισμού των μελών ενός VLAN.

VLAN με βάση τη φυσική θύρα

Στον τύπο αυτό η κάθε πόρτα του switch ορίζεται να αποτελεί μέλος ενός VLAN. Πρέπει να σημειωθεί ότι μέλη δύο διαφορετικών VLAN δεν επικοινωνούν πλέον άμεσα όπως όταν ήταν στο ίδιο LAN, αλλά απαιτούν πλέον πρόσθετο τρόπο (πχ. Router). Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται ως στατικός επειδή το κάθε VLAN σχετίζεται με συγκεκριμένες θύρες του switch.

VLAN με βάση τη διεύθυνση MAC

Στον τύπο αυτό η διαίρεση ενός LAN γίνεται με κριτήριο τη διεύθυνση MAC της κάρτας Ethernet. Ο τύπος αυτός δεν είναι στατικός. Τα διάφορα VLAN υλοποιούνται δημιουργώντας πίνακες με διευθύνσεις MAC. Όταν ένας σταθμός εργασίας (PC) εκπέμπει ένα πλαίσιο Ethernet προς το Switch, αυτό εξετάζει τη διεύθυνση MAC του αποστολέα και ψάχνει στους πίνακές του να δει σε ποιο VLAN ανήκει.

Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αλλάξουμε τη θέση σε ένα PC, να το βγάλουμε από μια πόρτα του switch και να το βάλουμε σε άλλη χωρίς να επηρεασθεί η ικανότητα επικοινωνίας του με τα άλλα μέλη του VLAN.

VLAN με βάση το πρωτόκολλο

Τα VLAN του τύπου αυτού δημιουργούνται με κριτήριο το πεδίο Ethertype ή Protocol Type του πλαισίου Ethernet (IEEE 802.3). Έτσι, ξεχωρίζονται περιβάλλοντα που δουλεύουν πχ. Netbios (Network Basic I/O System) και LAT (Local Area Transport).

Policy based VLAN

Αυτά υλοποιούνται με βάση πληροφορίες επιπέδου 3 όπως ένα IP subnet. Όταν ένα switch λαμβάνει ένα πλαίσιο Ethernet σε μια πόρτα του, εξετάζει την IP subnet διεύθυνση του αποστολέα και ψάχνει στους πίνακές του για να δει σε ποιο VLAN ανήκει. Στον τύπο αυτό οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται στο LAN σε άλλη φυσική πόρτα, αλλά η ομαδοποίησή τους να παραμένει στο ίδιο VLAN.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα VLAN του τύπου αυτού μπορεί να παρουσιάσουν προβλήματα με κάποια παλαιά switch σε χώρους όπου χρησιμοποιείται το DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).

Με το DHCP δυναμικά και αυτόματα ένας server του δικτύου αποδίδει IP διευθύνσεις στις συσκευές του LAN με την έναρξη της λειτουργίας τους, πράγμα που σημαίνει ότι δεν διατηρούν μόνιμα σταθερή IP διεύθυνση.

Πολλά switch υποστηρίζουν τη δυνατότητα επέκτασης του VLAN σε περισσότερα του ενός switch. Επίσης, τα σύγχρονα switch έχουν τη δυνατότητα πέρα από την απλή ομαδοποίηση σε VLAN να προγραμματίζονται και ως προς άλλες παραμέτρους για τον κάθε σταθμό όπως πχ. προτεραιότητα, δυνατότητα αποδοχής multicast μηνυμάτων κλπ. Συστάσεις της IEEE όπως 802.1D, 802.1p, 802.1Q προσδιορίζουν τον τρόπο λειτουργίας των VLAN.

5.6.2 Πλεονεκτήματα από τη χρήση VLAN

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση μιας αρχιτεκτονικής δικτύου VLAN είναι:

- Αύξηση του πλήθους των πεδίων ευρυεκπομπής (broadcast domains), μειώνοντας ταυτόχρονα το μέγεθος τους. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης του δικτύου.
- Αύξηση της απόδοσης.
- Μείωση των διαχειριστικών απαιτήσεων για την ανάπτυξη υποδικτύων και γενική βελτίωση της διαχειρισσιμότητας.
- Ανεξαρτησία από τη φυσική τοπολογία.
- Μείωση των απαιτήσεων σε επίπεδο υλικού, καθώς μπορεί να γίνει διαχωρισμός σε επιμέρους δίκτυα με λογικό και όχι με φυσικό τρόπο.
- Αύξηση της δυνατότητας ελέγχου τηλεπικοινωνιακής κίνησης πολλαπλών τύπων.
- Αυξημένες επιλογές στο ζήτημα της ασφάλειας.

5.6.3 IEEE 802.1

Τα VLANs ορίζονται από το πρωτόκολλο IEEE 802.1, το οποίο αποτελεί μέρος της οικογένειας πρωτοκόλλων για τα τοπικής και μητροπολιτικής εμβέλειας δίκτυα.

Το IEEE 802.1 ακολουθεί το μοντέλο διαφοροποίησης ροών χωρίς τη δέσμευση πόρων, ενώ διάφορες εκδόσεις του είναι 802.1Q, 802.1p, 802.1D και 802.1ad.802.1Q. Είναι μηχανισμός σηματοδότησης του επιπέδου 2 του OSI για την υλοποίηση των VLANs. Υλοποιεί τη διαχείριση ουράς (Queue management). Το 802.1p που ορίζει το πεδίο τύπου υπηρεσίας στην 802.1Q ετικέτα (επίπεδο MAC), υλοποιεί τον χρονοπρογραμματισμό των πακέτων, εξασφαλίζοντας προτεραιότητα σε χρήστες που το επιθυμούν και η οποία αναγνωρίζεται και εκτελείται από VLAN Switches (layer 2, OSI). Το 1999 εισήχθησαν 3 bits στο πεδίο 802.1Q για την κωδικοποίηση 8 επιπέδων προτεραιότητας χρήστη.

Κεφάλαιο 6

6.1 Μελέτη QoS στο WiMAX

Για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε δίκτυα IP φαίνεται ότι η προσέγγιση των διαφοροποιημένων υπηρεσιών (Differentiated Services, DiffServ) αποτελεί αποδοτική λύση. Ωστόσο, η έρευνα στις διαφοροποιημένες υπηρεσίες επικεντρώθηκε κυρίως στα ενσύρματα δίκτυα. Λόγω όμως της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης για ALL-IP ασύρματα δίκτυα, υπήρξε η ανάγκη παροχής QoS από άκρο σε άκρο. Αυτό σήμαινε ότι έπρεπε να υπάρξει ένα πρότυπο που θα διασφάλιζε εγγυημένη παροχή ποιότητας υπηρεσίας από τον ένα χρήστη στον άλλο, ανεξάρτητα από το αν παρεμβάλλεται μεταξύ τους ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο.

Στην περίπτωση του ασύρματου δικτύου ήταν σημαντικό να αξιοποιηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τόσο το φυσικό επίπεδο (layer 1, OSI) όσο και το επίπεδο σύνδεσης (layer 2, OSI), προκειμένου να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα στη δυνατότητα παροχής ποιότητας υπηρεσιών.

Σημαντικές παράμετροι στον προσδιορισμό και εκτίμηση της ποιότητας υπηρεσίας ήταν οι εξής:

- Bandwidth (εύρος ζώνης)
- Latency (καθυστέρηση) - ο χρόνος μεταφοράς του πακέτου από άκρο σε άκρο.
- Jitter (διακύμανση καθυστέρησης)

Έτσι, η IEEE μέσω του πρωτοκόλλου 802.16 (WiMAX) μπόρεσε να δώσει την πλέον αποδοτική λύση μέχρι τώρα. Στο ασύρματο αυτό σύστημα τηλεπικοινωνιών ο Σταθμός Βάσης είναι υπεύθυνος για την εξασφάλιση QoS στο φυσικό επίπεδο (επίπεδο 1) και στο επίπεδο σύνδεσης (επίπεδο 2). Στο φυσικό στρώμα χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές όπως: προσαρμοστική διαμόρφωση (adaptive modulation), OFDM πολυπλεξία – Subchannelization, δυνατότητα μετάδοσης TDD-FDD. Χάρη στις τεχνικές αυτές το σήμα γίνεται πολύ πιο ανθεκτικό στη διέλευσή του από διαύλους με επιλεκτική εξασθένηση συχνότητας ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Στο επίπεδο 2, υπήρξε μέριμνα ώστε εκτός από τη βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας της επικοινωνίας να εξασφαλισθεί η δυνατότητα εξυπηρέτησης των διαφόρων επικοινωνιακών συνόδων (sessions) κατά προτεραιότητα. Στην κατεύθυνση αυτή συνέβαλαν

τα πρωτόκολλα 802.1 Q/p και η υποστήριξη από πλευράς WiMAX σε επίπεδο MAC, των διαφορετικών ως προς την εγγύηση ποιότητας ροών υπηρεσίας (Service Flows).

Η αρχιτεκτονική των δικτύων WiMAX είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να υποστηρίζει διάφορους μηχανισμούς QoS. Παρέχει ευέλικτη υποστήριξη ταυτόχρονης χρήσης διαφορετικών IP υπηρεσιών. Η αρχιτεκτονική υποστηρίζει:

- α) διαφοροποιημένα επίπεδα QoS ανά τερματικό/χρήστη και/ή ροή υπηρεσίας (service flow),
- β) Έλεγχο Αποδοχής (Admission Control),
- γ) διαχείριση εύρους ζώνης,
- δ) εφαρμογή πολιτικών όπως αυτές μπορεί να ορίζονται από τους παρόχους στα SLAs (Service Level Agreements).

Στις πολιτικές μπορεί να συμπεριλαμβάνεται ιδιαίτερη μεταχείριση ανά χρήστη ή ομάδα χρηστών ανάλογα με την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται, τη συγκεκριμένη ώρα της μέρας κλπ. Επιπλέον, έχει γίνει εκτεταμένη χρήση προτυποποιημένων μηχανισμών της IETF για τη διαχείριση των διαφόρων πολιτικών ανάμεσα στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους.

Στην ενότητα που ακολουθεί αναλύουμε την QoS που διασφαλίζει το WiMAX σε επίπεδο MAC, αφού χάρη στην αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου επιπέδου οι ροές υπηρεσίας (Service Flows) μπορούν να απεικονιστούν στα σημεία κώδικα DiffServ (DSCP), γεγονός που επιτρέπει παροχή εγγυήσεων ως προς την ποιότητα υπηρεσίας σε IP επίπεδο από άκρο σε άκρο.

6.2 Εφαρμογές και κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας

Η καινοτομία του WiMAX έγκειται στο γεγονός ότι παρ' ότι πρόκειται για σύστημα ασύρματης δικτύωσης εντούτοις μπορεί να εγγυηθεί στους τελικούς του χρήστες συγκεκριμένα επίπεδα ως προς παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών.

Η ομάδα εργασίας εφαρμογών Applications Working Group (AWG) του WiMAX Forum έχει ορίσει 5 γενικές κατηγορίες εφαρμογών. Τα επικυρωμένα από το WiMAX Forum συστήματα WiMAX είναι σε θέση να υποστηρίζουν ταυτόχρονα εφαρμογές που ανήκουν και στις 5 αυτές κατηγορίες.



WiMAX Application Classes

- **Class1: Interactive gaming**: Low bit rate, real time, very bursty, asynchronous, asymmetric and interactive
- **Class2: Voice and video conferencing**: Low to moderate bit rate, real time, synchronous, symmetric and interactive
- **Class3: streaming media** : Low to high bit rate, non-real time/low jitter, synchronous, asymmetric and non-interactive
- **Class4: Instant Messaging, Web Browsing**, Low to moderate bit rate, asynchronous, asymmetric, moderate delay and interactive
- **Class5: File transfers, Media down load** : Low to high bit rate, low packet loss, low priority, non-real time, asynchronous, asymmetric

Copyright 2004 WiMAX Forum
 *WiMAX Forum™ and *WiMAX Forum CERTIFIED™ are

Σχήμα 23: Κλάσεις εφαρμογών του WiMAX

Στον επόμενο πίνακα αναφέρονται συγκεκριμένες εφαρμογές ανά κλάση εφαρμογών καθώς και ιδιαίτερες απαιτήσεις τους ως προς το εύρος ζώνης.

Table 2 WiMAX Service Classes			
Class Description	Real Time?	Application Type	Bandwidth
Interactive παιχνίδια	Ναι	Διαδραστικό παιχνίδι	50-85kbps
VoIP, τηλεδιάσκεψη	Ναι	VoIP	4-64kbps
		Video Phone	32-384kbps
Streaming Media	Ναι	Μουσική/ ομιλία	5-128kbps
		Video Clips	20-384kbps
		Ροή ταινιών	>2Mbps

		κινηματογράφου	
Τεχνολογία πληροφοριών	Όχι	Στιγμιαίο μήνυμα	<250 μηνύματα ψηφιολέξεων
		Web Browsing	>500kbps
		Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	>500kbps
Media Content Download	Όχι	Bulk Data,Download	>1Mbps

Πίνακας 7: Εφαρμογές ανά κλάση και απαιτούμενο εύρος ζώνης

Οι δύο επόμενοι πίνακες προσφέρουν άμεση εποπτεία της αντιστοιχίας των 5 κλάσεων εφαρμογών που έχουν οριστεί από το WiMAX Forum στις 5 κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) που έχουν οριστεί από την IEEE 802.16.

802.16 QoS Classes

Class	Description	Minimum rate	Maximum rate	Latency	Jitter	Priority
Unsolicited Grant Service	VOIP, E1; fixed-size packets on periodic basis		X	X	X	
Real-Time Polling Service	Streaming audio/video	X	X	X		X
Enhanced Real-Time Polling Service	VOIP with activity detection	X	X	X	X	X
Non-Real-Time Polling Service	FTP	X	X			X
Best-Effort	Data transfer, Web browsing, etc.		X			X

x = QOS specified. Source: Light Reading, 2006

Πίνακας 8: Αντιστοιχία κλάσεων εφαρμογών και κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας

Κατηγορία QoS	Υπηρεσίες	Χαρακτηριστικά QoS
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	Maximum Sustained Rate Maximum Latency Tolerance Jitter Tolerance
rtPS Real-Time Packet Service	Streaming Audio or 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	File Transfer Protocol (FTP)	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Traffic Priority
BE Best-Effort Service	Data Transfer, Web Browsing, etc.	Maximum Sustained Rate Traffic Priority

Πίνακας 9: Κλάσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που υποστηρίζονται στο 802.16e (Mobile WiMAX)

Στην προδιαγραφή IEEE 802.16-2004 ορίζονται 4 επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε σύνδεση μεταξύ σταθμού βάσης (Base Station,

BS) και σταθμού συνδρομητή (Subscriber Station, SS). Στην προδιαγραφή IEEE 802.16-2005 (:802.16e) ορίζεται και ένα 5ο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, το Enhanced real-time Polling Service (ErtPS).

Κάθε service flow (ροή δεδομένων ανάμεσα σε BS και SS) έχει τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας της service class στην οποία ανήκει. Η service class στην οποία ανήκει υποδηλώνεται με συγκεκριμένη τιμή στο πεδίο SFID των πακέτων μιας service flow.

Στο 802.16 παρέχονται οι ακόλουθες 5 κλάσεις υπηρεσιών :

1. Κλάση Υπηρεσιών Απαράκλητης Παραχώρησης (Unsolicited Grant Services, UGS)

Παρέχει υπηρεσίες με σταθερό ρυθμό μετάδοσης των bits (Constant Bit Rate, CBR), οι οποίες απαιτούν σταθερό χρονοπρογραμματισμό (scheduling) και εγγύηση ρυθμαπόδοσης (throughput), καθυστέρησης απόκρισης (latency) και μεταβλητότητας καθυστέρησης (jitter). Χρησιμοποιείται για real-time services κατ' αντιστοιχία των γραμμών T1 και E1. Παράδειγμα εφαρμογής που ανήκει σε αυτή την κλάση υπηρεσιών είναι το VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.

2. Κλάση Υπηρεσιών Πραγματικού Χρόνου (real-time Polling Services, rtPS)

Προσφέρει ένα μεταβλητό bit rate, αλλά με εγγυημένο ελάχιστο ρυθμό και μια εγγυημένη καθυστέρηση (latency). Παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real time services) όπως βιντεο-διάσκεψη (video conferencing). Το μήκος πακέτου των δεδομένων μπορεί να είναι μεταβλητό. Ο σταθμός βάσης εκτελεί περιόδευση, ρωτώντας το συνδρομητή σε σταθερά διαστήματα πόσο εύρος ζώνης χρειάζεται αυτή τη φορά. Ένα άλλο παράδειγμα είναι υπηρεσίες επιχειρηματικής πρόσβασης. Είναι αρκετά συνηθισμένο οι πάροχοι σταθερών ασύρματων δικτύων (WISPs) να εγγυώνται ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων επιπέδου γραμμής E1/T1 σύμφωνα με τα Service Level Agreements (SLAs). Ωστόσο, επιτρέπουν στους πελάτες να χρησιμοποιούν μεγαλύτερη χωρητικότητα εφόσον αυτή είναι διαθέσιμη στο δίκτυο. Αυτό θεωρείται μια επιτυχημένη στρατηγική των WISPs έναντι των ανταγωνιστικών παρόχων ενσύρματων δικτύων.

3. Κλάση Υπηρεσιών Μη Πραγματικού Χρόνου (non-real-time Polling Services, nrtPS)

Παρέχει μόνο εγγύηση για τη ρυθμαπόδοση (throughput) και γι' αυτό χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου, με μεταβλητό μήκος δεδομένων όπως για παράδειγμα το e-mail. Ο σταθμός βάσης «ρωτάει» το συνδρομητή ανά τακτά χρονικά διαστήματα για το

απαιτούμενο εύρος ζώνης. Ο σταθμός βάσης εκτελεί περιόδευση, ρωτώντας το συνδρομητή πόσο εύρος ζώνης χρειάζεται αυτή τη φορά, όχι όμως σε αυστηρά προδιαγεγραμμένα χρονικά διαστήματα. Αν ένας σταθμός βάσης δεν αποκριθεί στην περιόδευση k φορές στη σειρά, ο σταθμός βάσης τον προσθέτει σε μια ομάδα πολυδιανομής και σταματά να τον ρωτά «προσωπικά».

Αντίθετα, όταν η περιόδευση φτάσει στην ομάδα πολυδιανομής μπορεί να αποκριθεί οποιοσδήποτε από τους σταθμούς, ανταγωνιζόμενος για εξυπηρέτηση. Με αυτόν τον τρόπο οι σταθμοί που έχουν λίγη κίνηση δεν σπαταλούν πολύτιμες περιόδους.

4. Κλάση Υπηρεσιών Βέλτιστης Προσπάθειας (Best Effort Services, BE)

Όλοι οι συνδρομητές που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη κλάση υπηρεσίας ανταγωνίζονται για το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Υποστηρίζει υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου π.χ. web surfing.

5. Κλάση Υπηρεσιών Εμπλουτισμένου Πραγματικού Χρόνου (Enhanced realtime Polling Service, ErtPS)

Ορίζεται στο 802.16e, και θα χρησιμοποιηθεί για τις υπηρεσίες VoIP με μεταβλητά μεγέθη πακέτων σε αντιδιαστολή με την υπηρεσία VoIP με σταθερού μεγέθους πακέτα. Αυτού του είδους υπηρεσία VoIP θα χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου θα έχουμε καταστολή σιωπής (ή διαφορετικά ανίχνευση δραστηριότητας). Παράδειγμα: εφαρμογές όπως το Skype.

Συμπερασματικά, οι χρήστες κάτω από τον ίδιο σταθμό βάσης έχουν τη δυνατότητα να απολαμβάνουν διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας ανάλογα με τις ανάγκες τους.

Ως μια συγκεντρωτική αναφορά των κλάσεων υπηρεσιών στο IEEE802.16d, παραθέτουμε τον ακόλουθο πίνακα.

Τύπος Υπηρεσίας	Περιγραφή
Unsolicited Grant Service (UGS)	Το UGS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως T1/E1 και Voice over IP.
Real-Time Polling Service (rtPS)	Το rtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων με μεταβλητό μήκος που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως MPEG video.
Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)	Το nrtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων που επιδέχονται καθυστέρηση και αποτελούνται από πακέτα δεδομένων μεταβλητού μεγέθους για τα οποία απαιτείται ένας ελάχιστος ρυθμός δεδομένων, όπως FTP.
Best Effort (BE)	Η BE υπηρεσία σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων για τις οποίες δεν απαιτείται κανένα ελάχιστο επίπεδο υπηρεσίας και μπορούν να εξυπηρετηθούν σε μια βάση διαθέσιμου χώρου.

Πίνακας 10: Συγκετρωτική παρουσίαση κλάσεων υπηρεσιών στο IEEE802.16d

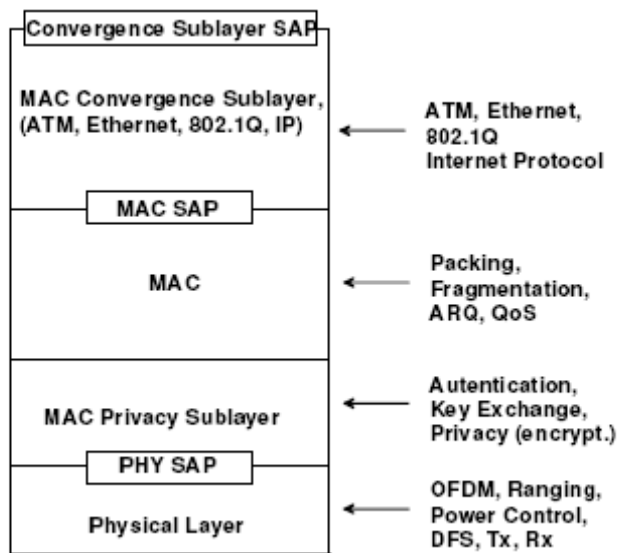
6.3 802.16 MAC

Η διασφάλιση συγκεκριμένης QoS ανά service flow υλοποιείται στο επίπεδο MAC των WiMAX δικτύων. Έτσι, αναλύουμε στη συνέχεια το επίπεδο αυτό.

Το στρώμα ζεύξης δεδομένων (layer 2, OSI) αποτελείται στο WiMAX από 3 υποεπίπεδα , τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

- MAC-Υποεπίπεδο Σύγκλισης (MAC - Convergence Sublayer, MAC-CS)
- MAC- Κοινό τμήμα του MAC (MAC - Common Part, MAC-CP)
- MAC- Υποεπίπεδο Ασφάλειας (MAC – Privacy Sublayer, MAC-PS)

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η διαστρωμάτωση του επιπέδου MAC καθώς και συγκεκριμένες λειτουργίες που επιτελούνται ανά υποεπίπεδο.



Σχήμα 24: Διαστρωμάτωση επιπέδου MAC

6.3.1 Υποεπίπεδα MAC

6.3.1.1 MAC-Υποεπίπεδο Σύγκλισης (MAC - Convergence Sublayer, MAC-CS)

Χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση μιας ενιαίας διεπαφής με το ανώτερο στρώμα δικτύου, ανεξάρτητα από την κλάση ποιότητας υπηρεσίας που χρησιμοποιείται από το κατώτερο υποεπίπεδο MAC. Με το συγκεκριμένο υποεπίπεδο του MAC γίνεται εφικτή η διασύνδεση του κοινού υποεπιπέδου MAC (MAC-CP) με το επίπεδο δικτύου. Έτσι, πακέτα των πρωτοκόλλων ATM, IPv4, IPv6, Ethernet καθώς και πακέτα για VLAN μπορούν να υποστηρίζονται στη μετάδοσή τους. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί το WiMAX να παρέχει όλες τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν τα παραπάνω πρωτόκολλα από άκρο σε άκρο. Η λειτουργία του MAC-CS είναι να κατηγοριοποιεί τα SDUs (Service Data Units) στην κατάλληλη σύνδεση MAC. Απεικονίζει τα υψηλότερου επιπέδου PDUs (Protocol Data Units) σε μορφή κατάλληλη για τις συνδέσεις MAC. Τα SDUs είναι μονάδες δεδομένων υπηρεσίας, οι οποίες ανταλλάσσονται μεταξύ δύο ομότιμων επιπέδων. Επιπρόσθετα, το MAC-CS μπορεί να κατακερματίζει, αλλά και να ανασυνθέτει τα πακέτα προκειμένου να αυξήσει την απόδοση του ραδιοδιαύλου.

Έτσι, οι μονάδες δεδομένων υπηρεσίας επιπέδου MAC είναι οι μονάδες δεδομένων του πρωτοκόλλου, για το οποίο διεπαφή αποτελεί το υποεπίπεδο σύγκλισης (MAC-CS).

6.3.1.2 MAC-Κοινό τμήμα του MAC (MAC-Common Part, MAC-CP)

Για το τμήμα αυτό του επιπέδου MAC αναφέρουμε τις λειτουργίες: Πολιτική εξασφάλισης QoS, Ranging, ARQ.

Πολιτική εξασφάλισης QoS

Το κοινό τμήμα του MAC (MAC - Common Part, MAC-CP) είναι υπεύθυνο για την παροχή QoS. Η πολιτική εξασφάλισης QoS έχει 3 συνιστώσες:

1. Τη δυναμική εγκατάσταση υπηρεσίας (Dynamic Service Establishment)
2. Το μοντέλο ενεργοποίησης σε 2 φάσεις.
3. Τον χρονοπρογραμματισμό των ροών υπηρεσίας (Service Flow QoS Scheduling)

Ranging

Μία άλλη λειτουργία του MAC-CPS είναι το ranging (ρύθμιση). Πρόκειται για τη διαδικασία απόκτησης συγχρονισμού με το SS καθώς και ρύθμισης διαφόρων παραμέτρων του φυσικού στρώματος, όπως του επιπέδου ισχύος του BS (Tx level), της συχνότητας λειτουργίας κλπ. έτσι ώστε ο BS να μπορεί να επικοινωνεί σωστά με τον SS. Παράλληλα, ο BS εκτελεί μετρήσεις ανάδρασης για τη γνώση της κατάστασης της ζεύξης με τον SS.

Υπάρχουν 2 τύποι ranging:

- Initial ranging (αρχική ρύθμιση): Πραγματοποιείται για νέο SS όταν πρόκειται να συνδεθεί με τον BS.
- Periodic ranging (περιοδική ρύθμιση): Καλείται και ρύθμιση συντήρησης. Συμβάλει στη διατήρηση ενός καλού επιπέδου της ραδιοζεύξης.

ARQ

Επίσης, στο υποεπίπεδο MAC-CP υλοποιείται το ARQ (Automatic Repeat reQuest). Πρόκειται για μηχανισμό ελέγχου της ροής σε μια σύνοδο.

6.3.1.3 MAC-Υποεπίπεδο Ασφάλειας (MAC – Privacy Sublayer, MAC-PS)

Υλοποιεί 2 πρωτόκολλα:

- Data Encryption Protocol
- Privacy Key Management (PKM) που βασίζεται στο μοντέλο client/server

Κρυπτογραφούνται μόνο τα ωφέλιμα φορτία των πλαισίων, όχι οι κεφαλίδες. Η ιδιότητα αυτή σημαίνει ότι υπάρχει περίπτωση κάποιος τρίτος να μπορέσει να δει τα άκρα μιας σύνδεσης, δηλαδή τον αποστολέα και τον παραλήπτη, αλλά δε μπορεί να γνωρίζει το περιεχόμενο της επικοινωνίας.

6.3.2 Service Flows - Ροές Υπηρεσίας

Ο όρος Ροή Υπηρεσίας (**Service Flow**) όπως χρησιμοποιείται στα WiMAX συστήματα είναι η μονόδρομη (UL ή DL) ροή πακέτων που εξυπηρετούν τη μεταφορά συγκεκριμένης εφαρμογής σε επίπεδο MAC και έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις QoS.

Το σύνολο παραμέτρων που περιγράφουν την προσδιδόμενη στη ροή ποιότητα υπηρεσίας είναι το εύρος ζώνης (bandwidth), η καθυστέρηση μεταφοράς (latency) και η διακύμανση καθυστέρησης (jitter). Μια ζεύξη επικοινωνίας ανάμεσα στον SS και στον BS μπορεί να εμπεριέχει αρκετές ροές υπηρεσιών π.χ. μια ροή υπηρεσίας πραγματικού χρόνου για video και μια ροή υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας για Web browsing. Διευκρινίζεται ότι για τη μεταφορά μιας εφαρμογής ανάμεσα στους SS και BS οι κινήσεις UL και DL συνιστούν διαφορετικές ροές υπηρεσίας αφού έχουν διαφορετικές προελεύσεις και προορισμούς. Όλες οι ροές υπηρεσιών έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό SFID (Service Flow ID) των 32 bit.

Ορίζονται 3 τύποι ροών υπηρεσίας:

- Οι Provisioned (προδιατιθέμενες) ροές υπηρεσίας
- Admitted (επιτρεπόμενες) ροές υπηρεσίας
- Active (ενεργές) ροές υπηρεσίας

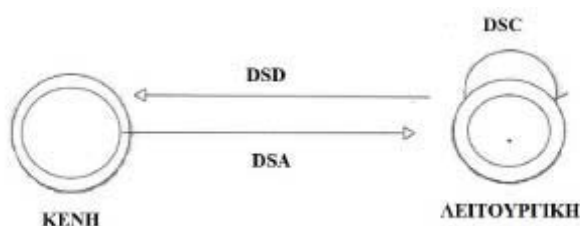
Πριν ακολουθήσει η ανάλυση των 3 τύπων αναφέρουμε ότι στην περίπτωση των admitted (επιτρεπόμενων) και των active (ενεργών) ροών υπηρεσίας εκτός από το SFID διατίθεται και το αναγνωριστικό της σύνδεσης CID (Connection ID) των 16 bit.

6.3.2.1 Provisioned service flow

Οι ροές υπηρεσίας που χαρακτηρίζεται ως provisioned (προδιατιθέμενες) χρησιμοποιούνται από το σύστημα διαχείρισης δικτύου. Ο BS ενώ εκχωρεί σε αυτές ένα SFID δεν δεσμεύει πόρους για αυτές. Οι συγκεκριμένες ροές δε σχετίζονται με πακέτα δεδομένων. Πρόκειται για ροές υπηρεσίας στις οποίες μεταφέρονται διαχειριστικά μηνύματα για τις ίδιες. Οι ροές μπορούν να δημιουργηθούν, να τροποποιηθούν ή να διαγραφούν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας σειράς μηνυμάτων διαχείρισης MAC τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια ενώ η μεταφορά τους αποτελεί μια provisioned ροή υπηρεσίας.

Είδος Μηνύματος	Περιγραφή
Dynamic Service Change (DSC)	Τροποποιεί υπάρχουσα ροή υπηρεσίας.
Dynamic Service Delete (DSD)	Διαγράφει υπάρχουσες ροές υπηρεσιών.
Dynamic Service Activate (DSA)	Ενεργοποιεί μια ροή υπηρεσίας.

Ο SS μπορεί να χρησιμοποιήσει DSC μήνυμα για να μετατρέψει την provisioned ροή υπηρεσίας σε admitted ή active ροή υπηρεσίας. Παρόμοια ο BS μπορεί να στείλει DSC μήνυμα στο SS για να μετατρέψει την provisioned ροή υπηρεσίας σε admitted ή active. Για το σκοπό αυτό (μετατροπή της ροής) ο BS απεικονίζει το SFID στο CID και το στέλνει στον SS με ένα DSC-REQ μήνυμα εάν το DSC μήνυμα στάλθηκε από τον ίδιο τον BS. Εάν το DSC μήνυμα ξεκίνησε από το SS τότε ο BS στέλνει ένα DSC-RSP στο SS. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η κενή κατάσταση υπονοεί πως δεν υπάρχει καμιά ροή υπηρεσίας της οποίας το SFID να ταιριάζει στο μήνυμα. Μόλις υπάρξει η ροή υπηρεσίας, γίνεται λειτουργική (της έχει ανατεθεί ένα SFID).



Σχήμα 25: Δυναμική ροή υπηρεσίας

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των επόμενων τύπων ροών υπηρεσίας παρουσιάζουμε σύνολα παραμέτρων QoS που αναφέρονται στους τύπους ροών.

- **ProvisionedQoSParamSet:** σύνολο παραμέτρων QoS που χρησιμοποιείται από το σύστημα διαχείρισης δικτύου.
- **AdmittedQoSParamSet:** σύνολο παραμέτρων QoS που αναφέρεται στους πόρους που δεσμεύονται σε μια admitted ροή.
- **ActiveQoSParamSet:** σύνολο παραμέτρων QoS που αναφέρεται στους πόρους που χρησιμοποιεί μια active ροή.

Κλείνοντας την περιγραφή των Provisioned ροών υπηρεσίας αναφέρουμε ότι τα admittedQoSParamSet και ActiveQoSParamSet που διαθέτουν οι ροές αυτές είναι κενά (null).

6.3.2.2 Admitted service flow

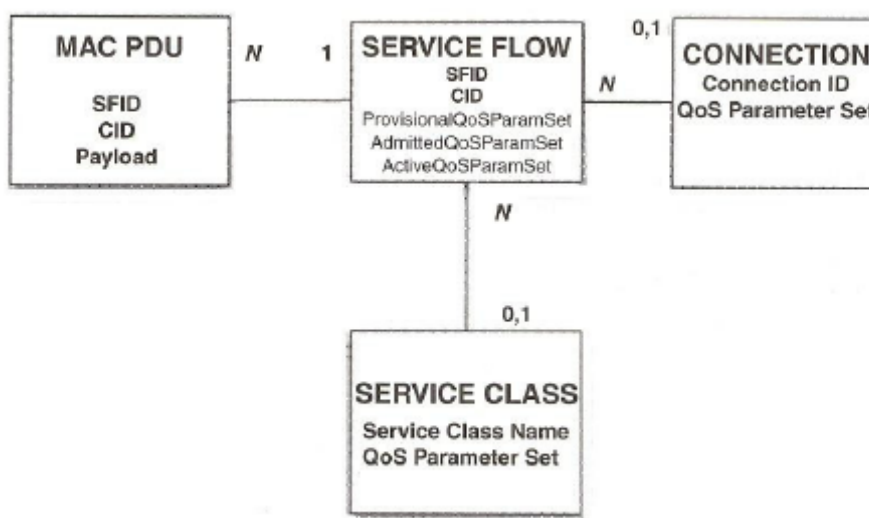
Οι Admitted (επιτρεπόμενες) ροές υπηρεσίας είναι ροές για τις οποίες δεσμεύονται πόροι από τον BS ή τον SS ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις QoS που τίθενται στο AdmittedQoSParamSet. Μέχρι οι απαιτήσεις του ActiveQoSParamSet να ταυτιστούν με του AdmittedQoSParamSet οι πόροι ενώ είναι δεσμευμένοι δε χρησιμοποιούνται (δηλαδή οι παράμετροι QoS του AdmittedQoSParamSet είναι μη ενεργές). Το ActiveQoSParamSet των ροών αυτών είναι κενό (null).

6.3.2.3 Active service flow

Οι Active (ενεργές) ροές υπηρεσίας είναι ροές που έχουν ήδη δεσμευμένους τους πόρους που χρειάζονται και τους χρησιμοποιούν μεταφέροντας πακέτα δεδομένων. Οι συγκεκριμένοι πόροι αποτυπώνονται στο ActiveQoSParamSet, το οποίο δεν είναι πλέον κενό (null).

6.3.2.4 Το Μοντέλο Αντικειμένων

Τα κύρια αντικείμενα της αρχιτεκτονικής MAC παριστάνονται με ονοματισμένα τετράγωνα όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα. Κάθε αντικείμενο έχει έναν αριθμό ιδιοτήτων. Η σχέση μεταξύ των αριθμών αντικειμένων αναγράφεται κάθε φορά στο τέλος της γραμμής συσχέτισης μεταξύ τους. Για παράδειγμα, μια ροή υπηρεσίας μπορεί να σχετίζεται με 0 μέχρι N PDUs, αλλά μια PDU σχετίζεται με ακριβώς μία ροή υπηρεσίας. Η ροή υπηρεσίας είναι η κεντρική έννοια του πρωτοκόλλου MAC.

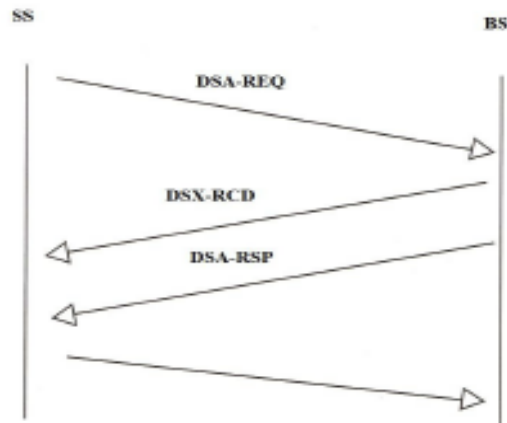


Σχήμα 26: Θεωρία λειτουργίας του μοντέλου αντικειμένου

Ροές υπηρεσιών μπορούν να ξεκινήσουν και ο BS και ο SS:

Δημιουργία Ροής Υπηρεσίας από SS.

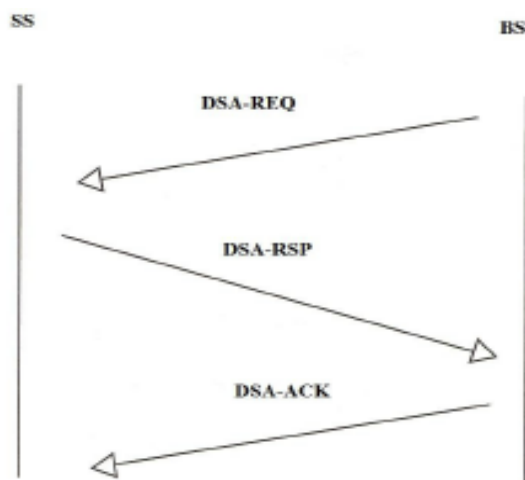
Ένα DSA-REQ από έναν SS (βλ. Σχήμα 27) περιέχει μια αναφορά ροής υπηρεσίας και το επιθυμητό σύνολο παραμέτρων QoS. Ο BS αποκρίνεται με ένα DSA-RSP υποδηλώνοντας αποδοχή ή άρνηση.



Σχήμα 27: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο SS

Δημιουργία Δυναμικής Ροής Υπηρεσίας από τον BS.

Ένα DSA-REQ από τον BS (βλ. Σχήμα 28) περιέχει ένα SFID, το συσχετιζόμενο CID τους και ένα σύνολο active ή admitted παραμέτρων QoS. Ο SS αποκρίνεται με DSA-RSP υποδηλώνοντας αποδοχή ή άρνηση.



Σχήμα 28: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο BS

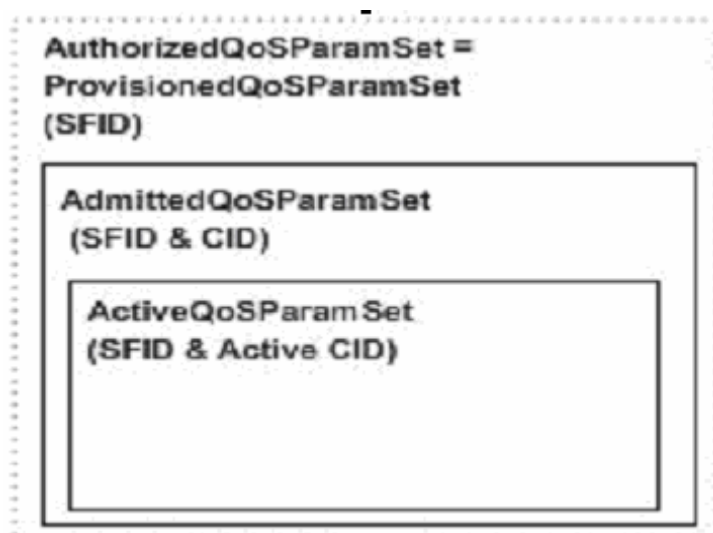
6.3.3 Εξουσιοδότηση

Στους BSs υπάρχει η μονάδα εξουσιοδότησης (Authorization Module) που είναι υπεύθυνη για την έγκριση ή μη κάθε αλλαγής στις παραμέτρους QoS της ροής υπηρεσίας. Πριν την αρχικοποίηση της σύνδεσης, ο BS ανακτά το σύνολο των παραμέτρων QoS (ProvisionedQoSParamSet) για έναν SS, το οποίο παραδίδεται στο Authorization Module.

Το Authorization Module χρησιμοποιεί 2 μοντέλα εξουσιοδότησης QoS, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια.

6.3.3.1 Provisioned (Static) Authorization

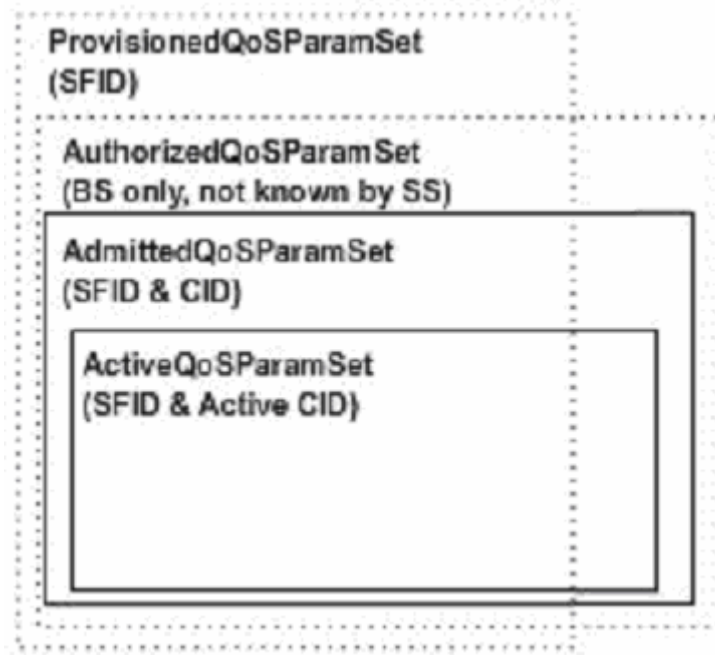
Στο μοντέλο προδιατιθέμενης (στατικής) εξουσιοδότησης ο BS έχει στη διάθεσή του όλα τα σύνολα παραμέτρων ProvisionedQoSParamSet των ροών υπηρεσίας. Αιτήσεις αποδοχής και ενεργοποίησης για τις provisioned ροές υπηρεσιών επιτρέπονται για όσο διάστημα το σύνολο παραμέτρων Admitted QoS είναι υποσύνολο του συνόλου παραμέτρων Provisioned QoS, και το σύνολο παραμέτρων Active QoS είναι υποσύνολο του συνόλου παραμέτρων Admitted QoS. Αιτήσεις αλλαγής του συνόλου παραμέτρων Provisioned QoS απορρίπτονται. Η στατική εξουσιοδότηση ορίζει ένα στατικό σύστημα όπου όλες οι πιθανές υπηρεσίες ορίζονται στην αρχική ρύθμιση του κάθε SS. Ο SS δεν επιτρέπεται να δημιουργήσει provisioned ροή υπηρεσίας. Ο BS στέλνει στον SS μήνυμα DSA-REQ και ο SS απαντά με ένα μήνυμα DSA-RSP αφού αποδεχτεί την αίτηση και τότε ο BS στέλνει ένα DSA-ACK. Το ακόλουθο σχήμα συνοψίζει τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου.



Σχήμα 29: Προδιατιθέμενο μοντέλο εξουσιοδότησης

6.3.3.2 Dynamic Authorization

Στο μοντέλο δυναμικής εξουσιοδότησης, η μονάδα εξουσιοδότησης (authorization module) επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή πολιτικής (policy server), ο οποίος την πληροφορεί σχετικά με τις λαμβανόμενες αιτήσεις αποδοχής (admission) και ενεργοποίησης (activation) που έστειλε ο SS. Ο policy server στέλνει σύνολο παραμέτρων στο authorization module για τις ερχόμενες αιτήσεις και γι' αυτό το λόγο το σύνολο παραμέτρων που στάλθηκε από το SS θα πρέπει πάντοτε να είναι υποσύνολο του συνόλου παραμέτρων που στέλνονται από τον policy server. Αν ο policy server δεν έχει στείλει πληροφορίες σχετικά με κάποια αίτηση, τότε η αποδοχή ή απόρριψη της αίτησης επαφίεται στο authorization module. Το ακόλουθο σχήμα συνοψίζει τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου.



Σχήμα 30: Δυναμικό μοντέλο αυθεντικοποίησης

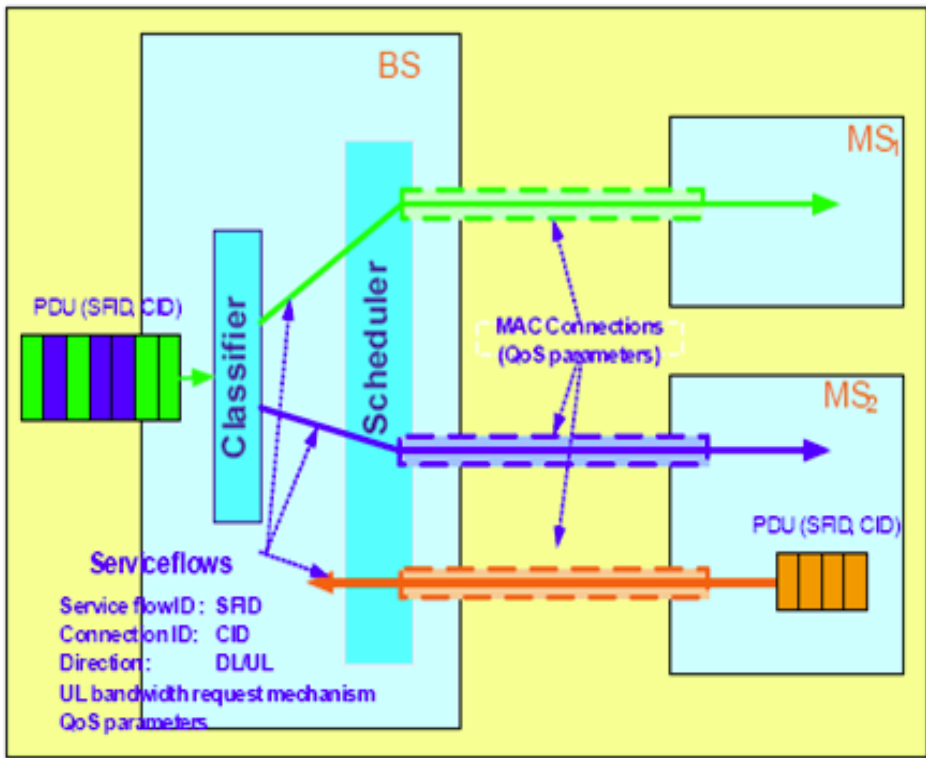
6.3.4 Ποιότητα υπηρεσιών στο 802.16e (mobile WiMAX)

Εκτός από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως σχετικά με την παρεχόμενη QoS, στη mobile έκδοση του WiMAX η υπηρεσία προγραμματισμού στο επίπεδο MAC είναι σχεδιασμένη για να προσφέρει αποτελεσματικά ευρυζωνικές υπηρεσίες πάνω σε χρονικά μεταβαλλόμενο ασύρματο δίαυλο. Ο προγραμματιστής MAC κατανέμει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους ώστε να ανταποκρίνεται στην εκρηκτική κίνηση των δεδομένων και στις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες του διαύλου.

Βρίσκεται σε κάθε σταθμό βάσης για να δρα άμεσα στις απαιτήσεις της κίνησης κάθε διαύλου. Τα πακέτα δεδομένων ανατίθενται σε υπηρεσίες ροής με σαφώς καθορισμένες παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών στο στρώμα MAC, έτσι ώστε ο προγραμματιστής να καθορίζει σωστά τη σειρά μετάδοσης των πακέτων στη διεπαφή αέρα (air interface).

Το **CQICH (Channel Quality Indicator sub-Channel)** παρέχει γρήγορα πληροφορίες για την κατάσταση του διαύλου έτσι ώστε ο προγραμματιστής να επιλέγει κάθε φορά την κατάλληλη διαμόρφωση-κωδικοποίηση. Η προσαρμοστική διαμόρφωση- κωδικοποίηση σε συνδυασμό με την **HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest**, η υβριδική αίτηση αυτόματης επανάληψης) παρέχουν τη δυνατότητα για ανθεκτική μετάδοση πάνω στο μεταβαλλόμενο δίαυλο.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η λειτουργία του BS σε επίπεδο MAC σχετικά με τις ροές υπηρεσίας (service flows) στο mobile WiMAX.



Σχήμα31: Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στο Mobile WiMAX

6.4 QoS και Bandwidth Requests

Το IEEE 802.16 υποστηρίζει τέσσερα επίπεδα υπηρεσιών και από την έκδοση e πέντε, με στόχο να εξυπηρετήσει καλύτερα τον απαιτητικό χρήστη που αποζητά εγγυήσεις μετάδοσης των δεδομένων του. Οι πέντε διαφορετικές κλάσεις διαφοροποιούνται από διάφορες

παραμέτρους όπως είναι ο ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης, η καθυστέρηση και η διακύμανση της καθυστέρησης (jitter).

• **Unsolicited Grant Service (UGS):**

Δεδομένα πραγματικού χρόνου και σταθερού μεγέθους αποστέλλονται σε περιοδικά διαστήματα. Σε αυτή την υπηρεσία έχουν καθοριστεί ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης και αφού πρόκειται για δεδομένα ευαίσθητα ως προς τον χρόνο, η καθυστέρηση και το jitter. Είναι κατάλληλη για εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως στις γραμμές T1 και E1, αλλά και για εφαρμογές VoIP με σταθερό μέγεθος πακέτου.

• **Real-Time Polling Service (rtPS):**

Χρησιμοποιείται για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου όπως streaming video. Προσφέρει μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης, αλλά με εγγυημένο ελάχιστο και μέγιστο ρυθμό. Αφού είναι υπηρεσία πραγματικού χρόνου, υπάρχουν εγγυήσεις και για τη μέγιστη end-to-end καθυστέρηση. Αντιθέτως, δεν υπάρχουν εγγυήσεις για το jitter. Είναι επίσης κατάλληλη και για πρόσβαση επιχείρησης μιας που εγγυάται το ρυθμό μετάδοσης, και επειδή το μέγεθος πακέτων μπορεί να είναι μεταβλητό, επιτρέπει στους χρήστες να εκμεταλλεύονται επιπλέον bandwidth περιστασιακά αν αυτό είναι διαθέσιμο.

• **Enhanced Real-Time Polling Service (ertPS):**

Είναι ένας συνδυασμός των UGS και rtPS υπό την έννοια ότι περιοδικά αποστέλλονται πακέτα, αλλά με μεταβλητό μέγεθος. Έτσι λόγω της περιοδικότητας, το ertPS παρέχει τις ίδιες εγγυήσεις με το rtPS με τη διαφορά ότι προσφέρει και εγγύηση για το jitter. Η υπηρεσία αυτή έχει δημιουργηθεί από την έκδοση e του IEEE 802.16 και είναι κατάλληλη κυρίως για υπηρεσίες VoIP.

• **Non Real-Time Polling Service (nrtPS):**

Στην υπηρεσία αυτή προσφέρεται εγγύηση μόνο για το ρυθμό μετάδοσης, αφού τα δεδομένα δεν είναι πραγματικού χρόνου και έτσι είναι ανθεκτικά στην καθυστέρηση. Μία από τις πιθανές εφαρμογές είναι το FTP με εγγύηση ταχύτητας κατεβάσματος.

• **Best Effort (BE):**

Καμιά εγγύηση δεν προσφέρεται. Ο χρήστης αυτής της υπηρεσίας χρησιμοποιεί το διαθέσιμο bandwidth από τις προηγούμενες. Είναι κατάλληλη για εφαρμογές που δεν είναι κρίσιμες στο χρόνο όπως email, web browsing και FTP.

Ο τρόπος που διαχειρίζεται το πρότυπο τις παραπάνω κλάσεις δεν είναι καλώς ορισμένος. Το επίπεδο σύγκλισης του IEEE 802.16 MAC μέσω της διεπαφής του με το επίπεδο δικτύου λαμβάνει δεδομένα, τα οποία τα αντιστοιχίζει σε συνδέσεις. Στη συνέχεια το CPS, κατατάσσει τα δεδομένα σε ουρές σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους, σε κατάλληλο

επίπεδο υπηρεσίας και έτσι δημιουργούνται διαφορετικές προτεραιότητες για την αποστολή. Με ποια χρονική σειρά θα γίνει η αποστολή εξαρτάται από τον scheduler του BS και του SS. Το IEEE 802.16 δεν έχει προτείνει υλοποίηση για τον scheduler, έτσι ώστε κάθε κατασκευαστής να είναι σε θέση να υλοποιήσει το δικό του και έτσι να μπορεί να διαφοροποιηθεί από τους ανταγωνιστές του. Η υλοποίηση του scheduler είναι μια πολύ σοβαρή εργασία αφού από αυτή εξαρτάται κατά πολύ η απόδοση της παρεχόμενης υπηρεσίας.

Scheduling Services

Ανάλογα ποια υπηρεσία έχει επιλέξει ο χρήστης έχει και τις αντίστοιχες δυνατότητες για να απαιτήσει επιπλέον bandwidth. Στην περίπτωση του UGS, ο SS έχει τη δυνατότητα να ενημερώσει τον BS για ενδεχόμενη συμφόρηση, χρησιμοποιώντας τη τεχνική roll-me bit. Η σημαία επιτρέπει στον SS να ενημερώσει τον BS, μέσω του uplink, ότι έχει δημιουργηθεί συμφόρηση.

Στην περίπτωση του rtPS και ertPS λόγω του ότι αφορούν δεδομένα ευαίσθητα στο χρόνο, δίνεται η δυνατότητα στον SS σε περιστασιακές τυχαίες στιγμές να ζητήσουν επιπλέον bandwidth. Αντιθέτως στη nrPS, ο SS μπορεί να ζητήσει επιχορήγηση μόνο στην αρχή ενός φυσικού frame, σε slots τυχαίας πρόσβασης.

Τέλος, στην περίπτωση του BE, ο SS μπορεί να ζητήσει επιπλέον bandwidth οποιαδήποτε στιγμή.

Bandwidth Requests

Το IEEE 802.16 διαθέτει δύο κλάσεις SS ανάλογα με τη δυνατότητα που έχουν να δέχονται και να χειρίζονται αιτήσεις για bandwidth για μια σύνδεση ή για ολόκληρο το SS (GPC, GPSS αντίστοιχα). Οι δύο κλάσεις έχουν επιτραπεί έτσι ώστε να δίνουν επιπλέον δυνατότητες στον κατασκευαστή σε σχέση με την απόδοση. Και στις δύο κλάσεις μια σύνδεση μπορεί να ζητήσει bandwidth και το αίτημα αυτό με τη σειρά του να διαβιβαστεί από το SS στο BS μέσω του uplink. Στην περίπτωση του GPC, το bandwidth επιχορηγείται σε σύνδεση αποκλειστικά η οποία το έχει ζητήσει. Αντιθέτως, στη κλάση GPSS το bandwidth επιχορηγείται συνολικά στο SS.

Το GPSS SS χειρίζεται με έξυπνο και αποδοτικό τρόπο το QoS. Είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί το bandwidth σε σύνδεση η οποία δε το ζήτησε ή και ακόμα, παρότι μια σύνδεση ζήτησε επιχορήγηση σε bandwidth, ο SS να μη διαβιβάσει αυτό το αίτημα προς το BS. Για παράδειγμα, αν η κατάσταση του QoS έχει αλλάξει από τη στιγμή του αιτήματος, ο SS μπορεί να αποστείλει δεδομένα μιας σύνδεσης με μεγαλύτερο ρυθμό, αν στο παρελθόν

έχει υποκλέψει από αυτή πόρους. Επίσης, παρότι μία σύνδεση μπορεί να ζητήσει επιχορήγηση bandwidth, δεν είναι αναγκαίο ο SS να διαβιβάσει το αίτημα στον BS, εάν γνωρίζει ότι την επόμενη χρονική στιγμή μια σύνδεση σταματά τη δραστηριότητά της και έτσι απελευθερώνονται πόροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύνδεση που έχει ανάγκη. Έτσι οι δύο κλάσεις SS, αμφιταλαντεύονται μεταξύ αποδοτικότητας στην περίπτωση ενός GPSS SS μιας και διαχειρίζονται καλύτερα τους πόρους τους στο εσωτερικό και μεταξύ απλότητας όπως είναι στην περίπτωση ενός GPS SS.

Ανεξάρτητα από ποια κλάση SS μελετούμε, ο μηχανισμός αίτησης για επιχορήγηση bandwidth είναι αρκετά ευέλικτος αφού λαμβάνει υπόψη ότι το μέσο επικοινωνίας είναι ασύρματο. Έτσι δεν αποστέλλει συνεχώς το αίτημά του μέχρι να γίνει αποδεκτό. Αυτός ο μηχανισμός δικαιολογείται και από το γεγονός ότι το IEEE 802.16 MAC χρησιμοποιεί ένα αυτοδιορθώμενο (self-correcting) πρωτόκολλο, παρά ένα πρωτόκολλο με χρήση επιβεβαιώσεων (acknowledged protocol). Όταν ένας SS ζητήσει bandwidth από τον BS, υπάρχουν μια πληθώρα λόγων για τους οποίους το αίτημά του δεν έχει ικανοποιηθεί. Πράγματι, είναι πιθανό ο BS να μην έλαβε το αίτημα από λάθη στο φυσικό επίπεδο, επίσης πιθανό είναι ο SS να μην έλαβε τη θετική απάντηση από λάθη, ακόμα και επίσης το αίτημα να μην ικανοποιήθηκε επειδή ο BS δεν έχει αρκετό bandwidth. Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις λαμβάνονται ως μία. Επομένως, ο SS δεν επαναλαμβάνει το αίτημά του μέχρι να λάβει επιβεβαίωση. Αντιθέτως, συνεχίζει τη λειτουργία του και επαναλαμβάνει το αίτημά του αργότερα.

Συνολικά υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι αίτησης για bandwidth:

- **Poll-me bit:** παρουσιάζεται στη grant management επικεφαλίδα σε μια UGS σύνδεση και δηλώνει στον BS ότι υπάρχει συμφόρηση. Σε συνδέσεις διαφορετικές από UGS, δηλώνει αίτημα για ευκαιρία αίτησης bandwidth.
- **Bandwidth Request Message:** χρησιμοποιεί την επικεφαλίδα bandwidth request για τη δήλωση του αιτήματος. Στέλνεται είτε στο uplink που έχει δεσμευτεί για το SS, είτε σε ένα από τα slots για bandwidth requests. Έχει τη δυνατότητα να ζητήσει έως και 32KB ανά μήνυμα. Επιπλέον, μπορεί να είναι είτε αυξητικής έννοιας είτε συνολικά, όπως αυτό ορίζεται από την επικεφαλίδα.
- **Piggybacked Request (non-UGS):** παρουσιάζεται στην επικεφαλίδα grand management στα δεδομένα PDU της ίδιας της σύνδεσης. Υπάρχει η δυνατότητα αιτήματος μέχρι 32KB και είναι πάντοτε αυξητική.

Συμπεράσματα.

Όπως γίνεται αντιληπτό το πλέον σημαντικό χαρακτηριστικό του 802.16 είναι η υποστήριξη που παρέχει για Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of service, QoS). Ενώ ο προκάτοχός του 802.11 επιτρέπει απλά και μόνον συνδέσεις καλύτερων επιδόσεων (Best Effort), το 802.16 έχει πρόβλεψη για τουλάχιστον τέσσερις τάξεις υπηρεσιών:

Η υπηρεσία Unsolicited Grant Service (UGS) είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει ροή δεδομένων πραγματικού χρόνου, αποτελούμενων από πακέτα σταθερού μεγέθους που εκπέμπονται σε περιοδικά διαστήματα, όπως για παράδειγμα τα T1/E1, ATM, CBR και Voice over IP χωρίς καταστολή σιγής.

Η υπηρεσία Real-time Polling Service (rtPS) είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει ροή δεδομένων πραγματικού χρόνου, αποτελούμενων από πακέτα μεταβλητού μεγέθους που εκπέμπονται σε περιοδικά διαστήματα, όπως είναι για παράδειγμα η εικόνα συμπιεσμένη κατά MPEG.

Η υπηρεσία Non-Real-time Polling Service (nrtPS) είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει ροή δεδομένων που ανέχονται κάποια καθυστέρηση, αποτελούμενων από πακέτα δεδομένων μεταβλητού μεγέθους για τα οποία απλά απαιτείται ένας ελάχιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων, με παράδειγμα το FTP.

Η υπηρεσία Best effort (BE) είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει ροή δεδομένων για τα οποία δεν απαιτείται κάποια ελάχιστη στάθμη υπηρεσιών, οπότε είναι δυνατόν να διεκπεραιωθούν με βάση την υπάρχουσα ελευθερία χώρου.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω υπηρεσίες αντιστοιχεί και ένα σύνολο παραμέτρων QoS, οι οποίες περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα .

Πέρα από αυτές τις παραμέτρους το πρότυπο επιτρέπει στον κάθε προμηθευτή να διαφοροποιείται αφήνοντας μια παράμετρο QoS ελεύθερη προς καθορισμό.

Όλες οι παράμετροι QoS καθορίζονται από την πλευρά του χρήστη, οπότε δεν εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες των επιπέδων 802.16 MAC ή PHY.

Κατά την δική του υλοποίηση, ο προμηθευτής δικτύου είναι ελεύθερος να επιλέξει τους δικούς του αλγόριθμους σχετικά με τον καταμερισμό μεταφοράς δεδομένων και χωρητικότητας, με σκοπό να υλοποιήσει με τον δικό του τρόπο τις προβλέψεις (ή ένα υποσύνολο αυτών) σχετικά με το QoS.

Υποστήριξη QoS στο 802.16				
Παράμετροι:	UGS	nrtPS	rtPS	BE
Προτεραιότητα		x		x
Μέγιστος υποστηριζόμενος ρυθμός κυκλοφορίας	x	x	x	x
Ελάχιστος δεσμευμένος ρυθμός κυκλοφορίας		x	x	
Ανοχή στο jitter	x			
Μέγιστη καθυστέρηση	x		x	
Στρατηγική Αίτησης/Μεταφοράς	x	x	x	x

Γενικεύοντας μπορεί να ειπωθεί ότι το πρότυπο 802.16 έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort.

Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο Base Station, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort.

Εφαρμογές στην Ελλάδα

Μια τεχνολογία όπως η WiMAX, η οποία διαθέτει τόσα πλεονεκτήματα και έχει απασχολήσει τόσο κόσμο, δεν θα μπορούσε να μην εφαρμοστεί άμεσα και ειδικά στη Ελλάδα. Στην Ελλάδα λόγω του γεωγραφικού της ανάγλυφου και της σχεδόν ανύπαρκτης έως πρότινος, υλικοτεχνικής υποδομής της.

Άγιο Όρος

Μια ιδιαίτερα σημαντική εφαρμογή του WiMAX ήταν η εγκατάστασή του στο Άγιο Όρος και αυτό γιατί ήταν ανέφικτη με τα άλλα μέσα λόγω του γεωγραφικού ανάγλυφου, της ιερότητας του χώρου, της ανύπαρκτης υποδομής και της έλλειψης εγκατεστημένου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η εφαρμογή αυτή ήταν πιλοτική για την Ελλάδα και επιτυχής. Το πιλοτικό αυτό δίκτυο παρέχει υπηρεσίες ευρυζωνικότητας και IP τηλεφωνίας (VoIP) και εγκαταστάθηκε από τον ΟΤΕ.

Στο Άγιο Όρος εγκαταστάθηκαν συνολικά έξι σταθμοί βάσης με την εμβέλεια του δικτύου να φτάνει τα 50 km, καλύπτοντας την πλειοψηφία των Μονών και Σκητών, σε σχεδόν όλη την έκταση της Χερσονήσου του Άθως. Το δίκτυο WiMAX που έχει υλοποιηθεί έχει τη δυνατότητα μετάδοσης έως και 60Mbps (αμφίδρομα). Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν στη φασματική ζώνη των 3,5 GHz που έχει απονεμηθεί στον ΟΤΕ από την ΕΕΤΤ. Τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν πληρούν τις προδιαγραφές του προτύπου IEEE 802.16 και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι πιστοποιημένος από το WiMAX Forum.

Στην αρχική φάση λειτουργίας, που βρίσκεται σε εξέλιξη, έχουν ήδη συνδεθεί οι πρώτοι χρήστες από το Άγιο Όρος, τη Νήσο Αμμουλιανή και την περιοχή της Ιερισσού. Επίσης, χρήστες στις Καρυές απολαμβάνουν υπηρεσίες ADSL μέσω του διασυνδεδεμένου στο WiMAX ειδικού εξοπλισμού (DSLAM).

Η λειτουργία του δικτύου WiMAX στο Άγιο Όρος εξασφαλίζεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ηλιακής και αιολικής, που συνδυάζονται με καινοτόμες ενεργειακές διατάξεις. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί βάσης του δικτύου λειτουργούν με φωτοβολταϊκά συστήματα σε συνδυασμό και με μικρές ανεμογεννήτριες, προσφέροντας την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του δικτύου χωρίς να επιβαρύνεται το περιβάλλον.

Τα μέχρι στιγμής συμπεράσματα από τη λειτουργία του δικτύου WiMAX στο Άγιο Όρος είναι ενθαρρυντικά, αφού το σύστημα έχει λειτουργήσει απρόσκοπτα ακόμα και σε εξαιρετικά δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών (UAA)

Μια άλλη εξίσου σημαντική εφαρμογή στην Ελλάδα ήταν ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών. Η εφαρμογή αυτή είναι αξιοσημείωτη λόγω των απαιτήσεων σε ποιότητα των υπηρεσιών και το μεγάλο αριθμό ιδιωτικών και εταιρικών χρηστών σε περιορισμένο χώρο. Ο ΔΑΑ αξιοποιώντας τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των επικοινωνιών και των ευρυζωνικών εφαρμογών, για πρώτη φορά στο διεθνή χώρο αεροδρομίου, ανέπτυξε σύνθετες υπηρεσίες Triple Play (ενιαίο δίκτυο δεδομένων, φωνής και τηλεοπτικού σήματος) μέσω του WiMAX.

Ο ΔΑΑ, ως αδειοδοτημένος χρήστης από την ΕΕΤΤ για την περιοχή Σπάτα - Κορωπί, ανέπτυξε εφαρμογές σε τρεις τεχνολογικές ενότητες, ανάλογα με τη χρήση τους αξιοποιώντας την τεχνολογία WiMAX. Αναφορικά οι εφαρμογές αυτές είναι για :

- ιδιωτική χρήση: ταυτόχρονη μεταφορά τηλεοπτικού σήματος υψηλής ευκρίνειας, φωνής και δεδομένων, με ευκολία διαχείρισης και σύνδεσης και εξαιρετική ταχύτητα μετάδοσης (14 Mbps)
- εταιρική χρήση: προσφορά σε εταιρείες, υπηρεσίες όπως υπηρεσίες βάσεων δεδομένων (Data Centre Services), τηλεδιασκέψεων (Video-Conference) και παροχή εφαρμογών εξ αποστάσεως (ASP)
- παροχή κομβικής υποδομής - WiMAX Hub: παρέχει κομβική υποδομή σε άλλους παρόχους WiMAX ή WLAN, για την εξυπηρέτηση των συνδρομητών τους.

Επίλογος

Η υποστήριξη Ποιότητας Υπηρεσίας (*Quality of Service- QoS*) είναι βασική απαίτηση σε προηγμένα δίκτυα μεταγωγής πακέτων IP. Η λειτουργία σύγχρονων δικτυακών εφαρμογών, όπως εφαρμογές μεταφοράς πολυμεσικού (*multimedia*) υλικού ή εικονικής συνεργασίας (*virtual collaboration*), απαιτούν την παροχή εγγυήσεων κατά τη μεταφορά της κίνησης για συνδέσεις που διασχίζουν *πολλαπλές ανεξάρτητες διαχειριστικές περιοχές*. Παρόλη την προσπάθεια της ερευνητικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια, οι υπάρχουσες αρχιτεκτονικές παροχής QoS που έχουν προταθεί κατά καιρούς αποδεικνύονται ανεπαρκείς να ικανοποιήσουν τις παραπάνω ανάγκες. Πολλές από τις προτεινόμενες μεθόδους για την εγκατάσταση νέων συνδέσεων είτε αποτυγχάνουν να παρέχουν εγγυήσεις κατά τη μεταφορά των πακέτων IP είτε δεν κλιμακώνονται αποδοτικά σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων.

Η αρχιτεκτονική Ενοποιημένων Υπηρεσιών (*Integrated Services - IntServ*) βασίζεται στη χρήση σηματοδοσίας για τη δέσμευση δικτυακών πόρων και τη διατήρηση πληροφοριών κατάστασης στους δρομολογητές κορμού για τις εγκατεστημένες ροές. Παρόλο που η αρχιτεκτονική *IntServ* κατορθώνει να παρέχει εγγυήσεις κατά τη μεταφορά της κίνησης, προβλήματα κλιμάκωσης αποτρέπουν την εφαρμογή της σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων. Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (*Differentiated Services – DiffServ*), αντιθέτως, χειρίζεται ροές με αντίστοιχες απαιτήσεις απόδοσης ως συναθροίσεις κίνησης (*traffic aggregates*), τις οποίες αντιστοιχίζει σε περιορισμένο αριθμό από κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας. Παρόλο που η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής *DiffServ* δεν παρουσιάζει περιορισμούς κλιμάκωσης, έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εγγυήσεις απόδοσης στην συναθροισμένη κίνηση αγνοώντας τις υπηρεσίες που τελικά λαμβάνουν οι μεμονωμένες ροές. Επίσης, η αρχιτεκτονική *DiffServ* στερείται τη χρήση σηματοδοσίας για τη δέσμευση των δικτυακών πόρων και τη διαχείριση των μηχανισμών QoS στους δρομολογητές κορμού. Για το λόγο αυτό, αρκετές διαδικασίες κατά την παροχή των υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα ο έλεγχος αποδοχής νέων ροών, πραγματοποιείται από τον αρμόδιο διαχειριστή με αποτέλεσμα την εισαγωγή καθυστερήσεων.

ΠΗΓΕΣ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. QoS over Heterogeneous Networks, Mario Marchese (Author), John Wiley and Sons Ltd 2007
2. WiMAX Technology for Broadband Wireless Access, Loutfi Nuaymi (Author), John Wiley & Sons Ltd 2007
3. WiMAX Forum (www.wimaxforum.org) - WiMAX Forum Whitepapers, περιεχόμενα ιστοσελίδων WiMAX Forum και παραπομπές (links)
4. Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org>.
5. WiMAX Forum (2009), *WiMAX Forum™ Mobile System Profile Specification Release 1.5 Common Part WMF-T23-001-R015v01* [
<http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2009/07/WMF-T23-001-R015v01_MSP-Common-Part.pdf>
6. Βενιέρης Ιάκωβος (2007), *Δίκτυα Ευρείας Ζώνης*, 2^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα
7. Κανάτας Α., Κωνσταντίνος Φ., Πάντος Γ. (2008), *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*, Αθήνα: Α. Παπασωτηρίου και ΣΙΑ Ο.Ε.
8. Παπαγιάννη Χρυσούλα, *Αποδοτικοί αλγόριθμοι σχεδίασης δικτύων επικοινωνιών με έμφαση στην ποιότητα υπηρεσίας*, Διδακτορική διατριβή ΗΜΜΥ ΕΜΠ, Μάιος 2009
9. Νέστορας Αλέξανδρος, «Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση με το WiMAX», 2006
10. Χρήστος Ι. Μπούρας (Πάτρα 2009) *Ευρυζωνικές τεχνολογίες* – Πανεπιστημιακές Σημειώσεις
11. Σαρηγιαννίδης Παναγιώτης (2008) *Ασφάλεια Υπολογιστικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Α: Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1: Ζώνη Frensel.	18
Σχήμα 2: NLOS μετάδοση.....	19
Σχήμα 3: Σταθμοί βάσης και σταθμοί συνδρομητών WiMAX.....	20
Σχήμα 4: Παράδειγμα Τοπολογίας Πλέγματος.....	21
Σχήμα 5: Στοιβα πρωτοκόλλων του 802.16..	23
Σχήμα 6: Κωδικοποίηση στο περιβάλλον μετάδοσης.....	26
Σχήμα 7: Δομή πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης για ένα FDD σύστημα.....	27
Σχήμα 8: Δομή πλαισίου για ένα TDD σύστημα.....	28
Σχήμα 9: (a) Συμβατική Τεχνική Πολλών Φερουσών (b) OFDM.....	30
Σχήμα 10: Δομή του MAC SDU.....	35
Σχήμα 11: Διαδικασία απόκτησης καναλιού μεταξύ BS και SS	39
Σχήμα 12: Αυθεντικοποίηση και καταχώρηση SS	41
Σχήμα 13: Το RLC διασφαλίζει συνεχή σταθερότητα στην σύνδεση WiMAX	43
Σχήμα 14: Προδιάθεση ροής υπηρεσίας.....	46
Σχήμα 15: Καθυστέρηση, jitter και απώλεια πακέτων σε μεταγωγή πακέτων.....	50
Σχήμα 16: Στοιβα πρωτοκόλλων τερματικού Διαδικτύου.....	60
Σχήμα 17: Ενεργοποίηση υπηρεσίας με RSVP.....	61
Σχήμα 18: Λειτουργικό μοντέλο κόμβου IntServ.....	63
Σχήμα 19: Πεδίο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DS field)	66
Σχήμα 20: Η λειτουργία της αστυνόμευσης.....	76
Σχήμα 21: Διαφοροποίηση εξυπηρέτησης.....	76
Σχήμα 22: Παράδειγμα εφαρμογής της λειτουργίας VLAN δικτύων σε επιχειρησιακό περιβάλλον.....	84
Σχήμα 23: Κλάσεις εφαρμογών του WiMAX.....	90
Σχήμα 24: Διαστρωμάτωση επιπέδου MAC.....	96
Σχήμα 25: Δυναμική ροή υπηρεσίας.....	99
Σχήμα 26: Θεωρία λειτουργίας του μοντέλου αντικειμένου.....	100
Σχήμα 27: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο SS.....	101
Σχήμα 28: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο BS.....	101
Σχήμα 29: Προδιατιθέμενο μοντέλο εξουσιοδότησης.....	102
Σχήμα 30: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο BS.....	103
Σχήμα 31: Προδιατιθέμενο μοντέλο εξουσιοδότησης.....	104

Παράρτημα Β: Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: IEEE 802.16 έργα και πρότυπα.....	12
Πίνακας 2: Αποστάσεις επικοινωνίας PTP και PMP.....	21
Πίνακας 3: Κατηγορίες εφαρμογών και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας.....	51
Πίνακας 4: Απαιτήσεις διαφόρων υπηρεσιών.....	68
Πίνακας 5: Οι δώδεκα κωδικοποιήσεις DSCP.....	70
Πίνακας 6: BestEffort και Less than Best Effort (LBE).....	80
Πίνακας 7: Εφαρμογές ανά κλάση και απαιτούμενο εύρος ζώνης.....	90
Πίνακας 8: Αντιστοιχία κλάσεων εφαρμογών και κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας.....	91
Πίνακας 9: Κλάσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που υποστηρίζονται στο 802.16e (Mobile WiMAX).....	92
Πίνακας 10: Συγκετρωτική παρουσίαση κλάσεων υπηρεσιών στο IEEE802.16d.....	95

Παράρτημα Γ: Ακρωνύμια

3G	3rd Generation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line AF
ARQ	Automatic Repeat request
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
BWA	Broadband Wireless access
CBQ	Class Based Queuing
CID	Connection Identifier
CPS	Common Part Sublayer
CS	Convergence Sublayer
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DCP	Downlink Channel Descriptor
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ	Differentiated Services
DIUK	Downlink Interval Usage Code
DL	Downlink
DL-MAP	Downlink Map
DSL	Digital Subscriber Line
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
ECC	Electronic Communication Committee
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FBWA	Fixed Broadband Wireless Access
FEC	Forward Error Correction
FDD	Frequency Division Duplex or Duplexing
FIFO	First-In, First-Out
FFT	Fast Fourier Transform
FTTH	Fiber-To-The-Home
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HDTV	High Definition Television
HIPERMAN	High PERformance Metropolitan Area Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISDN	Integrated Services Digital Network
IntServ	Internet Engineering Task Force
ISP	Internet Service Provider
LOS	Line-Of-Sight

MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple-In-Multiple-Out
NLOS	Non-Line-of-sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
PDA	Personal Digital Assistant
PDU	Protocol data unit
PHS	Payload Header Suppression
PHSI	Payload Header Suppression Index
PHY	Physical Layer
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTM	Point-to-Multipoint
PQ	Priority Queuing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RSA	Rivest, Shamir, Adleman
RSVP	Resource Reservation Protocol
SAP	Service Access Point
SDU	Service Data Unit
SOFDMA	Scalable OFDMA
SS	Subscriber Stations
TC	Transmission Convergence Sublayer
TDD	Time Division Duplex or Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
ToS	Type of Service
TTG	Transmit Transition Gap
UCD	Uplink Channel Descriptor
UIUC	Uplink Interval Usage Code
UL	Uplink
UL-MAP	Uplink-Map
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very High Data Rate DSL
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice-over-Internet Protocol
WAP	Wireless Application Protocol

Wi-Fi	Wireless Fidelity
WFQ	Weighted Fair Queuing
WLAN	Wireless Local Area Network
WRR	Weighted Round Robin
WWiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access