



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«WiMAX ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ UMTS»

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΝΕΣΤΟΡΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΕΤΣΟΣ, Αναπληρωτής καθηγητής

ΛΑΡΙΣΑ 2006

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Λάρισα, / 11 / 2006

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Γεώργιος Καρέτσος
2. Ιωάννης Μαμμόρκος
3. Νικόλαος Σαμαράς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο Μέρος Α΄ γίνεται μια εισαγωγή στο WiMAX – το νέο επαναστατικό πρότυπο IEEE 802.16 για point-to-point και point-to-multipoint ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Επιχειρείται πλήρης σχολιασμός των προδιαγραφών 802.16 ως προς το φυσικό στρώμα, το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, τον τρόπο λειτουργίας και τις δυνατότητες QoS. Οι προδιαγραφές είναι έτσι προτυποποιημένες ώστε να αξιοποιούνται οι προοπτικές που προσφέρει το WiMAX όπως ευρεία εμβέλεια, αυξημένη διεκπαιρευτική ικανότητα, αυξημένη ασφάλεια, καθώς και το γεγονός ότι αποτελεί εναλλακτική λύση στον τοπικό βρόγχο. Αναλυτικά περιγράφονται και οι προηγμένες δυνατότητες QoS που προσφέρει το WiMAX. Επίσης, λόγω των ευοίωνων προοπτικών του, γίνεται μια εισαγωγική αναφορά στο Mobile WiMAX καθώς και μια συγκριτική ανάλυση με τις τεχνολογίες 3G.

Στο Μέρος Β΄ περιγράφεται συνοπτικά το σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών UMTS με σκοπό τη βέλτιστη τεκμηρίωση του Μέρους Γ΄.

Στο Μέρος Γ΄ προτείνεται μια αρχιτεκτονική για διασυνεργασία με το UMTS. Για να γίνει πραγματικότητα η ασύρματη πρόσβαση από παντού και ανά πάσα στιγμή, η οποία θα παρέχει τις αυτόματες μεταγωγές (handover) για τις κινητές συσκευές που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης εντός των ετερογενών δικτύων WiMAX και UMTS απαιτείται μια αρχιτεκτονική διασυνεργασίας. Η αρχιτεκτονική διασυνεργασίας που παρουσιάζεται στο Μέρος Γ΄ χαρακτηρίζεται από χαμηλή καθυστέρηση μεταγωγής και απώλειας πακέτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή Γεώργιο Καρέτσο για την επιστημονική αρωγή και καθοδήγηση που μου προσέφερε.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες του τμήματος Τεχνολογίας Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών που συνέβαλαν στην επιστημονική και τεχνική μου κατάρτιση.

Κυρίως, όμως, χρωστώ απέραντη ευγνωμοσύνη στη μητέρα μου Ελπινίκη για την έμπρακτη αγάπη κι εκτίμηση που συνεχώς μου καταθέτει.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	9
ΜΕΡΟΣ Α΄ : Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση με το WiMAX	10
1. Εισαγωγή	11
1.1 Η ανάγκη για μια εναλλακτική μορφή πρόσβασης	13
1.1.1 Μεταγωγή	13
1.1.2 Μεταφορά	13
1.1.3 Πρόσβαση	14
1.2 Αντικαθιστώντας το PSTN	14
1.3 Ενστάσεις στα ασύρματα δίκτυα	15
1.3.1 QoS	15
1.3.2 Ασφάλεια	16
1.3.3 Περιορισμός των παρεμβολών	16
1.4 Το οικονομικό πλεονέκτημα του WiMAX	16
1.5 Ρυθμιστικές διατάξεις των ασύρματων δικτύων	17
1.6 Καλύτερη ποιότητα ζωής με τα ασύρματα δίκτυα	17
1.7 Διασπαστική τεχνολογία	17
1.7.1 Διατάραξη στις τηλεφωνικές εταιρίες	18
1.7.2 Διατάραξη στην καλωδιακή και δορυφορική τηλεόραση	18
1.7.3 Διατάραξη στις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας	19
1.7.4 Διατάραξη στη βιομηχανία backhaul	19
1.8 Συμπέρασμα	19
2. Το Φυσικό Στρώμα	20
2.1 Εισαγωγή	21
2.2 Η λειτουργία του Φυσικού Στρώματος	22
2.2.1 OFDM	23
2.2.2 TDD και FDD	23
2.2.3 AAS	24
2.3 Παραλλαγές του WiMAX	25

2.4 OFDM Παραλλαγές του WiMAX	25
2.4.1 WirelessMAN-OFDM	26
2.4.2 WirelessMAN-OFDMA	27
2.4.3 WirelessHUMAN	28
2.5 Παραλλαγές μονού φέροντος	28
2.5.1 WirelessMAN-SC 10-66GHz	28
2.5.2 WirelessMAN-SCa 2-11GHz	32
2.6 Συμπέρασμα	33
3. Το Στρώμα Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο	34
3.1 Η σχέση του MAC με το PHY	35
3.2 Το MAC και η αρχιτεκτονική του WiMAX	35
3.2.1 Τάξεις υπηρεσιών και QoS	37
3.3 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών	39
3.3.1 Common Part Sublayer	39
3.3.2 Πακετοποίηση και κατάτμηση	41
3.3.3 Δημιουργία PDU και ARQ	42
3.4 Υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής	43
4. Ο Τρόπος Λειτουργίας του WiMAX	44
4.1 Απόκτηση καναλιού	45
4.1.1 Αρχική εύρεση εμβέλειας	45
4.1.2 Αυθεντικοποίηση SS και καταχώρηση	47
4.1.3 Συνδετικότητα IP	47
4.1.4 Αρχικοποίηση σύνδεσης	48
4.2 Radio Link Control	49
4.3 UL	51
4.4 Ροή υπηρεσίας	51
4.5 Συμπέρασμα	53
5. Ποιότητα Υπηρεσίας στο WiMAX	54
5.1 Γενική επισκόπηση	55
5.2 Η πρόκληση	55
5.3 Συμβατικοί μηχανισμοί QoS	56
5.3.1 FDD/TDD/OFDM	56
5.3.2 FEC	57
5.4 Ο ρόλος του εύρους ζώνης για QoS στο WiMAX	58

5.4.1 Αιτήσεις και εκχωρήσεις εύρους ζώνης	58
5.4.2 Τι είναι το FFT	63
5.5 QPSK εναντίον QAM	64
5.5.1 Πολυπλεξία με OFDM	65
5.6 Η σημασία του OFDM στο WiMAX	67
5.6.1 QoS: Διόρθωση σφαλμάτων και διεμπλοκή	67
5.7 Μέτρα QoS ειδικά για τις προδιαγραφές του WiMAX	68
5.7.1 Θεωρία λειτουργίας	68
5.7.2 Ροές υπηρεσιών	69
5.7.3 Το μοντέλο αντικειμένων	70
5.7.4 Τάξεις υπηρεσιών	71
5.8 Εξουσιοδότηση	72
5.8.1 Είδη ροών υπηρεσιών	73
5.8.2 Διαχείριση ροής υπηρεσίας	74
5.9 Συμπέρασμα	75
6. Mobile WiMAX	76
6.1 Εισαγωγή	77
6.2 Χαρακτηριστικά του Mobile WiMAX	78
6.3 Συγκριτική ανάλυση	80
6.4 Συμπέρασμα	82
ΜΕΡΟΣ Β΄ : UMTS	84
1. Εισαγωγή – Το Πρότυπο UMTS	85
2. Περιγραφή Αρχιτεκτονικής	86
3. Το Στρώμα MAC	90
4. Ποιότητα Υπηρεσίας στο UMTS	92
5. Συμπεράσματα	94
ΜΕΡΟΣ Γ΄ : Διασυνεργασία WiMAX – UMTS	95
1. Εισαγωγή	96
2. Σχετική έρευνα	98
3. Αρχιτεκτονική διασυνεργασίας	99
3.1 Περιγραφή αρχιτεκτονικής	99
3.2 Διαχείριση διεύθυνσης IP	101
4. Διαδικασία μεταγωγής	101
4.1 Μεταγωγή από WiMAX σε UTRAN	102

4.2 Μεταγωγή από UTRAN σε WiMAX	105
5. Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση	108
Βιβλιογραφία – Αναφορές	109
Χρήσιμοι δικτυακοί τόποι	110
Αρκτικόλεξο	111

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η φοίτησή μου στο τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Λάρισας ήταν για μένα μια συνεχής διαδικασία εκβάθυνσης στην επιστήμη της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Και όχι μόνο, με βοήθησε σημαντικά στην ανάπτυξη αναλυτικής σκέψης αλλά και στην καλλιέργεια μιας γενικότερης διερευνητικής και φιλομαθούς ματιάς στο σύνολο της επιστήμης.

Νομίζω πως, λαμβάνοντας υπ' όψη την τεχνολογική πρόοδο της εποχής μας, δεν υφίσταται σαφής διαχωρισμός μεταξύ πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών. Θεωρώ πως οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες, που είναι το ευρύτερο θέμα αυτής της εργασίας, και οι διάφορες εφαρμογές της πληροφορικής συνδέονται με μια ισχυρή σχέση αλληλεξάρτησης όχι μόνο σε τεχνικό επίπεδο αλλά και σε οικονομικό.

Οι τεχνολογίες 802.11 στερούνται διεκπαιρευτικής ικανότητας, ισχύος, και εμβέλειας για να θεωρηθούν άξιοι αντικαταστάτες για την χάλκινη καλωδίωση του «τελευταίου μιλίου». Από την άλλη, το WiMAX μπορεί να αποτελέσει την τεχνολογία που θα επιτρέψει την πλήρη παράκαμψη του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου (PSTN). Η προοπτική αυτή σε συνδυασμό με τη μεγάλη δημοτικότητα του WiMAX ήταν ένας από τους λόγους που με προσέελκυσαν στην εκπόνηση αυτή της πτυχιακής εργασίας.

Σήμερα, λειτουργούν περισσότερα από 60 3G/UMTS δίκτυα κάνοντας χρήση της τεχνολογίας WCDMA σε 25 χώρες, τα οποία υποστηρίζουν πάνω από 100 κινητές συσκευές διαφόρων κατασκευαστών. Το UMTS έχει ήδη υπολογίσιμο κομμάτι της αγοράς, είναι δοκιμασμένο, αλλά και εξελίσσεται συνεχώς. Η διασυνεργασία που περιγράφεται στην παρούσα εργασία προϋποθέτει ότι οι δύο τεχνολογίες WiMAX και UMTS δεν είναι ανταγωνιστικές, όπως πολλοί διατείνονται, αλλά συμπληρωματικές. Για να επιτευχθεί ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση από παντού και ανά πάσα στιγμή η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών οφείλει να εξετάσει σοβαρά το θέμα της διασυνεργασίας των δύο δικτύων πρόσβασης σε μια κινητή συσκευή.

ΜΕΡΟΣ Α΄

Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση με το WiMAX

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

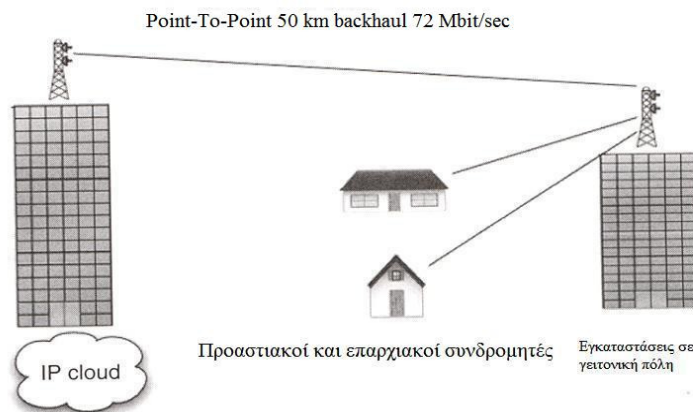
Εισαγωγή

Το Μέρος Α' σκοπό έχει να περιγράψει το πρότυπο 802.16 του IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) που είναι γνωστό ως Worldwide Interoperability for Micro Wave Access, ή WiMAX. Το πρότυπο, το οποίο κατασκευάζεται εδώ και χρόνια, τελειοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2004. Αυτή η εργασία θα προσπαθήσει να δώσει μια τεχνική γενική επισκόπηση του προτύπου σύμφωνα με τις προδιαγραφές, ενώ θα γίνει και λεπτομερής αναφορά στο πως η τεχνολογία θα μπορέσει να προσφέρει την τριάδα δεδομένα, φωνή, βίντεο.

Το WiMAX θα αλλάξει τις τηλεπικοινωνίες, όπως είναι γνωστές σήμερα στον κόσμο. Εξαλείφει την έλλειψη πόρων που υφίστανται οι επιβεβλημένοι παροχείς υπηρεσιών τον τελευταίο αιώνα. Εφόσον αυτή η τεχνολογία έχει λιγότερους φραγμούς εισόδου, θα επιτρέψει πραγματικό ανταγωνισμό στην αγορά σε όλες τις κύριες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες: φωνή (κινητή και σταθερή), βίντεο, και δεδομένα.

Από το ξεκίνημα του τηλεφώνου οι πάροχοι υπηρεσιών έχουν αποσοβήσει τον ανταγωνισμό βασιζόμενοι στην υπέρμετρη κεφαλαιακή επένδυση που απαιτείται για την ανάπτυξη ενός τηλεφωνικού δικτύου. Το κόστος ανάπτυξης χάλκινων καλωδίων, κατασκευή μεταγωγέων και σύνδεσης των μεταγωγέων δημιούργησε έναν ανυπέρβλητο φραγμό στην είσοδο άλλων ανταγωνιστών. Στο μεγαλύτερο μέρος του κόσμου, το υψηλό κόστος αυτής της υποδομής περιόρισε την τηλεφωνική υπηρεσία στην πλούσια και νεόπλουτη μεσαία τάξη.

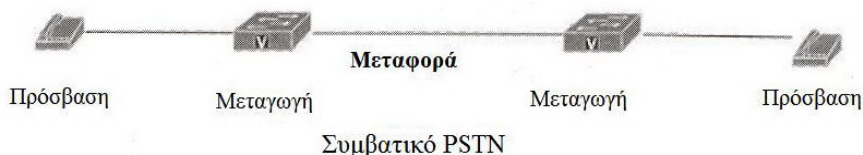
Το WiMAX προσφέρει εμβέλεια σημείο-σε-σημείο (point-to-point) 50 χιλιομέτρων με διεκπαιρευτική ικανότητα 72 Mbit/sec. Προσφέρει εμβέλεια μη οπτικής επαφής (non-line-of-sight) 6 χιλιομέτρων και, σε μια point-to-multipoint διανομή, το μοντέλο μπορεί να διανείμει σχεδόν οποιοδήποτε εύρος ζώνης σε σχεδόν οποιοδήποτε αριθμό συνδρομητών, ανάλογα με την πυκνότητα των συνδρομητών και την αρχιτεκτονική του δικτύου. Η Εικόνα A.1 απεικονίζει αυτές τις συναρπαστικές δυνατότητες.



Εικόνα A.1

1.1 Η ανάγκη για μια εναλλακτική μορφή πρόσβασης

Η κατανόηση των λειτουργιών του PSTN είναι πιο εύληπτη κατανοώντας τα τρία κύρια συστατικά του: πρόσβαση, μεταγωγή, και μεταφορά. Κάθε συστατικό έχει εξελιχθεί κατά την άνω των εκατό ετών ιστορία του PSTN. Η πρόσβαση σχετίζεται με το πώς ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στο δίκτυο, η μεταγωγή στο πώς μια κλήση «μετάγεται» ή δρομολογείται διαμέσου του δικτύου, και η μεταφορά περιγράφει το πώς μια κλήση ταξιδεύει ή «μεταφέρεται» στο δίκτυο. Αυτό το δίκτυο σχεδιάστηκε αρχικά για φωνή, αργότερα ήρθαν και τα δεδομένα. Καθώς μεγάλωνε η κίνηση των δεδομένων στο PSTN, οι χρήστες υψηλής χωρητικότητας το έβρισκαν ανεπαρκές, κι έτσι αυτοί οι συνδρομητές μετακινήθηκαν σε δίκτυα ειδικά για δεδομένα. Πολλοί χρήστες δεδομένων συνειδητοποίησαν πως περιορίζονται από μια υποδομή που εξαρτάται από καλώδια, είτε από οπτική ίνα, είτε από ομοαξονικό, είτε από συνεστραμμένους ζεύγους χάλκινο καλώδιο. Αν και ο ασύρματος τρόπος επικοινωνίας δεν είναι νέος (μορφές ασύρματης επικοινωνίας χρησιμοποιούνται εδώ και σχεδόν έναν αιώνα), η χρήση ασύρματων τρόπων για την παράκαμψη ενσύρματων μονοπωλίων αποτελεί μια πρακτική ευκαιρία για συνδρομητές υπηρεσιών φωνής και δεδομένων. Η κύρια μορφή παράκαμψης είναι η χρήση κινητών τηλεφώνων. Το WiMAX είναι μια ασύρματη τεχνολογία που υπόσχεται πολλά όσο αφορά τα ευρυζωνικά δεδομένα (έως 11 Mbit/sec).



Εικόνα Α.1

1.1.1 Μεταγωγή

Το PSTN είναι ένα δίκτυο αστέρα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής συνδέεται με τον άλλον μέσω τουλάχιστον ενός, αν όχι περισσότερων, hub, γνωστά και ως κέντρα. Σ' αυτά τα κέντρα υπάρχουν μεταγωγείς. Πολύ απλά, τα τοπικά κέντρα είναι για τοπικές υπηρεσίες συνδέσεων, και τα απομακρυσμένα κέντρα είναι για μεγάλων αποστάσεων. Τα τοπικά κέντρα, γνωστά και ως κύρια κέντρα, χρησιμοποιούν μεταγωγείς Class 5 ενώ τα απομακρυσμένα Class 4. Μια μεγάλη πόλη μπορεί να έχει πολλά κύρια κέντρα.

1.1.2 Μεταφορά

Χρειάστηκε πάνω από ένας αιώνας και τεράστια έξοδα για να κατασκευαστεί το PSTN. Με το πέρασμα του χρόνου οι ερευνητές έψαχναν μανιωδώς νέους τρόπους για τη μεταφορά του μέγιστου πλήθους συνομιλιών στο ελάχιστο δυνατό κόστος υποδομών. Ας φανταστούμε

ένα πρώιμο τηλεφωνικό κύκλωμα από τη Νέα Υόρκη στο Λος Άντζελες. Το χάλκινο καλώδιο, οι επαναλήπτες, και οι άλλοι μηχανισμοί που εμπλέκονταν στη μεταφορά μια συνομιλίας σ' αυτή την απόσταση ήταν τεραστίων διαστάσεων. Συνεπώς, οι πρώτοι τηλεφωνικοί μηχανικοί και επιστήμονες έπρεπε να βρουν τρόπους για τη διεκπεραίωση του μέγιστου πλήθους συνομιλιών στο δίκτυο. Μετά από πολλή έρευνα, ανέπτυξαν διαφορετικούς τρόπους για να εκμαιούσουν τη μέγιστη αποδοτικότητα από την υποδομή των χάλκινων καλωδίων. Πολλές από αυτές τις ανακαλύψεις μεταμορφώθηκαν σε τεχνολογίες που λειτούργησαν εξίσου καλά όταν ήρθε το καλώδιο οπτικής ίνας στην αγορά. Η κύρια μορφή μεταφοράς στο PSTN είναι με μεταγωγή κυκλώματος (σε αντίθεση με τη μεταγωγή πακέτου του Διαδικτύου). Στη δεκαετία του 1990, οι παροχείς υπηρεσιών μεγάλων αποστάσεων και οι τοπικοί παροχείς υπηρεσιών μετακίνησαν αυτά τα δίκτυα μεταφοράς στον τρόπο ασύγχρονης μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode). Το ATM είναι ένας τρόπος μεταφοράς από μεταγωγέα σε μεταγωγέα. Η ανάδυση των δικτύων κορμού IP (backbone) τραβά μεγάλο μέρος της κίνησης από τα δίκτυα ATM και στα δίκτυα IP.

1.1.3 Πρόσβαση

Η πρόσβαση αναφέρεται στο πως ο χρήστης αποκτά πρόσβαση στο τηλεφωνικό δίκτυο. Οι περισσότεροι χρήστες αποκτούν πρόσβαση μέσω μιας τηλεφωνικής συσκευής. Αυτή η συσκευή συνδέεται συνήθως στο κύριο κέντρο (όπου βρίσκεται ο μεταγωγέας) μέσω χάλκινου καλωδίου. Ένας από τους πρωταρχικούς λόγους που η πλειοψηφία των συνδρομητών δεν έχουν δυνατότητα επιλογής τοπικού παρόχου υπηρεσιών είναι το απαγορευτικό κόστος ανάπτυξης κάτι άλλου εκτός από το καλώδιο που τους συνδέει στο δίκτυο. Δεύτερον, η απόκτηση δικαιωμάτων προτεραιότητας κατά μήκος των πάμπολλων ιδιοκτησιών μέχρι τον συνδρομητή είναι αδύνατη, σε νομικό και οικονομικό επίπεδο.

1.2 Αντικαθιστώντας το PSTN

Τα τρία συστατικά του PSTN αντικαθιστώνται στην ελεύθερη αγορά από άλλες τεχνολογίες σε συνδυασμό με αλλαγές στις ρυθμιστικές διατάξεις. Το τμήμα της μεταφοράς έχει ανοίξει στον ανταγωνισμό εδώ και χρόνια. Αυτό έχει οδηγήσει στη δημιουργία πολλών νέων παρόχων υπηρεσιών μεγάλων αποστάσεων. Από το 1996 οι επιβεβλημένες τηλεφωνικές εταιρίες (στον ΟΤΕ λίγα χρόνια πιο μετά) υποχρεώθηκαν να «δώσουν» τους μεταγωγείς τους στους ανταγωνιστές, ωστόσο, αυτές οι ίδιες καθυστέρησαν αυτή την πρόσβαση εν πρώτοις με νομικούς ελιγμούς και μετά με απερίφραστη δολιοφθορά. Μπλόκαραν την ανταγωνιστική

πρόσβαση στα δίκτυά τους. Μια τεχνολογία γνωστή ως softswitch προσφέρει παράκαμψη της τεχνολογίας των PSTN μεταγωγέων. Ένα softswitch είναι μια κεντρική συσκευή σε ένα τηλεφωνικό δίκτυο η οποία συνδέει κλήσεις από ένα τηλέφωνο σε ένα άλλο με τη χρήση μόνο λογισμικού σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Ωστόσο, το «τελευταίο μίλι» παραμένει υπό τον έλεγχο των επιβεβλημένων τηλεφωνικών εταιριών.

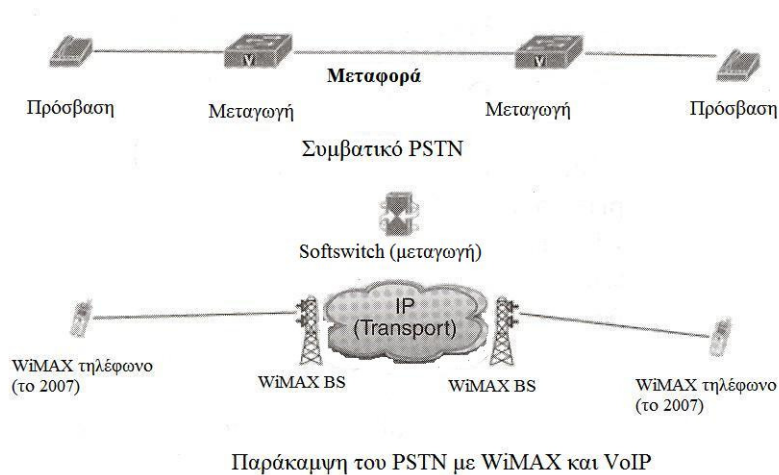
1.3 Ενστάσεις στα ασύρματα δίκτυα

Στην ιδέα ότι οι ασύρματες τεχνολογίες θα αντικαταστήσουν το PSTN αντιτίθενται κάποιες ενστάσεις. Αυτές οι ενστάσεις επικεντρώνονται, κυρίως, σε θέματα ποιότητας υπηρεσίας (QoS), ασφάλεια του ασύρματου δικτύου, περιορισμό της εμβέλειας παράδοσης της υπηρεσίας, και τη διαθεσιμότητα του εύρους ζώνης. Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει μια προσπάθεια κατανίκησης αυτών των αμφιβολιών.

1.3.1 QoS

Ο όρος Quality of Service αναφέρεται στην πιθανότητα ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου να μπορέσει να τηρήσει ένα δεδομένο συμβόλαιο κίνησης, ή σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ατύπως ως η πιθανότητα ενός πακέτου να επιτύχει να πάει από ένα σημείο σε ένα άλλο σε ένα δίκτυο εντός της επιθυμητής περιόδου καθυστέρησης.

Μια από τις πρωταρχικές έγνοιες σχετικά με την ασύρματη παράδοση δεδομένων είναι ότι το QoS είναι ανεπαρκές. Ο ανταγωνισμός με άλλες ασύρματες υπηρεσίες, τα χαμένα πακέτα, και οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές είναι πιθανές ενστάσεις στο αν το WiMAX είναι μια καλή εναλλακτική στο PSTN. Το QoS αναφέρεται επίσης στην ικανότητα ενός WISP (Wireless Internet Provider) να προσαρμόσει φωνή στο δίκτυό του. Το WiMAX αξιοποιεί ένα πλήθος μέτρων για να διασφαλίσει καλό QoS, συμπεριλαμβανομένου χρονοπρογραμματισμό QoS ροής υπηρεσίας, εγκαθίδρυση δυναμικής υπηρεσίας, και ένα μοντέλο ενεργοποίησης δύο φάσεων. Η Εικόνα A.3 απεικονίζει την ασύρματη ευρυζωνικότητα ως μια εναλλακτική στις PSTN υποδομές.



Εικόνα Α.2

1.3.2 Ασφάλεια

Το WiMAX χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση X.509 για την αρχικοποίηση της συνόδου και, αφού εγκαθιδρυθεί, χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση 56-bit DES για την προστασία της μετάδοσης. Και τα δύο μέτρα αποτρέπουν την κλοπή υπηρεσίας και διασφαλίζουν την ιδιωτικότητα της συνόδου.

1.3.3 Περιορισμός των παρεμβολών

Είναι πια αδιαμφισβήτητο ότι οι ασύρματες τεχνολογίες προβάλλουν έναν νέο τρόπο επίδοσης της ευρυζωνικότητας στα σπίτια και υπόσχονται σημαντικές οικονομικές ωφέλειες.

1.4 Το οικονομικό πλεονέκτημα του WiMAX

Οι ασύρματες τεχνολογίες δύνανται να προτείνουν στους παροχείς υπηρεσιών μια λύση αποδοτικού κόστους, αφού αυτές οι τεχνολογίες δεν απαιτούν δικαιώματα προτεραιότητας κατά μήκος ιδιωτικής ή δημόσιας περιουσίας για την επίδοση υπηρεσιών στους πελάτες. Πολλές επιχειρήσεις επί του παρόντος δε μπορούν να λάβουν υπηρεσίες ευρυζωνικών δεδομένων διότι δεν υπάρχει καλώδιο οπτικής ίνας που να φτάνει στο κτήριό τους. Το κόστος για την απόκτηση άδειας εκσκαφής σε ξένη περιουσία καθώς και το ίδιο το έργο της καλωδίωσης, είναι απαγορευτικό. Με το WiMAX και άλλες σχετικές τεχνολογίες, η ροή των δεδομένων απλά «διακτινίζεται» σε αυτό το κτήριο. Η λύση αυτή μπορεί να καλύψει το κομμάτι της αγοράς που απαρτίζουν μικρές/οικιακές επιχειρήσεις, αφού η ροή των δεδομένων μπορεί να «διακτινιστεί» σε μέρη όπου δε φτάνει καλώδιο οπτικής ίνας ή άλλες υπηρεσίες υψηλού εύρους ζώνης.

1.5 Ρυθμιστικές διατάξεις των ασύρματων δικτύων

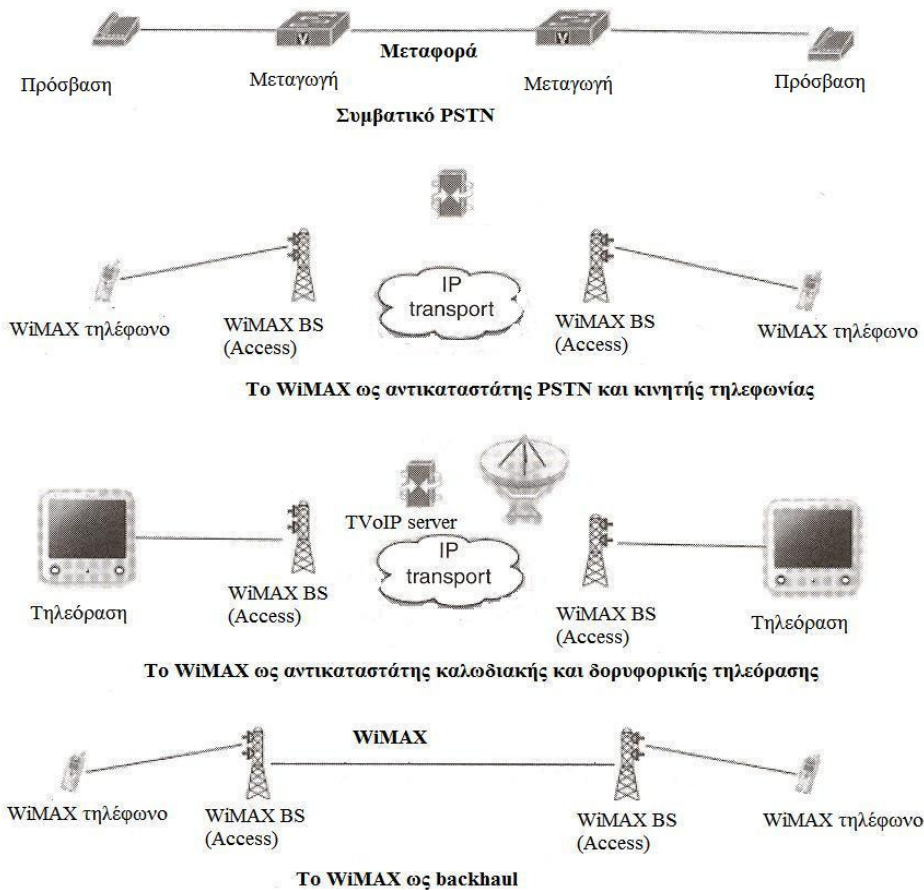
Ποιες είναι οι ρυθμιστικές διατάξεις που αφορούν την ανάπτυξη ενός επιχειρηματικού ασύρματου δικτύου; Τέτοια θέματα είναι στην αρμοδιότητα της ΕΕΤΤ (Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων). Η ασύρματη διάδοση δεδομένων απαιτεί ένα φάσμα στο οποίο θα γίνεται η εκπομπή των ράδιο-κυμάτων σε μια δοσμένη συχνότητα. Ένα μη αδειοδοτημένο φάσμα δεν απαιτεί από τον πάροχο να αποκτήσει μια αποκλειστική άδεια για να εκπέμπει σε μια κάποια συχνότητα σε κάποια περιοχή. Σε αντίθεση με εταιρίες ραδιοφωνικών σταθμών ή κινητής τηλεφωνίας, ένας ασύρματος πάροχος υπηρεσιών Διαδικτύου (Wireless ISP), δημόσιο ή ιδιωτικό, εκπέμπει «χωρίς χρέωση». Θεωρώντας πως οι Wireless ISPs συναγωνίζονται για την απόκτηση συνδρομητών με εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, οι Wireless ISPs που αξιοποιούν τεχνολογίες WiMAX μπορεί να βρεθούν να υπερέχουν σημαντικά από δίκτυα τρίτης γενιάς (3G).

1.6 Καλύτερη ποιότητα ζωής με τα ασύρματα δίκτυα

Όταν το WiMAX αναπτυχθεί ως ένα ευρυζωνικό IP δίκτυο, θα γίνει εφικτό ένα βελτιωμένο πρότυπο διαβίωσης με τη μορφή της τηλεεργασίας, χαμηλότερες τιμές ακινήτων, και καλύτερη οικογενειακή ζωή. Ένα κύμα ευκαιριών ασύρματων εφαρμογών είναι προ των πυλών. Οι περισσότερες από αυτές είναι στη μορφή της ευρυζωνικής ανάπτυξης. Το ενδεχόμενο για «καλύτερη ζωή μέσω των τηλεπικοινωνιών» εντοπίζεται κυρίως στη μεγάλη διαθεσιμότητα της ευρυζωνικότητας.

1.7 Διασπαστική τεχνολογία

Μια τεχνολογία μπορεί, αφηρημένα, να χαρακτηριστεί διασπαστική όταν είναι τυπικώς φθηνότερη, απλούστερη, μικρότερη, και αρκετά συχνά πιο βολική από την αντίπαλη τεχνολογία. Το WiMAX ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια. Η Εικόνα Α.4 απεικονίζει αυτή την πιθανή διατάραξη σε αντιπαράθεση με μια ποικιλία τηλεπικοινωνιακών βιομηχανιών. Οι ακόλουθες βιομηχανίες απειλούνται άμεσα από το WiMAX.



Εικόνα Α.4

1.7.1 Διατάραξη στις τηλεφωνικές εταιρίες

Η Εικόνα Α.1 έδειξε πως το WiMAX αντικαθιστά το κομμάτι της πρόσβασης του PSTN. Η ευρυζωνική σύνδεση στο Διαδίκτυο που έγινε εφικτή από το WiMAX είναι το IP και, χρησιμοποιώντας VoIP, το PSTN παρακάμπτεται. Αν εξαιρεθεί η περίπτωση όπου μια κλήση καταλήγει σε έναν αριθμό PSTN, όλες οι άλλες κλήσεις δεν χρειάζονται το PSTN. Αυτό μπορεί ενδεχομένως να διαταράξει την οικονομική ευμάρεια μεγάλων τηλεφωνικών εταιριών.

1.7.2 Διατάραξη στην καλωδιακή και δορυφορική τηλεόραση

Μια τεχνολογία που λέγεται TV over Internet Protocol (TVoIP) είναι για την καλωδιακή τηλεόραση ότι είναι το VoIP για τις τηλεφωνικές εταιρίες. Τώρα είναι εφικτή η απλή μετατροπή του προγραμματισμού της καλωδιακής τηλεόρασης και η διανομή της μέσω μιας ευρυζωνικής σύνδεσης Διαδικτύου όπως είναι το WiMAX. Ο προγραμματισμός είναι διαθέσιμος σε πανομοιότυπο πραγματικό χρόνο με την εκπομπή της καλωδιακής τηλεόρασης, και τα κανάλια μπορούν να αλλαχθούν με τη χρήση ενός αποκωδικοποιητή και μετατροπέα τηλεοπτικού σήματος ενώ ο προγραμματισμός να εμφανίζεται σε μια συμβατική τηλεόραση.

1.7.3 Διατάραξη στις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας

Οι τεχνολογίες VoIP μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κινητή τηλεφωνία που θα αντικαταστήσει εδραιωμένες εταιρίες κυψελώδους κινητής τηλεφωνίας. Σύντομα το κόστος αντικατάστασης μιας τωρινής υποδομής κινητής τηλεφωνίας θα είναι ένα μικρό κλάσμα του κόστους κατασκευής ενός εδραιωμένου τωρινού δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Το μόνο που θα χρειάζεται θα είναι ένα τηλέφωνο WiMAX και πρόσβαση σε ένα σταθμό βάσης WiMAX. (Ο ίδιος σταθμός θα δίνει ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο, VoIP, TVoIP σε κατοικίες και επιχειρήσεις).

1.7.4 Διατάραξη στη βιομηχανία backhaul

Η κατασκευή πολυδάπανων δικτύων οπτικών ινών στιγμάτισε την τηλεπικοινωνιακή έκρηξη τη δεκαετία του 1990. Πολύ απλά, αν το WiMAX μπορεί να μεταδώσει 72 Mbit/sec σε ακτίνα 50 χιλιομέτρων και η υποδομή κοστίζει μόνο μερικές χιλιάδες ευρώ (κεραίες, κλπ), τότε υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων στο backhaul δίκτυο οπτικών ινών που χρεώνουν τους πελάτες τους χιλιάδες ευρώ το μήνα είναι σε κίνδυνο. Το μοντέλο αυτό μπορεί να επεκταθεί κάλλιστα και δίκτυα κορμού μεγάλης απόστασης. Οι πύργοι μικρό-κυματικών ζεύξεων είναι ο τρόπος κάλυψης μεγάλων αποστάσεων που χρησιμοποιούν οι τηλεφωνικές εταιρίες εδώ και πολύ καιρό. Το WiMAX είναι ένας τρόπος για απλή επέκταση και αύξηση αυτών των δικτύων.

1.8 Συμπέρασμα

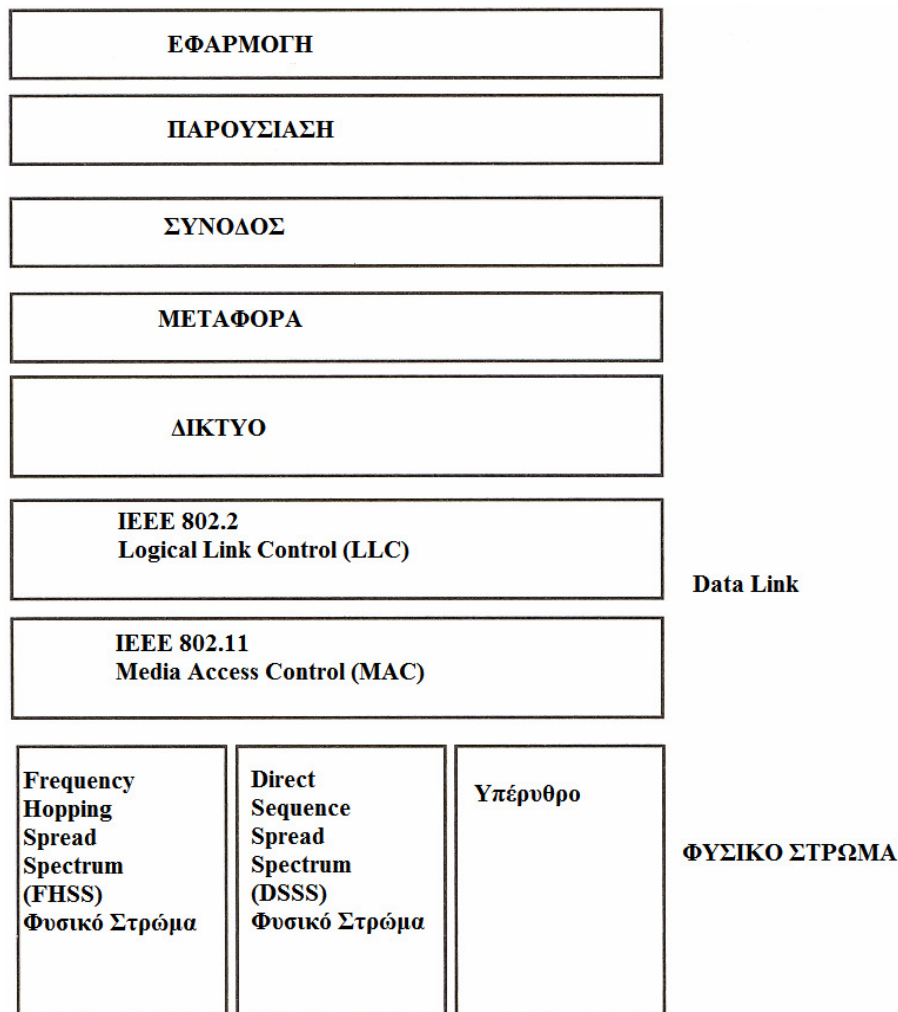
Είναι προφανές πως δε θα υπάρξει ανταγωνισμός στον τοπικό βρόγχο (local loop) παρά μόνο όταν εμφανιστεί ένα εναλλακτικό δίκτυο. Άλλωστε για να υπάρξει ανταγωνισμός στον τοπικό βρόγχο πρέπει η τεχνολογία που θα παρακάμψει τη μεταγωγή και την πρόσβαση να μη δημιουργεί εμπόδια σε αυτόν που θα θέλει να εισέλθει στην αγορά των τηλεπικοινωνιών. Πιο απλά, πρέπει να προσφερθεί ένας τρόπος παράκαμψης των χάλκινων καλωδίων των τηλεφωνικών εταιριών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Το Φυσικό Στρώμα (Physical Layer)

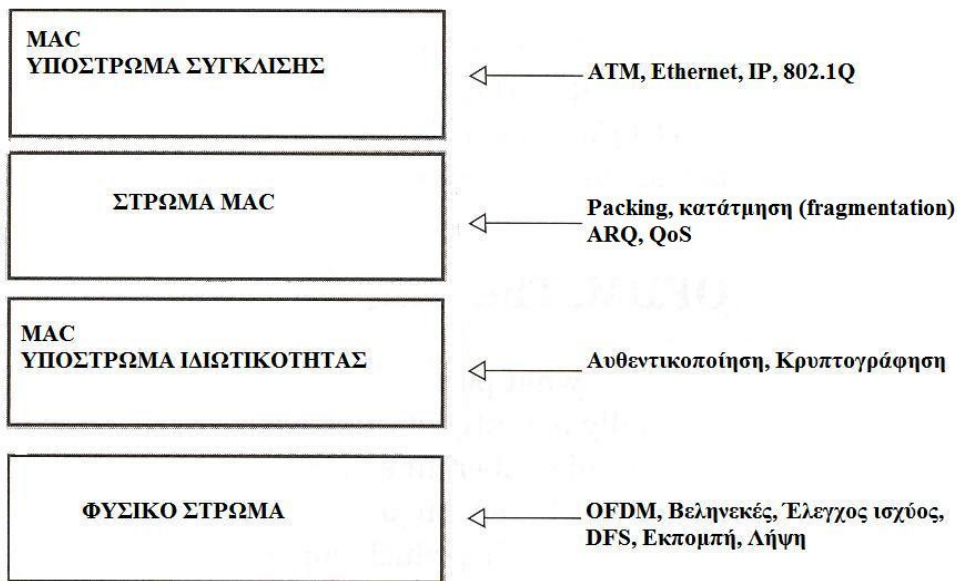
2.1 Εισαγωγή

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). Αυτό το κεφάλαιο δίνει μια περιγραφή του φυσικού στρώματος και των διάφορων παραλλαγών (που βασίζονται στις τεχνολογίες και εφαρμογές του φυσικού στρώματος) του WiMAX, των τεχνολογιών που κάνουν αυτές τις παραλλαγές να λειτουργούν, καθώς και τους λόγους για τους οποίους αυτές οι τεχνολογίες συνδυάζονται έτσι ώστε το WiMAX να αποτελεί ένα ραγδαίο προοδευτικό άλμα σε σχέση με άλλες ασύρματες τεχνολογίες.



Εικόνα Α.5 (IEEE 802.11 MAC και Φυσικά Στρώματα)

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). Η Εικόνα A.5 απεικονίζει τον τρόπο συσχέτισης του μοντέλου αναφοράς OSI και του 802.11, και η Εικόνα A.6 περιγράφει το Φυσικό Στρώμα και το Στρώμα MAC του 802.16



Εικόνα A.6 (MAC και Φυσικά Στρώματα του IEEE 802.16)

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. Η Εικόνα A.5 παρουσιάζει τις παραλλαγές του IEEE 802.11 στο μοντέλο αναφοράς OSI. Η Εικόνα A.6 επεξηγεί πως υλοποιούνται τα στρώματα MAC και PHY στο IEEE 802.16.

2.2 Η λειτουργία του Φυσικού Στρώματος

Ο σκοπός του Φυσικού Στρώματος, όπως υπονοεί και το όνομά του, είναι η φυσική μεταφορά των δεδομένων. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πρέπει να διασφαλίζουν τη μέγιστη αποτελεσματικότητα μετρούμενη σε εύρος ζώνης και συχνότητα φάσματος. Ένα σύνολο παραδοσιακών τεχνολογιών χρησιμοποιούνται για την καλύτερη υλοποίηση του Φυσικού Στρώματος. Οι τεχνολογίες αυτές, όπως OFDM, TDD, FDD, QAM και Adaptive Antenna System (AAS), θα περιγραφούν στη συνέχεια.

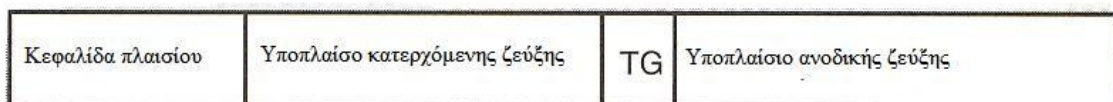
2.2.1 OFDM

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

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

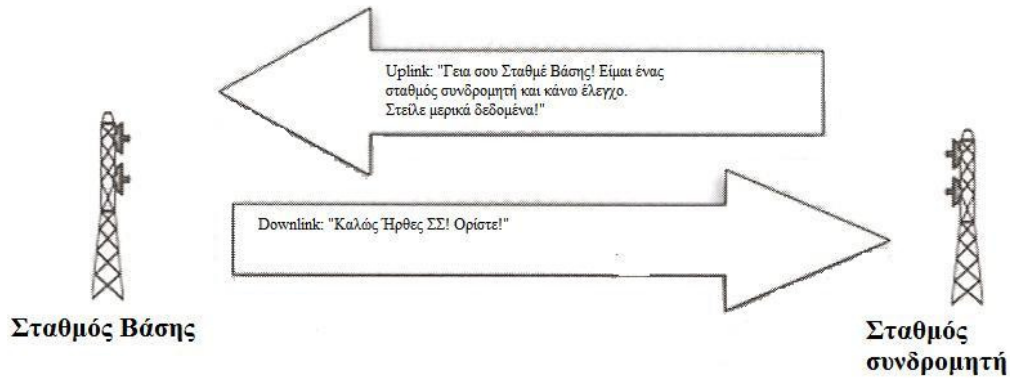
2.2.2 TDD και FDD

Το WiMAX λειτουργεί και με Time Division Duplex (TDD) και με Frequency Division Duplex (FDD). Η TDD είναι μια τεχνική στην οποία το σύστημα εκπέμπει και λαμβάνει μέσα στην ίδια συχνότητα, ορίζοντας χρονοθυρίδες εκπομπής και χρονοθυρίδες λήψης. Η FDD, το κάνει σε δύο διαφορετικές συχνότητες γενικώς χωριζόμενες ανά 50 έως 100 MHz εντός του φάσματος λειτουργίας. Η TDD πλεονεκτεί όταν ένα ρυθμιστικό στοιχείο κατανέμει το φάσμα σε ένα γειτονικό block. Με την TDD δεν είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της ζώνης συχνοτήτων. Αυτό φαίνεται και στην Εικόνα Α.7. Επομένως ολόκληρη η κατανομή του φάσματος είναι αποτελεσματική και στην ανοδική ροή (upstream) και στην κατερχόμενη (downstream) και όπου οι μέθοδοι κίνησης είναι μεταβαλλόμενες ή ασυμμετρικές.



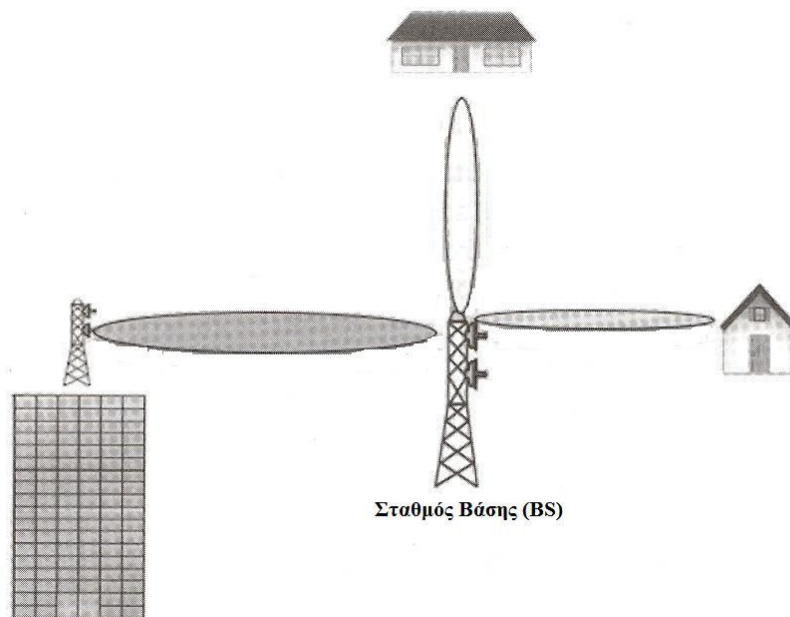
Εικόνα Α.7 (Υπό-πλαίσιο TDD)

Στα συστήματα FDD, οι δομές των πλαισίων ανοδικής και κατερχόμενης ζεύξης είναι όμοιες εκτός από το ότι κάθε ζεύξη εκπέμπεται σε διαφορετικά κανάλια. Όταν είναι παρόντες σταθμοί συνδρομητών half-duplex FDD (half-duplex Subscriber Stations), ο σταθμός βάσης πρέπει να εξασφαλίσει πως δεν θα προγραμματίσει έναν H-FDD SS να εκπέμπει και να λαμβάνει την ίδια στιγμή. Η Εικόνα A.8 απεικονίζει αυτόν τον συσχετισμό.



Εικόνα A.8

2.2.3 Σύστημα Προσαρμοζόμενων Κεραιών (Adaptive Antenna System)



Εικόνα A.9 (Με AAS πετυχαίνεται αύξηση του κέρδους στους εν λόγω SS)

Το AAS χρησιμοποιείται στις προδιαγραφές του WiMAX για να περιγράψει τεχνικές σχηματισμού δεσμών όπου μια παράταξη κεραιών χρησιμοποιείται στο σταθμό βάσης για να αυξηθεί το κέρδος προς τον στοχευόμενο σταθμό συνδρομητή και παράλληλα εκμηδενισμό των παρεμβολών από άλλους σταθμούς συνδρομητών ή διαφόρων πηγών παρεμβολών. Οι

τεχνικές τύπου AAS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενεργοποιήσουν Πολλαπλή Πρόσβαση Χωρικής Διαίρεσης (Spatial Division Multiple Access), έτσι ώστε πολλαπλοί σταθμοί συνδρομητών που ξεχωρίζουν στο χώρο να μπορούν να λαμβάνουν και να εκπέμπουν στο ίδιο υπό-κανάλι την ίδια χρονική στιγμή. Χρησιμοποιώντας σχηματισμό δέσμης, ο σταθμός βάσης έχει τη δυνατότητα να κατευθύνει το επιθυμητό σήμα στους διαφορετικούς σταθμούς συνδρομητών και να διακρίνει τα σήματα των διαφορετικών σταθμών συνδρομητών ακόμη και αν λειτουργούν στα ίδια υπό-κανάλια. Η Εικόνα Α.9 επεξηγεί.

2.3 Παραλλαγές του WiMAX

Το WiMAX έχει πέντε παραλλαγές, οι οποίες ορίζονται από το Φυσικό Στρώμα τους. Οι παραλλαγές χωρίζονται ανάλογα αν είναι μονού φέροντος (Single Carrier) ή χρησιμοποιεί OFDM. Κατηγοριοποιούνται περαιτέρω ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων που καλύπτουν: 2-11 GHz και 10-66 GHz. Στη συνέχεια ακολουθεί παρουσίαση της κάθε παραλλαγής με ιδιαίτερη έμφαση στο WirelessMAN-OFDM. Ο Πίνακας Α.1 περιγράφει συνοπτικά αυτές τις παραλλαγές.

Πίνακας Α.1

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

2.4 OFDM Παραλλαγές 2-11 GHz

Η ανάγκη για λειτουργία χωρίς οπτική επαφή κατευθύνει το σχεδιασμό του Φυσικού Στρώματος στα 2-11 GHz. Επειδή αναμένονται οικιστικές εφαρμογές, οι ταράτσες είναι πιθανόν πολύ χαμηλές (ενδεχομένως λόγω εμποδίων από δέντρα ή άλλα κτήρια) για μια καθαρή οπτική επαφή με την κεραία του σταθμού βάσης. Επομένως, αναμένεται σημαντική πολύ-οδική διάδοση. Περαιτέρω, οι κεραίες που τοποθετούνται έξω είναι ακριβές, λόγω υψηλού κόστους υλικού και εγκατάστασης. Στη συνέχεια περιγράφονται οι προδιαγραφές της εναέριας διεπαφής 2-11 GHz.

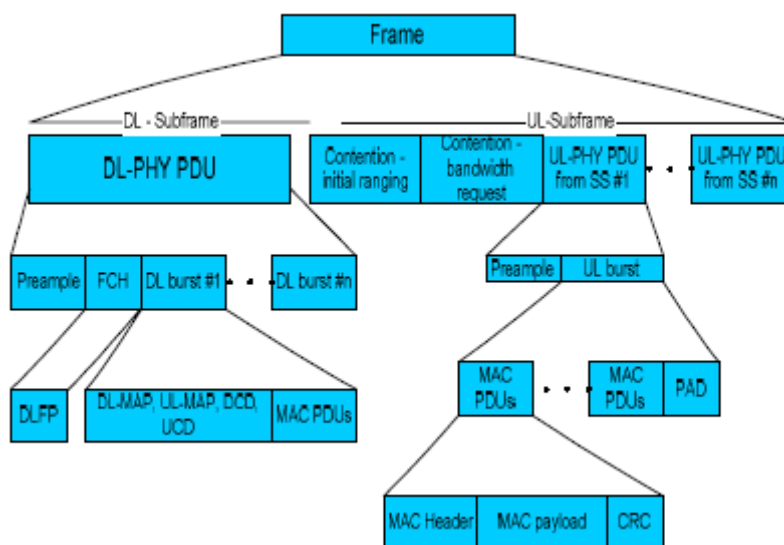
2.4.1 WirelessMAN - OFDM

Αυτή η ασύρματη διεπαφή χρησιμοποιεί OFDM με μετασχηματισμό 256 σημείων. Η πρόσβαση είναι μέσω TDMA. Αυτή η ασύρματη διεπαφή είναι υποχρεωτική για ζώνες απαλλαγμένες από άδειες.

Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN – OFDM βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM. Αποσκοπεί κυρίως για σταθερής πρόσβασης κατασκευαστικές αναπτύξεις όπου οι σταθμοί συνδρομητών είναι οικιστικές πύλες φτιαγμένες μέσα σε σπίτια και επιχειρήσεις. Το Φυσικό Στρώμα OFDM υποστηρίζει υπό-καναλοποίηση στην κατερχόμενη ζεύξη. Υπάρχουν 16 υπό-κανάλια στην κατερχόμενη ζεύξη. Το Φυσικό Στρώμα OFDM υποστηρίζει λειτουργίες TDD και FDD, με υποστήριξη και FDD και H-FDD σταθμών συνδρομητών. Το πρότυπο υποστηρίζει επίπεδα πολλαπλής διαμόρφωσης συμπεριλαμβάνοντας Binary Phase Shift Keying (BPSK), QPSK, 16-QAM, και 64-QAM. Τέλος, το Φυσικό Στρώμα υποστηρίζει (προαιρετικά) ανομοιότητα εκπομπών στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιώντας Space Time Coding (STC) και AAS με Spatial Division Multiple Access (SDMA).

Το σχέδιο ανομοιότητας εκπομπών χρησιμοποιεί δύο κεραίες στο σταθμό βάσης για να εκπέμψει ένα σήμα κωδικοποιημένο κατά STC για να παρέχει τις απολαβές που προέρχονται από την ανομοιότητα δεύτερης τάξης. Κάθε μια από τις δύο κεραίες εκπέμπει ένα διαφορετικό σύμβολο (δύο διαφορετικά σύμβολα) στο χρόνο του πρώτου συμβόλου. Τότε οι δύο κεραίες εκπέμπουν τον σύνθετο συνδυασμό των ίδιων δύο συμβόλων στο χρόνο του δεύτερου συμβόλου. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι ο ίδιος και χωρίς ανομοιότητα εκπομπής.

Η Εικόνα Α.10 απεικονίζει τη δομή του πλαισίου για ένα σύστημα TDD.



Εικόνα Α.10 (Δομή πλαισίου για ένα TDD σύστημα)

Το πλαίσιο διαιρείται σε υπό-πλαίσια ανοδικής ζεύξης (UL) και κατερχόμενης ζεύξης (DL). Το υπό-πλαίσιο DL αποτελείται από ένα προοίμιο, κεφαλίδα ελέγχου πλαισίου (Frame Control Header), και ένα πλήθος ριπών δεδομένων. Το FCH προδιαγράφει το προφίλ της ριπής και το μήκος της μιας ή περισσότερων ριπών DL που ακολουθούν το FCH. Τα μηνύματα DL-MAP, UL-MAP, ο περιγραφέας καναλιού DL (DL Channel Descriptor), ο περιγραφέας καναλιού UL (UL Channel Descriptor) και άλλα μηνύματα μετάδοσης που περιγράφουν το περιεχόμενο του πλαισίου αποστέλλονται στην αρχή αυτών των πρώτων ριπών. Το υπόλοιπο του υπό-πλαισίου DL αποτελείται από ριπές δεδομένων σε ανεξάρτητους σταθμούς συνδρομητών.

Κάθε ριπή δεδομένων αποτελείται από έναν ακέραιο αριθμό συμβόλων OFDM και καθορίζεται ένα προφίλ ριπών που προσδιορίζει τον αλγόριθμο κωδίκων, το ρυθμό κωδίκων, το επίπεδο διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται για αυτά τα δεδομένα που εκπέμπονται εντός της ριπής. Το υπό-πλαίσιο UL περιέχει ένα διάστημα συναγωνισμού για σκοπούς εύρεσης αρχικού βεληνεκούς, εκχώρησης εύρους ζώνης και για μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου (Protocol Data Units) του Φυσικού Στρώματος UL από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Το UL-MAP και το DL-MAP περιγράφουν εξ ολοκλήρου τα περιεχόμενα των υπό-πλαισίων UL και DL. Καθορίζουν τους σταθμούς συνδρομητών που λαμβάνουν ή/και εκπέμπουν σε κάθε ριπή, τα υπό-κανάλια στα οποία κάθε σταθμός συνδρομητή εκπέμπει (στο UL), και την κωδικοποίηση και διαμόρφωση που χρησιμοποιείται σε κάθε ριπή και σε κάθε υπό-κάνάλι.

Αν χρησιμοποιείται ανομοιότητα εκπομπής (transmission diversity), ένα κομμάτι του πλαισίου DL (που ονομάζεται ζώνη) μπορεί να οριστεί να είναι μια ζώνη ανομοιότητας εκπομπής. Όλες οι ριπές δεδομένων εντός της ζώνης ανομοιότητας εκπομπής εκπέμπονται με κωδικοποίηση STC. Τέλος, αν χρησιμοποιείται AAS, ένα κομμάτι του υπό-πλαισίου DL μπορεί να οριστεί ως ζώνη AAS. Μέσα σε αυτό το κομμάτι του υπό-πλαισίου, το σύστημα AAS χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με σταθμούς συνδρομητών ικανούς για επικοινωνία AAS. Το AAS υποστηρίζεται και στο UL.

2.4.2 WirelessMAN - OFDMA

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) με έναν μετασχηματισμό 2048 σημείων. Σε αυτό το σύστημα, η διευθυνσιοδότηση ενός υποσυνόλου των πολλαπλών φερόντων σε ανεξάρτητους δέκτες, παρέχει πολλαπλή πρόσβαση. Εξαιτίας των απαιτήσεων διάδοσης υποστηρίζεται η χρήση συστημάτων AAS.

Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN – OFDMA βασίζεται στη διαμόρφωση OFDM.

Υποστηρίζει υπό-καναλοποίηση σε UL και DL. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχέδια υπό-καναλοποίησης. Το Φυσικό Στρώμα OFDMA υποστηρίζει λειτουργίες και TDD και FDD. Επίσης υποστηρίζονται τα ίδια επίπεδα διαμόρφωσης. Υποστηρίζονται κωδικοποίηση STC και σύστημα AAS με SDMA, κατά τη συνήθη μέθοδο πολλαπλής εισόδου, πολλαπλής εξόδου (Multiple Input, Multiple Output). Η MIMO περιλαμβάνει έναν αριθμό τεχνικών για την αξιοποίηση πολλαπλών κεραιών στον σταθμό βάσης και στο σταθμό συνδρομητή με σκοπό να αυξηθεί η χωρητικότητα και το βεληνεκές του καναλιού.

Η δομή του πλαισίου στο Φυσικό Στρώμα OFDMA είναι όμοια με αυτήν του Φυσικού Στρώματος OFDM. Οι αξιοσημείωτες εξαιρέσεις είναι ότι η υπό-καναλοποίηση ορίζεται και στο DL και στο UL, έτσι μηνύματα μετάδοσης εκπέμπονται μερικές φορές ταυτόχρονα (σε διαφορετικά υπό-κανάλια) σαν δεδομένα. Ακόμη, επειδή ορίζεται ένα πλήθος διαφορετικών σχεδίων δόμησης της υπό-καναλοποίησης, το πλαίσιο διαιρείται σε κάποιες ζώνες που η κάθε μια χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό σχέδιο υπό-καναλοποίησης. Το στρώμα MAC είναι υπεύθυνο για τη διαίρεση του πλαισίου σε ζώνες και την επικοινωνία αυτής της δομής στους σταθμούς συνδρομητών σε DL-MAP και UL-MAP. Όπως και στο Φυσικό Στρώμα OFDM, υπάρχουν προαιρετικές ζώνες ανομοιότητας εκπομπής και AAS, καθώς και μια ζώνη MIMO.

2.4.3 Wireless High Speed Unlicensed Metro Area Network (WirelessHUMAN)

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

2.5 Παραλλαγές μονού φέροντος (Single Carrier)

Υπάρχουν δύο μονού φέροντος παραλλαγές του WiMAX. Αυτές οι παραλλαγές δομούνται με βάση τη FDD και TDD.

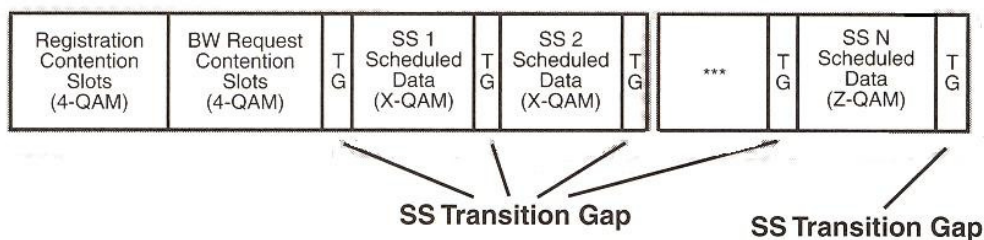
2.5.1 WirelessMAN-SC 10-66 GHz

Σε αυτή την point-to-multipoint αρχιτεκτονική, ο σταθμός βάσης βασικά εκπέμπει ένα σήμα πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing), με χρονοθυρίδες ανεξάρτητων σταθμών συνδρομητών κατανεμημένες σειριακά. Το WirelessMAN-SC 10-66 GHz αξιοποιεί έναν σχεδιασμό ριπών που επιτρέπει και TDD, στην οποία η UL και η DL μοιράζονται ένα κανάλι αλλά δεν εκπέμπουν συγχρόνως, και FDD, στην οποία η UL και η DL λειτουργούν μερικές φορές συγχρόνως σε ξεχωριστά κανάλια. Αυτός ο σχεδιασμός ριπών

επιτρέπει τον παρόμοιο χειρισμό TDD και FDD. Επιπλέον, και TDD και FDD υποστηρίζουν προσαρμοζόμενα προφίλ ριπών στα οποία οι επιλογές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης μπορούν να αναθέτονται δυναμικά βάσει ριπή-προς-ριπή.

Uplinks (UL) Η UL στο Φυσικό Στρώμα βασίζεται στο συνδυασμό TDMA και DAMA (Demand Assigned Multiple Access). Το κανάλι της UL διαιρείται σε έναν αριθμό χρονοθυρίδων. Το στρώμα MAC στον σταθμό βάσης ελέγχει τον αριθμό των θυρίδων (ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται στο χρόνο για βέλτιστη αποδοτικότητα) που αναθέτονται για διάφορες χρήσεις (καταχώρηση, διένεξη, ασφάλεια, ή κίνηση χρήστη). Το κανάλι UL είναι TDM, με την πληροφορία για κάθε σταθμό συνδρομητή πολυπλεγμένη σε μονή ροή δεδομένων και λαμβανόμενη από όλους τους σταθμούς συνδρομητών εντός του ίδιου τομέα. Για την υποστήριξη σταθμών συνδρομητών H-FDD, γίνεται μέριμα για ένα κομμάτι TDMA της DL.

Ένα τυπικό υπό-πλαίσιο UL για το Φυσικό Στρώμα 10-66 GHz απεικονίζεται στην Εικόνα A.11. Σε αντίθεση με την DL, το UL-MAP χορηγεί εύρος ζώνης σε συγκεκριμένους σταθμούς συνδρομητών. Οι σταθμοί συνδρομητών εκπέμπουν στην καθορισμένη κατανομή χρησιμοποιώντας το προφίλ ριπών που προσδιορίζει το μήνυμα Uplink Interval Usage Code στην είσοδο του UL-MAP χορηγώντας τους εύρος ζώνης. Το υπό-πλαίσιο UL μπορεί να περιέχει κατανομές βασισμένες στους συναγωνισμούς για αρχική πρόσβαση στο σύστημα και για εκπομπή ή πολυεκπομπή αιτήσεων εύρους ζώνης. Οι ευκαιρίες πρόσβασης για αρχική πρόσβαση στο σύστημα είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν επιπλέον χρόνο προστασίας για τους σταθμούς συνδρομητών που δεν έχουν επιλύσει τον περισσότερο χρόνο εκπομπής που είναι απαραίτητος για την ισοφάριση με την καθυστέρηση μετάβασης και επιστροφής (round-trip delay) στον σταθμό βάσης.



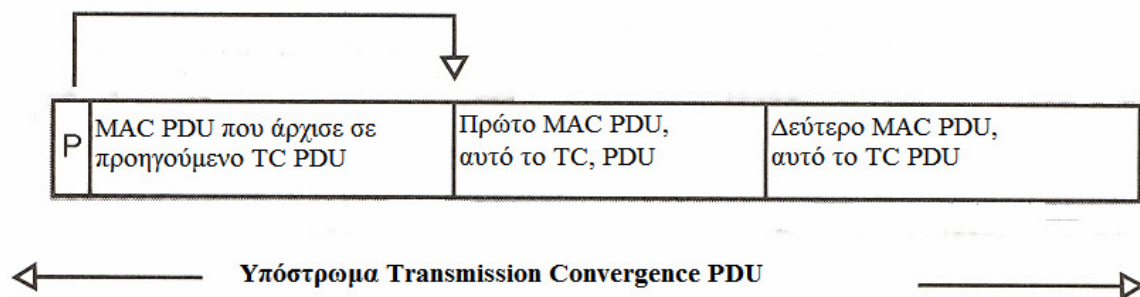
Εικόνα A.11 (UL υπό-πλαίσιο)

Downlinks (DL) Το Φυσικό Στρώμα DL περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής (Transmission Convergence) που εισάγει ένα byte δείκτη στην αρχή του ωφέλιμου φορτίου

για να βοηθήσει το δέκτη να αναγνωρίσει την αρχή ενός MAC PDU. Τα bits δεδομένων που προέρχονται από το υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής είναι τυχαία κατανομημένα, κωδικοποιημένα με FEC (Forward Error Correction), και απεικονισμένα σε μια ομοιογενή ομάδα σημάτων QPSK, 16-QAM, ή 64-QAM (προαιρετικά). Σε αυτή τη δομή για ένα πλαίσιο DL ριπής FDD, κάθε πλαίσιο υποδιαιρείται σε έναν αριθμό φυσικών υποδοχών, και κάθε υποδοχή αντιπροσωπεύει τέσσερα σύμβολα διαμόρφωσης. Το πλαίσιο αρχίζει με ένα τμήμα TDM που οργανώνεται σε διαφορετικές ομάδες διαμόρφωσης και FEC. Οι ομάδες περιέχουν δεδομένα που εκπέμπονται σε σταθμούς αμφίδρομης επικοινωνίας (full-duplex). Το τελευταίο τμήμα του πλαισίου είναι το τμήμα TDMA, το οποίο περιέχει δεδομένα που εκπέμπονται σε σταθμούς ημιαμφίδρομης επικοινωνίας (half-duplex).

Κάθε πλαίσιο ριπής στην ανοδική ροή (upstream) περιέχει τριών ειδών υποδοχές: (1) υποδοχές συναγωνισμού (contention slots) για καταγραφή, (2) υποδοχές συναγωνισμού για αιτήσεις εύρους ζώνης/καναλιών, και (3) υποδοχές κρατημένες για ανεξάρτητους σταθμούς. Κάθε τύπος υποδοχής έχει το σχέδιο διαμόρφωσης που υποτίθεται πως υποστηρίζει, και διαφορετικοί σταθμοί μπορούν να πάρουν διαφορετικά σχέδια διαμόρφωσης. Οι υποδοχές συναγωνισμού χρησιμοποιούν 4-QAM, αλλά οι κρατημένες υποδοχές μπορούν να πάρουν οποιοδήποτε σχέδιο διαμόρφωσης.

Στη συνεχόμενη FDD, το κανάλι ανοδικής ροής υφίσταται κατάτμηση σε μια σειρά μικρό-υποδοχών, και κάθε μικρό-υποδοχή αποτελείται από μια ομάδα φυσικών υποδοχών. Όπως προαναφέρθηκε, μια φυσική υποδοχή αποτελείται από τέσσερα σύμβολα διαμόρφωσης. Ο σταθμός βάσης εκπέμπει περιοδικά το ανοδικής ροής μήνυμα MAP στο κανάλι κατερχόμενης ροής. Το ανοδικής ροής μήνυμα MAP ορίζει την επιτρεπτή χρήση κάθε μικρό-υποδοχής ανοδικής ροής εντός του χρονικού διαστήματος του μηνύματος MAP. Τα ανοδικής ροής μηνύματα MAP εκπέμπονται περίπου 250 φορές το δευτερόλεπτο. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα A.12

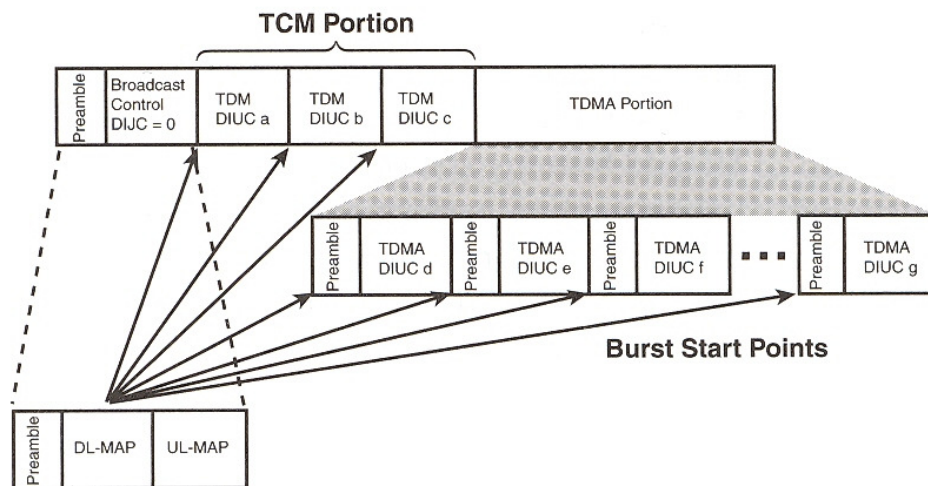


Εικόνα A.12 (Υπόστρωμα TC και MAC PDU στο WirelessMAN-SC)

Το FEC που χρησιμοποιείται στο WiMAX είναι Reed-Solomon Galois Field(256), με

μεταβλητό μέγεθος μπλοκ και δυνατότητες διόρθωσης σφαλμάτων. Αυτό συνδυάζεται με ένα εσωτερικό μπλοκ περίπλοκου κώδικα για την αξιόπιστη εκπομπή κρίσιμων δεδομένων όπως έλεγχος πλαισίου και αρχικές προσβάσεις. Οι επιλογές FEC συνδυάζονται με QPSK, 16-QAM, και 64-QAM για τον σχηματισμό προφίλ ριπών διαφόρων επιπέδων ευρωστίας και αποδοτικότητας. Αν το τελευταίο μπλοκ FEC είναι κενό αυτό το μπλοκ μπορεί να κοπεί. Το κώψιμο αυτό σε DL και UL ελέγχεται από τον σταθμό βάσης και η συνεννόηση γίνεται με τη βοήθεια των UL-MAP και DL-MAP.

Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο 0,5, 1, ή 2 msec. Αυτό το πλαίσιο διαιρείται σε φυσικές υποδοχές με σκοπό την κατανομή εύρους ζώνης και την αναγνώριση μεταβάσεων του Φυσικού Στρώματος. Μια φυσική υποδοχή ορίζεται να είναι τέσσερα σύμβολα QAM. Στην TDD παραλλαγή του Φυσικού Στρώματος, το υπό-πλαίσιο UL ακολουθεί το υπό-πλαίσιο DL στην ίδια συχνότητα φέροντος. Στην FDD παραλλαγή, τα υπό-πλαίσια UL και DL συμπίπτουν χρονικά αλλά φέρονται σε διαφορετικές συχνότητες. Το υπό-πλαίσιο DL απεικονίζεται στην Εικόνα A.13



Εικόνα A.13 (Υπό-πλαίσιο FDD κατερχόμενης ζεύξης)

Υπό-πλαίσιο DL Το υπό-πλαίσιο DL αρχίζει με ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει το DL-MAP για το συγκεκριμένο πλαίσιο DL καθώς και το UL-MAP για μια καθορισμένη στιγμή στο μέλλον. Το DL-MAP καθορίζει πότε γίνονται οι μεταβάσεις του Φυσικού Στρώματος (διαμόρφωσης και αλλαγές FEC) εντός του υπό-πλαισίου DL. Το υπό-πλαίσιο DL τυπικά περιέχει το τμήμα ελέγχου πλαισίου ακολουθούμενο από ένα κομμάτι TDM. Τα δεδομένα του DL εκπέμπονται σε κάθε σταθμό συνδρομητή χρησιμοποιώντας ένα διαπραγματευόμενο προφίλ ριπών. Τα δεδομένα εκπέμπονται με σκοπό τη μείωση της σθεναρότητας για να επιτρέπεται στους σταθμούς συνδρομητών να λαμβάνουν τα δεδομένα

τους πριν παρουσιάσουν τον εαυτό τους με ένα προφίλ ριπών που θα μπορούσε να προκαλέσει την απώλεια συγχρονισμού με το DL.

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

Εξαιτίας της δυναμικής της απαίτησης εύρους ζώνης για την ποικιλία των υπηρεσιών που μπορεί να είναι ενεργές, η σύμμειξη και διάρκεια των προφίλ ριπών και η παρουσία ή απουσία του κομματιού TDMA μεταβάλλονται δυναμικά από πλαίσιο σε πλαίσιο. Επειδή ο παραλήπτης σταθμός συνδρομητή υποδεικνύεται πιο αυτονόητα στις κεφαλίδες MAC παρά στο DL-MAP, οι σταθμοί συνδρομητών ακούν σε όλα τα κομμάτια του υπό-πλασιού DL που είναι ικανοί να λάβουν. Για full-duplex σταθμούς συνδρομητών, αυτό σημαίνει λήψη όλων των προφίλ ριπών ίσης ή μεγαλύτερης σθεναρότητας από αυτά που διαπραγματεύτηκαν με τον σταθμό βάσης.

2.5.2 WirelessMAN – Single Carrier Access (WirelessMAN-SCa) 2-11 GHz

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί έναν τύπο διαμόρφωσης μονού φέροντος στο φάσμα 2-11 GHz και είναι σχεδιασμένη για λειτουργία χωρίς οπτική επαφή (NLOS). Το Φυσικό Στρώμα του WirelessMAN-SCa ορίζονται πέντε έννοιες. Στοιχεία αυτού του Φυσικού Στρώματος περιλαμβάνουν ορισμούς TDD και FDD (ένας εκ των οποίων πρέπει να υποστηρίζεται), TDMA UL, TDM ή TDMA DL, και διαμόρφωση προσαρμοζόμενη στα μπλοκ. Το Φυσικό Στρώμα περιλαμβάνει επίσης κωδικοποίηση FEC για UL και DL και δομές πλαισίων που επιτρέπουν βελτιωμένη εξισορρόπηση, υπολογισμό απόδοσης καναλιού σε NLOS, και εκτεταμένης καθυστέρησης εξαπλωμένα περιβάλλοντα, ρυθμίσεις παραμέτρων, και μηνύματα MAC/PHY που διευκολύνουν προαιρετικές υλοποιήσεις AAS. Ο Πίνακας A.2 δίνει με λεπτομέρειες αυτή την προδιαγραφή.

Πίνακας Α.2 (WirelessMAN-SCa 2-11 GHz)

Ορολογία	Περιγραφή
Payload	Το ωφέλιμο φορτίο αναφέρεται σε ανεξάρτητες μονάδες περιεχομένου εκπομπής που προορίζονται σε κάποια οντότητα στο άκρο του παραλήπτη.
Burst	Μια ριπή περιέχει δεδομένα ωφέλιμου φορτίου και είναι σχηματισμένη σύμφωνα με τους κανόνες που ορίζει στο συσχετιζόμενο προφίλ ριπών. Η ύπαρξη ριπής γίνεται γνωστή στο δέκτη μέσω των περιεχομένων είτε του UL-MAP είτε του DL-MAP. Για το UL, μια ριπή είναι μια ολοκληρωμένη μονάδα εκπομπής που περιλαμβάνει ένα προοίμιο, κωδικοποιημένο ωφέλιμο φορτίο, και ακολουθία τερματισμού.
Burst Set	Ένα σύνολο ριπών είναι μια αυτοδύναμη οντότητα εκπομπής αποτελούμενη από προοίμιο, μια ή περισσότερες συνενωμένες ριπές, και ακολουθία τερματισμού. Για το UL, είναι ότι είναι και το burst.
Burst Frame	Ένα πλαίσιο ριπής περιέχει όλες τις πληροφορίες που περιλαμβάνονται σε μια μονή εκπομπή. Αποτελείται από ένα ή περισσότερα burst sets. Τα υπό-πλαίσια DL και UL εμπεριέχονται το καθένα σε ένα Burst Frame.
MAC Frame	Ένα MAC πλαίσιο αναφέρεται στα σταθερά διαστήματα εύρους ζώνης κρατημένα για ανταλλαγή δεδομένων. Για την TDD, ένα πλαίσιο MAC αποτελείται από ένα υπό-πλαίσιο DL και ένα υπό-πλαίσιο UL οριοθετημένο από το TTG. Για την FDD, το πλαίσιο MAC συμπίπτει με το μέγιστο μήκος του υπό-πλαισίου DL. Τα υπό-πλαίσια FDD UL λειτουργούν την ίδια χρονική περίοδο με τα υπό-πλαίσια DL αλλά σε διαφορετική συχνότητα.

2.6 Συμπέρασμα

Χωρίς αμφιβολία, το Φυσικό Στρώμα του WiMAX είναι σθεναρό. Κι αυτό συμβαίνει επειδή χρησιμοποιεί δοκιμασμένες «παραδοσιακές» τεχνολογίες για την επίδοση του μέγιστου εύρους ζώνης στη μέγιστη απόσταση με τις ελάχιστες απώλειες λόγω παρεμβολών. Επειδή πολλές παραλλαγές του Φυσικού Στρώματος αναπτύχθηκαν εντός των προδιαγραφών, το πρότυπο μπορεί να εφαρμοστεί με πολλαπλούς ρόλους σε ένα ασύρματο δίκτυο. Για παράδειγμα, η παραλλαγή SC είναι μια καλή λύση για point-to-point backhaul εφαρμογές, και η παραλλαγή OFDM είναι μια καλή λύση για point-to-multipoint εφαρμογές στο τελευταίο μίλι (last-mile). Μαζί, αυτές οι παραλλαγές και οι υποκείμενες τεχνολογίες είναι οι θεμέλιοι λίθοι για ένα ασύρματο ευρυζωνικό δίκτυο επόμενης γενιάς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Το Στρώμα Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (Medium Access Control)

3.1 Η σχέση του MAC με το Φυσικό Στρώμα (PHY)

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).

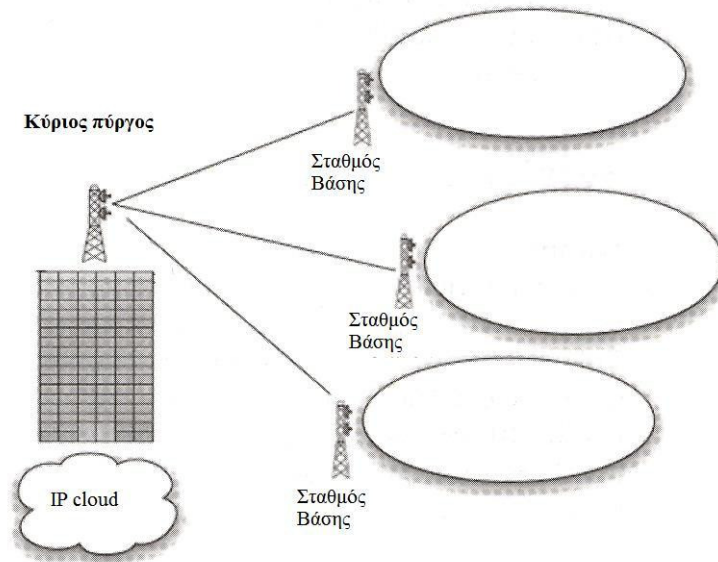
Το πρωτόκολλο MAC του WiMAX σχεδιάστηκε για point-to-multipoint εφαρμογές ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Επιλαμβάνεται της ανάγκης για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, και για το UL (στον σταθμό βάσης) και για το DL (από τον σταθμό βάσης). Με το WiMAX, σε αντίθεση με τους Wi-Fi προκατόχους 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 υπό-στρώματα σύγκλισης αντιστοιχίζουν την κίνηση που ορίζει το στρώμα μεταφοράς σε ένα MAC που είναι αρκετά ευέλικτο ώστε να μεταφέρει αποτελεσματικά οποιοδήποτε είδος κίνησης. Τα υπό-στρώματα 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.

3.2 Το MAC και η αρχιτεκτονική του WiMAX

Το WiMAX DL από τον σταθμό βάσης στον χρήστη έχει point-to-multipoint λειτουργία όπως απεικονίζεται στην Εικόνα A.14 Η ασύρματη ζεύξη του WiMAX λειτουργεί με έναν κεντρικό σταθμό βάσης με μια κατευθυντική κεραία ικανή να χειρίζεται πολλαπλούς ανεξάρτητους τομείς ταυτόχρονα. Εντός ενός δεδομένου καναλιού συχνότητας και τομέα κεραίας, όλοι οι σταθμοί λαμβάνουν την ίδια εκπομπή. Ο σταθμός βάσης είναι ο μόνος πομπός που λειτουργεί σε αυτή την κατεύθυνση, έτσι εκπέμπει χωρίς να χρειάζεται να

συντονιστεί με άλλους σταθμούς εκτός από το συνολικό TDD που μπορεί να διαιρεί το χρόνο σε περιόδους εκπομπής UL και DL. Το DL είναι γενικώς εκπομπή σε όλους τους σταθμούς. Σε περιπτώσεις που το DL-MAP δεν υποδηλώνει ρητά πως ένα κομμάτι του DL υπό-πλαισίου δεν είναι για ένα συγκεκριμένο σταθμό συνδρομητή, όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που είναι ικανοί να «ακούσουν» σε αυτό το κομμάτι του υπό-πλαισίου DL θα «ακούσουν».



Εικόνα Α.14 (Τυπική αρχιτεκτονική WiMAX για point-to-multipoint διανομή)

Το MAC είναι συνδεδεσμένο. Οι συνδέσεις αναφέρονται με αναγνωριστικά σύνδεσης (Connection ID, CID) και είναι πιθανόν να απαιτούν συνεχώς χορηγούμενο εύρος ζώνης ή εύρος ζώνης κατά απαίτηση. Μπορούν να υπάρξουν μέχρι 65535 CID ανά κανάλι ραδιοσυχνότητας. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, φιλοξενούνται και τα δύο είδη εύρους ζώνης. Για τη διάκριση πολλαπλών καναλιών UL που σχετίζονται με το ίδιο κανάλι DL χρησιμοποιείται ένα CID. Οι σταθμοί συνδρομητών ελέγχουν τα CID στα λαμβανόμενα PDU και διατηρούν μόνο τα PDU που απευθύνονται σε αυτούς.

Το MAC PDU είναι η μονάδα δεδομένων που ανταλλάσσεται μεταξύ των MAC στρωμάτων του σταθμού βάσης και των σταθμών συνδρομητών του. Είναι η μονάδα δεδομένων που παράγεται στην καθοδική κατεύθυνση για το επόμενο χαμηλότερο στρώμα και η μονάδα δεδομένων που λαμβάνεται κατά την ανοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο χαμηλότερο στρώμα.

Κάθε σταθμός συνδρομητή έχει μια συνήθη διεύθυνση MAC 48-bit, η οποία είναι και αναγνωριστικό εξοπλισμού επειδή οι κύριες διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας είναι τα CID. Με την είσοδο στο δίκτυο, ανατίθενται στον σταθμό

συνδρομητή τρεις συνδέσεις διαχείρισης σε κάθε κατεύθυνση. Αυτές οι τρεις συνδέσεις αντιπροσωπεύουν τις τρεις διαφορετικές απαιτήσεις QoS που χρησιμοποιούνται από διαφορετικά επίπεδα διαχείρισης:

- Βασική σύνδεση (Basic connection) – μεταφέρει μικρά, time-critical μηνύματα MAC και ελέγχου ράδιο ζεύξης (Radio Link Control) (Αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4).
- Σύνδεση πρωτεύουσας διαχείρισης (Primary management connection) – μεταφέρει μεγαλύτερα, περισσότερο ανεκτικά στην καθυστέρηση μηνύματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για αυθεντικοποίηση και αρχικοποίηση της σύνδεσης. Η σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης μεταφέρει μηνύματα διαχείρισης που έχουν σχέση με τα πρότυπα, όπως DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol), και SNMP (Simple Network Management Protocol). Εκτός από αυτές τις συνδέσεις διαχείρισης, οι σταθμοί συνδρομητών είναι εκχωρημένες συνδέσεις μεταφοράς για τις συμφωνημένες υπηρεσίες.
- Συνδέσεις μεταφοράς (Transport connection) – είναι μονοκατευθυντικές για να υπάρχει διαφορετικό QoS UL και DL καθώς και παραμέτρους κίνησης. Τυπικά εκχωρούνται σε υπηρεσίες ανά ζευγάρι.

Οι σταθμοί συνδρομητών μοιράζονται το UL στον σταθμό βάσης κατά απαίτηση. Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τάξη υπηρεσίας, ο σταθμός συνδρομητή μπορεί να χορηγείται δικαιώματα εκπομπής συνεχώς, ή ο σταθμός βάσης μπορεί να χορηγήσει το δικαίωμα εκπομπής μετά από λήψη αίτησης από έναν χρήστη.

3.2.1 Τάξεις υπηρεσιών και QoS

Μέσα σε κάθε τομέα, οι χρήστες τηρούν ένα πρωτόκολλο εκπομπής που ελέγχει τις διαμάχες μεταξύ των χρηστών και επιτρέπει στην υπηρεσία να συνταιριαστεί στην καθυστέρηση και τις απαιτήσεις εύρους ζώνης της κάθε εφαρμογής χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τεσσάρων ειδών μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού του UL. Αυτοί οι μηχανισμοί υλοποιούνται χρησιμοποιώντας αυτόκλητες αιτήσεις εύρους ζώνης, προσκλήσεων για εκπομπή (polling) και διαδικασίες συναγωνισμού. Το MAC του WiMAX παρέχει διαφοροποίηση του QoS για διαφορετικά είδη εφαρμογών που ενδεχομένως λειτουργούν πάνω από δίκτυα WiMAX:

- Υπηρεσίες Αυτόκλητης Αίτησης (Unsolicited Grant Services) – Οι UGS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη αμετάβλητου ρυθμού μετάδοσης (Constant Bit Rate), όπως εξομοίωση T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.

- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Services) – Οι rtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG ή VoIP με καταστολή σιωπής.
- Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Services) – Οι nrtPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητό μέγεθος δεδομένων.
- Υπηρεσίες Καλύτερης Προσπάθειας (Best Effort Services) – Οι BE υπηρεσίες παρέχονται τυπικά από το Διαδίκτυο σήμερα για περιήγηση στο δίκτυο (web surfing).

Η χρήση των προσκλήσεων για εκπομπή απλοποιεί τη λειτουργία πρόσβασης και εγγυάται ότι οι εφαρμογές λαμβάνουν την υπηρεσία σε μια προκαθορισμένη βάση αν απαιτείται. Γενικώς, οι εφαρμογές δεδομένων είναι ανεκτικές στις καθυστερήσεις, αλλά οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως φωνή και βίντεο, απαιτούν υπηρεσία σε μια πιο ομοιόμορφη βάση και μερικές φορές σε ένα πολύ σφιχτά ελεγχόμενο πρόγραμμα.

Για σκοπούς αντιστοίχισης των υπηρεσιών στους σταθμούς συνδρομητών και συσχετισμού ποικίλων επιπέδων QoS, όλες οι επικοινωνίες δεδομένων είναι στο γενικότερο θεματικό πλαίσιο μιας σύνδεσης. Οι ροές υπηρεσιών μπορούν να παρέχονται όταν είναι εγκατεστημένος ένας σταθμός συνδρομητή στο σύστημα. Αμέσως μετά την καταχώρηση του σταθμού συνδρομητή οι συνδέσεις συσχετίζονται με αυτές τις ροές υπηρεσιών (μια σύνδεση ανά ροή υπηρεσίας) για να παρέχουν μια σχέση στην οποία θα γίνει η αίτηση εύρους ζώνης. Επιπροσθέτως, όταν η υπηρεσία ενός πελάτη χρειάζεται αλλαγή μπορεί να εγκαθιδρυθούν νέες συνδέσεις. Μια σύνδεση ορίζει μια ροή υπηρεσίας καθώς και την αντιστοίχιση μεταξύ διαδικασιών ομότιμης σύγκλισης που χρησιμοποιούν το MAC. Η ροή υπηρεσίας ορίζει τις παραμέτρους QoS για τα PDU που ανταλλάσσονται μόλις εγκαθιδρυθεί η σύνδεση.

Οι ροές υπηρεσίας είναι ο μηχανισμός για UL και DL για διαχείριση QoS. Συγκεκριμένα, διευκολύνουν τη διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης. Ένας σταθμός συνδρομητή αιτείται εύρος ζώνης UL ανά σύνδεση (αφανώς αναγνωρίζοντας τη ροή υπηρεσίας). Ο σταθμός βάσης χορηγεί το εύρος ζώνης στον σταθμό συνδρομητή ως ένα σύνολο αιτήσεων σε απόκριση των ανά σύνδεση αιτήσεων από τους σταθμούς συνδρομητών.

Τα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης καθορίζονται σε ένα προφίλ ριπών που μπορεί να ρυθμιστεί προσαρμοζόμενο σε κάθε ριπή σε κάθε σταθμό συνδρομητή. Το MAC μπορεί να κάνει χρήση προφίλ ριπών που διαχειρίζονται αποτελεσματικά το εύρος ζώνης υπό ιδανικές συνθήκες ζεύξης μετά να πάει σε πιο αξιόπιστες μεν, λιγότερο αποτελεσματικές δε,

εναλλακτικές λύσεις, όπως απαιτεί η επιθυμητή 99,999% διαθεσιμότητα ζεύξης (QPSK σε 16-QAM σε 64-QAM).

Ο μηχανισμός αίτησης – χορήγησης σχεδιάστηκε να είναι κλιμακούμενος, αποτελεσματικός, και αυτό-διορθωτικός. Το σύστημα πρόσβασης του WiMAX δε χάνει σε αποτελεσματικότητα όταν υλοποιείται με πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό, πολλαπλά επίπεδα QoS ανά τερματικό, και μεγάλο αριθμό χρηστών στατιστικής πολυπλεξίας.

Παράλληλα με τη θεμελιώδη εργασία κατανομής του εύρους ζώνης και μεταφοράς των δεδομένων, το MAC περιλαμβάνει ένα υπόστρωμα ιδιωτικότητας που παρέχει αυθεντικοποίηση για την πρόσβαση στο δίκτυο και την εγκαθίδρυση της σύνδεσης ώστε να αποφευχθεί κλοπή υπηρεσίας, και παρέχει ανταλλαγή κλειδιών και κρυπτογράφηση για ιδιωτικότητα δεδομένων.

3.3 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών

Το πρότυπο WiMAX ορίζει δύο ειδικών υπηρεσιών γενικά υποστρώματα σύγκλισης για την αντιστοίχιση υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του WiMAX:

- *ATM convergence sub layer*. Το υπόστρωμα σύγκλισης ATM είναι για υπηρεσίες ATM.
- *Packet convergence sub layer*. Το υπόστρωμα σύγκλισης πακέτων ορίζεται για την αντιστοίχιση υπηρεσιών πακέτου όπως Internet Protocol version 4 ή 6 (IPv4, IPv6), Ethernet, και VLAN (Virtual Local Area Network).

Η κύρια λειτουργία του υποστρώματος είναι η ένταξη των SDU (Service Data Units) στη σωστή σύνδεση MAC, η διαφύλαξη ή ενεργοποίηση QoS, και η ενεργοποίηση της κατανομής εύρους ζώνης. Τα SDU είναι οι μονάδες που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο γειτονικών στρωμάτων πρωτοκόλλων. Είναι οι μονάδες δεδομένων που λαμβάνονται στην καθοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο υψηλότερο στρώμα και οι μονάδες δεδομένων που αποστέλλονται κατά την ανοδική κατεύθυνση στο επόμενο υψηλότερο στρώμα. Η αντιστοίχιση παίρνει διάφορες μορφές, ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας. Εκτός από αυτές τις βασικές λειτουργίες, τα υποστρώματα σύγκλισης πραγματοποιούν πολύπλοκες λειτουργίες, όπως καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου και ανακατασκευή, για την βελτίωση της ασύρματης αποτελεσματικότητας.

3.3.1 Common Part Sub layer

Το MAC δεσμεύει επιπλέον συνδέσεις για άλλους σκοπούς. Μια σύνδεση δεσμεύεται για αρχική πρόσβαση βάσει συναγωνισμών. Μια άλλη δεσμεύεται για εκπομπή σε όλους τους

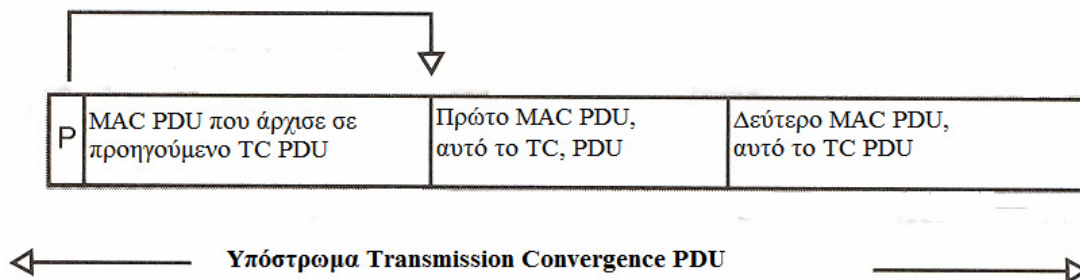
σταθμούς στο DL καθώς και για τη σηματοδότηση εκπομπής σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμού των ευρυζωνικών αναγκών των σταθμών συνδρομητών. Επιπλέον συνδέσεις δεσμεύονται για πολυεκπομπή σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμών (contention-based multicast polling). Οι σταθμοί συνδρομητών μπορεί να διαταχθούν να προσχωρήσουν σε ομάδες πολυεκπομπής σταθμοσκόπησης που συσχετίζονται με αυτές τις συνδέσεις πολυεκπομπής σταθμοσκόπησης.

Μορφές MAC PDU

Μια MAC PDU αποτελείται από μια κεφαλίδα MAC σταθερού μήκους, ένα ωφέλιμο φορτίο μεταβλητού μήκους, και έναν προαιρετικό κυκλικό έλεγχο πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check). Ορίζονται δύο μορφές κεφαλίδων: η γενική κεφαλίδα (όπως φαίνεται στην Εικόνα A.15) και η κεφαλίδα αίτησης εύρους ζώνης. Εκτός από τις MAC PDU αίτησης εύρους ζώνης, οι οποίες δεν περιέχουν καθόλου ωφέλιμο φορτίο, οι MAC PDU περιέχουν είτε μηνύματα διαχείρισης MAC ή δεδομένα υποστρώματος σύγκλισης.

Υπάρχουν τρία είδη MAC υπό-κεφαλίδων:

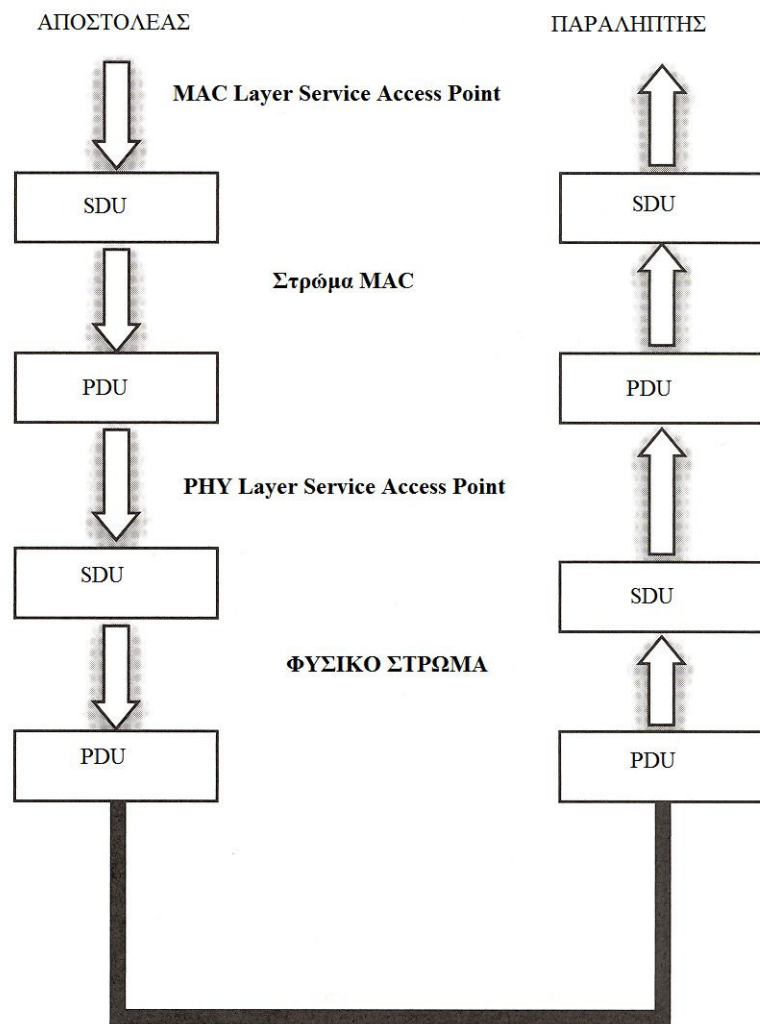
- Υπό-κεφαλίδα επιχορήγησης διαχείρισης (Grant Management Sub-header) – χρησιμοποιείται από έναν σταθμό συνδρομητή για τη διαβίβαση των αναγκών διαχείρισης εύρους ζώνης στον σταθμό βάσης του.
- Υπό-κεφαλίδα κατάτμησης (Fragmentation sub-header) – περιέχει πληροφορίες που υποδηλώνουν την παρουσία και τον προσανατολισμό στο ωφέλιμο φορτίο τυχόντων τμημάτων στις SDU.
- Υπό-κεφαλίδα πακετοποίησης (Packing sub-header) – υποδηλώνει την πακετοποίηση πολλαπλών SDU σε μια μονή PDU. Οι υπό-κεφαλίδες εκχώρησης διαχείρισης και κατάτμησης μπορούν να εισέλθουν σε μια MAC PDU ακολουθούμενες αμέσως τη γενική κεφαλίδα αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field. Η υπό-κεφαλίδα πακετοποίησης μπορεί να εισέλθει πριν την εκάστοτε MAC SDU αν αυτό υποδηλώνεται από το Type Field.



Εικόνα A.15 (MAC PDU)

Μετάδοση των MAC PDU και SDU

Οι εισερχόμενες MAC SDU από τα αντίστοιχα υποστρώματα σύγκλισης είναι μορφοποιημένες σύμφωνα με τη μορφή του MAC PDU, με κατάτμηση, ή/και πακετοποίηση, πριν διαβιβαστούν πάνω από μια ή περισσότερες συνδέσεις σύμφωνα με το πρωτόκολλο MAC. Μετά τη διάσχιση της ασύρματης ζεύξης, οι MAC PDU ανακατασκευάζονται στις αρχικές MAC SDU έτσι ώστε οι τροποποιήσεις που έγιναν από το πρωτόκολλο του στρώματος MAC να είναι σαφείς στην λαμβάνουσα οντότητα. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα A.16



Εικόνα A.16 (Κατάτμηση και πακετοποίηση των SDU και PDU)

3.3.2 Πακετοποίηση και Κατάτμηση (Packing and Fragmentation)

Το WiMAX επωφελείται από την ενσωμάτωση των διαδικασιών πακετοποίησης και κατάτμησης με τη διαδικασία κατανομής εύρους ζώνης με σκοπό τη μεγιστοποίηση της ευελιξίας, της αποδοτικότητας και την δραστικότητα αυτών των δύο. Η κατάτμηση (fragmentation) είναι η διαδικασία κατά την οποία μια MAC SDU διαιρείται σε ένα ή

περισσότερα κομμάτια MAC SDU. Η πακετοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία πολλαπλές MAC SDU πακετάρονται σε ένα μονό MAC PDU ωφέλιμο φορτίο. Τις δύο διαδικασίες μπορεί να αρχικοποιήσει είτε ένας σταθμός βάσης για μια DL σύνδεση, είτε ένας σταθμός συνδρομητή για μια UL σύνδεση. Το WiMAX επιτρέπει ταυτόχρονη κατάτμηση και πακετοποίηση για αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης.

3.3.3 Δημιουργία PDU και ARQ

Τα ARQ μπλοκ είναι διακριτές μονάδες δεδομένων που μεταφέρονται σε συνδέσεις που υποστηρίζουν ARQ. Σκοπός του ARQ είναι η επανεκπομπή χαμένων ή αλλοιωμένων MAC SDU μπλοκ (δηλαδή μπλοκ ARQ). Το MAC του WiMAX χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση βασισμένη στην τεχνική του «ολισθαίνοντος παραθύρου» όπου ο πομπός μπορεί να αποστείλει έναν αριθμό μπλοκ χωρίς να λαμβάνει επιβεβαίωση. Ο δέκτης στέλνει μηνύματα επιβεβαίωσης ή αρνητικής επιβεβαίωσης για να πει στον πομπό ποια SDU μπλοκ λήφθηκαν και ποια χάθηκαν. Ο πομπός επανεκπέμπει μπλοκ που χάθηκαν και μετακινεί το ολισθαίνον παράθυρο εμπρός όταν έχουν επιβεβαιωθεί τα SDU μπλοκ που ληφθεί.

Σε κάθε σύνδεση σταθμού συνδρομητή-σταθμού βάσης ανατίθεται μια τάξη υπηρεσίας, ως μέρος της δημιουργίας της σύνδεσης. Όταν τα πακέτα ταξινομούνται στο υπόστρωμα σύγκλισης, η σύνδεση στην οποία είναι τοποθετημένα επιλέγεται βάσει των εγγυήσεων QoS που απαιτεί η εφαρμογή.

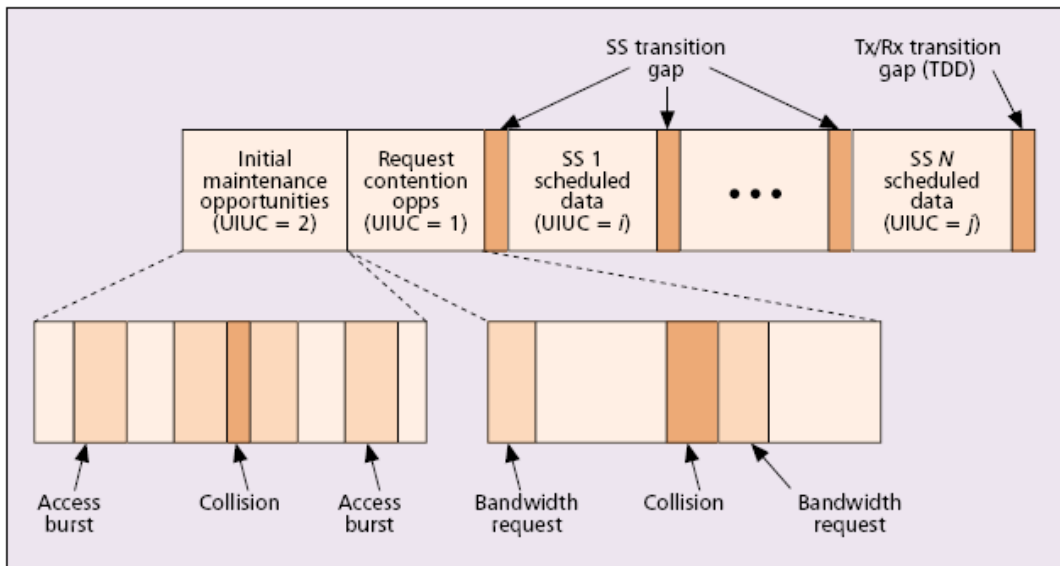
Η Εικόνα A.16 παρουσιάζει τον μηχανισμό QoS του WiMAX για υποστήριξη πολυμεσικών υπηρεσιών περιλαμβάνοντας φωνή TDM, VoIP, συνεχή ροή βίντεο, TFTP, HTTP, e-mail.

Υποστήριξη επιπέδου PHY και δομή πλαισίου Το MAC του WiMAX υποστηρίζει και TDD και FDD. Στην FDD, υποστηρίζονται συνεχόμενης και εκρηκτικής (burst) ροής DL. Τα συνεχόμενης ροής DL χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες τεχνικές βελτίωσης της σθεναρότητας, όπως διεμπλοκή. Τα burst DL (είτε για TDD είτε για FDD) επιτρέπουν τη χρήση τεχνικών πιο προηγμένης σθεναρότητας και βελτιωμένης χωρητικότητας, όπως προσαρμοζόμενα προφίλ ριπών σε επίπεδο συνδρομητή και συστήματα AAS.

Το MAC δομεί το υπό-πλαίσιο DL αρχίζοντας με ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει τα μηνύματα DL-MAP και UL-MAP. Αυτά υποδηλώνουν τις μεταβάσεις του Φυσικού Επιπέδου στο DL καθώς επίσης κατανομές εύρους ζώνης και προφίλ ριπών στο UL.

Το DL-MAP είναι πάντα εφαρμόσιμο στο τρέχον πλαίσιο και έχει πάντα μήκος τουλάχιστο δύο FEC μπλοκ. Η πρώτη Φυσικού Επιπέδου μετάβαση διατυπώνεται στο πρώτο

FEC μπλοκ ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος επεξεργασίας. Στα TDD και FDD συστήματα, το UL-MAP παρέχει εκχωρήσεις που ξεκινούν όχι αργότερα από το επόμενο πλαίσιο DL. Το UL-MAP, μπορεί ωστόσο, να εκχωρεί αρχίζοντας στο τρέχον πλαίσιο για όσο οι χρόνοι επεξεργασίας και καθυστέρησης μετάβασης-επιστροφής (round-trip) τηρούνται. Ο ελάχιστος χρόνος μεταξύ γνωστοποίησης παραλαβής και εφαρμοσιμότητας του UL-MAP για ένα σύστημα FDD απεικονίζεται στην Εικόνα A.17



Εικόνα A.17

3.4 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής (Transmission Convergence)

Μεταξύ του PHY και του MAC υπάρχει ένα υπόστρωμα TC (Εικόνα A.18). Αυτό το στρώμα μετασχηματίζει MAC PDU μεταβλητού μήκους σε σταθερού μήκους μπλοκ FEC (συν πιθανώς ένα βραχύτερο μπλοκ στο τέλος κάθε ριπής). Το στρώμα TC έχει μια PDU με τέτοιο μέγεθος που να ταιριάζει στο FEC μπλοκ που γεμίζεται τρέχοντας. Αρχίζει με ένα δείκτη που υποδεικνύει που αρχίζει η επόμενη κεφαλίδα MAC PDU εντός του FEC μπλοκ. Αυτό φάνηκε στην Εικόνα A.16 Η μορφοποίηση του TC PDU επιτρέπει επανασυγχρονισμό στο επόμενο MAC PDU στην περίπτωση που το προηγούμενο FEC μπλοκ είχε αμετάκλητα σφάλματα.



Εικόνα A.18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 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, κοκ. 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 το χρήστη ή κάποιο κύκλο δοσοληψιών του πάροχο υπηρεσιών.

Μετά την εγκατάσταση, ο SS αρχίζει να σαρώνει τη λίστα συχνοτήτων του για να βρει ένα λειτουργικό κανάλι. Μπορεί να είναι προ-ρυθμισμένος 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.

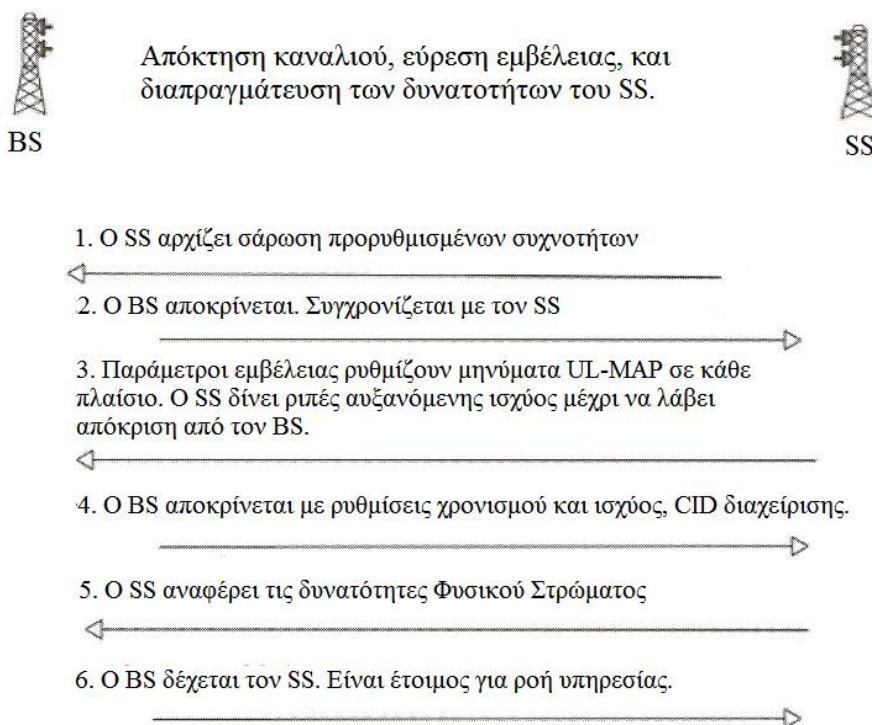
4.1.1 Αρχική εύρεση εμβέλειας και διαπραγμάτευση των δυνατοτήτων του SS

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 (βλέπε Κεφάλαιο 2) 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 οποιαδήποτε αναφερόμενης από τον SS δυνατότητα. Η Εικόνα A.19 απεικονίζει αυτή τη διαδικασία.



Εικόνα A.19 (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 εθνικού 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.

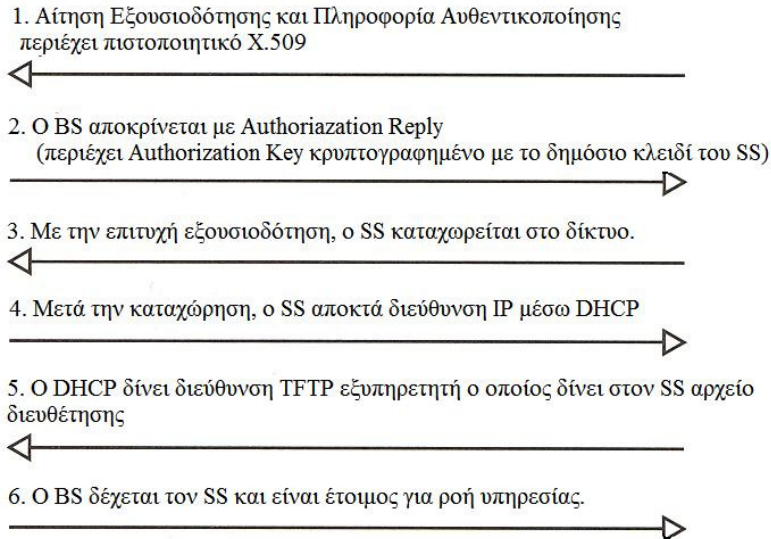
Μετά την επιτυχή εξουσιοδότηση, ο SS θα καταχωρηθεί στο δίκτυο. Αυτό θα εγκαθιδρύσει τη σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης του SS και θα καθορίσει τις δυνατότητες που σχετίζονται με την αρχικοποίηση της σύνδεσης και τη λειτουργία του MAC. Στη σύνδεση δευτερεύουσας διαχείρισης καθορίζεται επίσης κατά την 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. Η Εικόνα A.20 απεικονίζει αυτή τη διαδικασία.



Αυθεντικοποίηση και καταχώρηση σταθμού συνδρομητή



Εικόνα A.20 (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 την 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 αναθεμενικοί 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

χειρασιών 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 χειρασιών παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται για την δυναμική εγκαθίδρυση ροής υπηρεσίας.

4.2 Radio Link Control (RLC)

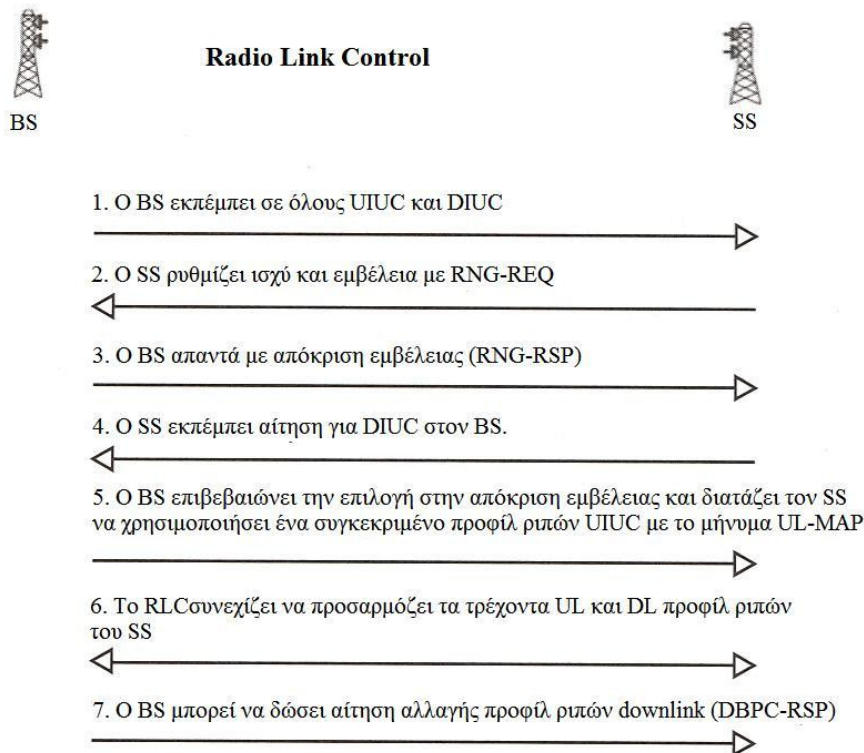
Ο έλεγχος ράδιο-ζεύξης (RLC) εκτελείται ταυτόχρονα στην απόκτηση καναλιού και στη ροή υπηρεσίας για τη διατήρηση μιας σταθερής ζεύξης. Το Φυσικό Στρώμα του WiMAX απαιτεί εξίσου προηγμένα RLC, ειδικότερα την δυνατότητα του PHY μετάβασης από το ένα προφίλ ριπών στο άλλο. Το RLC ελέγχει αυτή τη δυνατότητα 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 στην Εικόνα A.21.

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.



Εικόνα A.21 (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). Περισσότερα για αυτούς τους τρόπους λειτουργίας στο Κεφάλαιο 5.

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

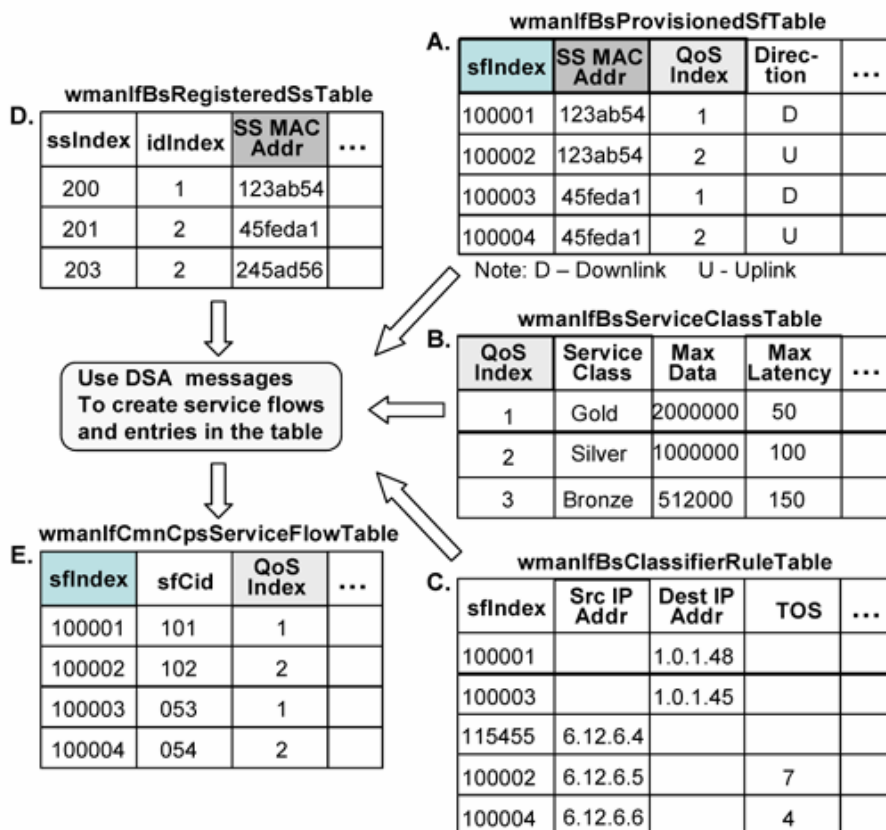
Κάθε σύνδεση στην ανοδική ζεύξη (UL) αντιστοιχίζεται σε μια υπηρεσία χρονοπρογραμματισμού (scheduling service). Κάθε υπηρεσία χρονοπρογραμματισμού συσχετίζεται με ένα σύνολο επιβαλλόμενων κανόνων στον χρονοπρογραμματιστή BS που είναι υπεύθυνος για την κατανομή της χωρητικότητας UL και το πρωτόκολλο αίτησης-επιχορήγησης 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 best-effort 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 αυτό-εγκατάσταση 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. Η Εικόνα A.22 δίδει ένα παράδειγμα του τρόπου συμπλήρωσης των πληροφοριών ροής υπηρεσίας. Η Εικόνα A.22α, A.22β, και A.22γ δείχνει ότι δύο SS, αναγνωρισμένοι με διεύθυνση MAC 0x123ab54 και 0x45fed1, έχουν προδιατεθεί.



Εικόνα A.22 (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 sfIndex 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 sfIndex 100001 και 100002, με τις προδιατεθειμένες πληροφορίες ροής υπηρεσίας. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα A.22. 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ποιότητα Υπηρεσίας στο WiMAX

5.1 Γενική επισκόπηση

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. Το κεφάλαιο αυτό μετριάξει αυτούς τους φόβους παρουσιάζοντας συμβατικές και ειδικές τροποποιήσεις στο WiMAX για τη διασφάλιση βαθμιδωτής απόδοσης φέροντος σε ένα ανόμοιο εχθρικό περιβάλλον.

5.2 Η Πρόκληση

Στο MAC του WiMAX υπάρχουν μηχανισμοί παροχής διαφοροποιημένου QoS για την υποστήριξη των διαφόρων αναγκών των διαφόρων εφαρμογών. Για παράδειγμα, η φωνή και το βίντεο απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση αλλά ανέχονται κάποιο ρυθμό σφαλμάτων. Σε αντίθεση, γενικές εφαρμογές δεδομένων δεν ανέχονται σφάλματα, αλλά η καθυστέρηση δεν είναι κριτικής σημασίας. Το πρότυπο εξυπηρετεί φωνή, βίντεο, και άλλες εκπομπές δεδομένων χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα χαρακτηριστικά στο στρώμα MAC, αυτό είναι πιο αποτελεσματικό από τη χρήση αυτών των χαρακτηριστικών σε στρώματα που ο έλεγχός τους επικαλύπτει το MAC. Εν συντομία, εφαρμόζοντας περισσότερο εύρος ζώνης στο σωστό κανάλι τη σωστή στιγμή επιτυγχάνεται μείωση της καθυστέρησης και βελτίωσης του QoS.

Το πρότυπο WiMAX υποστηρίζει προσαρμοστική διαμόρφωση, με αποτέλεσμα την ισορρόπηση διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και ποιότητας ζεύξης. Η μέθοδος διαμόρφωσης μπορεί να ρυθμιστεί σχεδόν στιγμιαία για βέλτιστη μεταφορά δεδομένων. Το WiMAX είναι ικανό να μεταβάλλει δυναμικά τις διαμορφώσεις από 64-QAM σε QPSK μέσω 16-QAM, δείχνοντας τη δυνατότητά του να λύσει ζητήματα QoS με δυναμική κατανομή εύρους ζώνης στην απόσταση μεταξύ BS και SS.

Η προσαρμοστική διαμόρφωση επιτρέπει την αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης και ευρύτερη πελατειακή βάση. Το πρότυπο επίσης υποστηρίζει FDD και TDD. Η FDD, η συμβατική μέθοδος αμφίδρομης επικοινωνίας (Duplexing), έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί στην κινητή τηλεφωνία. Απαιτεί δύο ζεύγη καναλιών, ένα για εκπομπή και ένα για λήψη, με κάποιο διαχωρισμό συχνοτήτων μεταξύ τους για το μετριασμό των αυτό-παρεμβολών. Ένα σύστημα TDD μπορεί να καταναίμει δυναμικά εύρος ζώνης στην ανοδική και κατερχόμενη

ροή, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κίνησης.

5.3 Συμβατικοί μηχανισμοί QoS

Έπεται η περιγραφή συμβατικών μηχανισμών.

5.3.1 FDD/TDD/OFDM

Το WiMAX ενσωματώνει έναν αριθμό μηχανισμών για να εξασφαλίσει καλό QoS. Οι πιο αξιοσημείωτοι είναι TDD, FDD, FEC, FFT, και OFDM. Το πρότυπο WiMAX παρέχει ελαστικότητα στη χρήση του φάσματος υποστηρίζοντας και FDD και TDD. Επομένως, μπορεί να λειτουργήσει και με τους δύο τρόπους: FDD/OFDM και TDD/OFDM. Υποστηρίζει δύο είδη FDD: συνεχές FDD και burst FDD.

Στο συνεχές FDD, τα κανάλια ανοδικής και κατερχόμενης ροής τοποθετούνται σε ξεχωριστές συχνότητες, και όλοι οι σταθμοί CPE μπορούν να εκπέμπουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα. Το κανάλι κατερχόμενης ροής είναι πάντα ενεργοποιημένο, και όλοι οι σταθμοί πάντα το ακούν. Η κίνηση στέλνεται σε αυτό το κανάλι με τρόπο broadcast χρησιμοποιώντας TDM. Το κανάλι ανερχόμενης ροής είναι μοιραζόμενο χρησιμοποιώντας TDMA, και ο BS είναι υπεύθυνος για την εκχώρηση εύρους ζώνης στους σταθμούς.

Στην burst FDD, τα κανάλια ανερχόμενης και κατερχόμενης ροής τοποθετούνται σε διαφορετικές συχνότητες. Σε αντίθεση με τη συνεχή FDD, δε μπορούν όλοι οι σταθμοί να εκπέμπουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα. Αυτοί που μπορούν να εκπέμπουν και να λαμβάνουν ταυτόχρονα αναφέρονται ως σταθμοί πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας (full-duplex) ενώ αυτοί που δε μπορούν αναφέρονται ως σταθμοί ημιαμφίδρομης επικοινωνίας (half-duplex).

Ένα πλαίσιο TDD έχει μια σταθερή διάρκεια και περιέχει ένα υπό-πλαίσιο κατερχόμενης ροής και ένα υπό-πλαίσιο ανερχόμενης ροής. Τα δύο υπό-πλαίσια χωρίζονται από έναν χρόνο ασφαλείας που ονομάζεται κενό μετάβασης (Transition Gap), και το εύρος ζώνης που εκχωρείται σε κάθε υπό-πλαίσιο είναι προσαρμοστικό. Το υπό-πλαίσιο TDD απεικονίζεται στην Εικόνα A.23



Εικόνα A.23 (Υπό-πλαίσιο TDD)

Εντός ενός υπό-πλασίου TDD κατερχόμενης ζεύξης, οι εκπομπές που προέρχονται από τον BS οργανώνονται σε διαφορετικές ομάδες διαμόρφωσης και FEC. Η κεφαλίδα του υπό-πλασίου, η επονομαζόμενη FCH, αποτελείται από ένα πεδίο προοιμίου, ένα πεδίο ελέγχου PHY, και ένα πεδίο ελέγχου MAC. Το πεδίο ελέγχου PHY χρησιμοποιείται για φυσικές πληροφορίες, όπως τα όρια της θυρίδας, προοριζόμενες για όλους τους σταθμούς. Περιέχει ένα χάρτη που ορίζει που αρχίζουν οι φυσικές θυρίδες για διαφορετικές ομάδες διαμόρφωσης/FEC.

Οι ομάδες είναι σε λίστα κατά σειρά αύξουσας διαμόρφωσης, με την QPSK πρώτη, ακολουθούμενη από την 16-QAM και μετά την 64-QAM. Κάθε σταθμός CPE λαμβάνει ολόκληρο το πλαίσιο DL, αποκωδικοποιεί το υπό-πλαίσιο, και ψάχνει για κεφαλίδες MAC που υποδεικνύουν δεδομένα για το σταθμό. Τα δεδομένα DL είναι πάντα κωδικοποιημένα κατά FEC. Τα δεδομένα του ωφέλιμου φορτίου είναι κρυπτογραφημένα, αλλά τα μηνύματα κεφαλίδων δεν είναι. Ο έλεγχος MAC χρησιμοποιείται για μηνύματα MAC προοριζόμενα για πολλαπλούς σταθμούς.

Αυτή η παραλλαγή χρησιμοποιεί μονού φέροντος διαμόρφωση ριπής με προσαρμοστικά προφίλ ριπών στα οποία οι παράμετροι εκπομπής, περιλαμβάνοντας τα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, μπορούν να ρυθμιστούν ανεξάρτητα για κάθε SS επί πλαισίου-πλασίου βάσεως. Εύρη ζώνης των 20 ή 25 MHz (για ΗΠΑ) ή 28 MHz (για Ευρώπη) καθορίζονται. Πραγματοποιείται τυχαία κατανομή για φασματική διαμόρφωση και για να διασφαλιστούν μεταπτώσεις bit για ανάκτηση ρολογιού.¹

5.3.2 Forward Error Correction (FEC)

Το WiMAX αξιοποιεί το FEC, μια τεχνική που δεν απαιτεί από τον πομπό να επανεκπέμπει οποιεσδήποτε πληροφορίες που ο χρησιμοποιεί ο δέκτης για τη διόρθωση σφαλμάτων που υφίσταται η εκπομπή σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Ο πομπός συνήθως χρησιμοποιεί έναν κοινό αλγόριθμο και ενσωματώνει αρκετές πλεοναστικές πληροφορίες στο μπλοκ δεδομένων για να επιτραπεί στο δέκτη να το διορθώσει. Χωρίς το FEC, η διόρθωση σφαλμάτων θα απαιτούσε την επανεκπομπή ολόκληρων μπλοκ πλαισίων δεδομένων, με αποτέλεσμα αύξηση της καθυστέρησης και επακόλουθη υποβάθμιση του QoS.

Στην αναζήτηση QoS μια είναι η απάντηση: περισσότερο εύρος ζώνης!

Η ικανότητα διαβίβασης δεδομένων και η καθυστέρηση είναι τα δύο βασικά συστατικά για την απόδοση ενός δικτύου. Θεωρώντας τα ως ένα στοιχείο, καθορίζουν την «ταχύτητα»

¹ Roger Marks, Carl Eklund, Kenneth Stanwood, and Stanley Wang, "IEEE 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access," IEEE Communications, June 2002, 98-107

του δικτύου. Εφόσον η ικανότητα διαβίβασης δεδομένων είναι η ποσότητα των δεδομένων που μπορεί να περάσει από την πηγή στον προορισμό σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, η καθυστέρηση μετάβασης-επιστροφής (round-trip) είναι ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει χώρα μια μονή συναλλαγή δεδομένων (ο χρόνος μεταξύ αίτησης δεδομένων και παραλαβής των). Η καθυστέρηση μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ο χρόνος που απαιτείται από την αρχή της εκπομπής στο ένα άκρο μέχρι την ανάκτηση των δεδομένων στο άλλο (από τον ένα χρήστη στον άλλο). Επομένως, όσο καλύτερη είναι η διαχείριση της διεκπαιρευτικής ικανότητας (εύρος ζώνης), τόσο καλύτερο το QoS.

5.4 Ο ρόλος του εύρους ζώνης για QoS στο WiMAX

Για τη διασφάλιση σταθερού QoS, η μοναδική προσέγγιση του WiMAX είναι η διασφάλιση σταθερού εύρους ζώνης. Το πώς επιτυγχάνεται αυτό αναλύεται στη συνέχεια.

5.4.1 Αιτήσεις και εκχωρήσεις εύρους ζώνης

Το MAC του WiMAX συμβιβάζει δύο κατηγορίες SS που διαφοροποιούνται από την ικανότητά τους να δέχονται εκχωρήσεις εύρους ζώνης για μια μονή σύνδεση ή για τον SS ως ολότητα. Και οι δύο κατηγορίες SS αιτούνται εύρος ζώνης ανά σύνδεση για να μπορεί ο αλγόριθμος χρονοπρογραμματισμού UL του BS να υπολογίζει σωστά το QoS όταν κατανέμει το εύρος ζώνης. Οι δύο κατηγορίες είναι GPC, όταν ο BS εκχωρεί εύρος ζώνης αποκλειστικά σε κάθε σταθμό, και GPSS, όταν το εύρος ζώνης εκχωρείται σε όλες τις συνδέσεις που ανήκουν στο σταθμό.

Οι δύο κατηγορίες SS επιτρέπουν μια τράμπα μεταξύ απλότητας και αποδοτικότητας. Η ανάγκη για την ρητή εκχώρηση επιπλέον εύρους ζώνης για το RLC και αιτήσεις, συνδυασμένη με την πιθανότητα περισσότερων της μιας εγγραφής ανά SS, κάνει την GPC λιγότερο αποδοτική και προσαρμόσιμη από την GPSS. Επιπροσθέτως, η ικανότητα του GPSS SS να αντιδρά πιο γρήγορα στις ανάγκες του PHY και των συνδέσεων ενδυναμώνει την επίδοση του συστήματος. Η GPSS είναι η μόνη κατηγορία SS που επιτρέπεται με το 10-66 GHz PHY. Ακολουθούν περισσότερες λεπτομέρειες.

GPC. Το εύρος ζώνης εκχωρείται ρητά σε μια σύνδεση, και ο SS χρησιμοποιεί την εκχώρηση μόνο για αυτή τη σύνδεση. Το RLC και άλλα πρωτόκολλα διαχείρισης χρησιμοποιούν εύρος ζώνης που κατανέμεται ρητά για συνδέσεις διαχείρισης.

GPSS. Οι SS παίρνουν εύρος ζώνης συγκεντρωμένο σε μια μονή εκχώρηση για τον ίδιο τον SS. Ο GPSS SS οφείλει να είναι πιο έξυπνος στη διαχείριση του QoS του. Τυπικά, αλλά όχι απαραίτητα, θα χρησιμοποιήσει το εύρος ζώνης για τη σύνδεση που το ζήτησε. Για παράδειγμα, αν η κατάσταση QoS στον SS έχει αλλάξει από την τελευταία αίτηση, ο SS έχει την επιλογή να στείλει τα δεδομένα υψηλότερου QoS μαζί με μια αίτηση για αντικατάσταση αυτού του εύρους ζώνης που κλάπηκε από μια σύνδεση χαμηλότερου QoS. Ο SS θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιήσει μέρος του εύρους ζώνης για να αντιδρά πιο γρήγορα σε εναλλασσόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες στέλλοντας, για παράδειγμα, ένα μήνυμα DBPC-REQ

Και με τις δύο κατηγορίες εκχωρήσεων, το MAC του WiMAX χρησιμοποιεί ένα αυτό-διορθωτικό πρωτόκολλο παρά ένα πρωτόκολλο επιβεβαιώσεων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί λιγότερο εύρος ζώνης. Περαιτέρω, τα πρωτόκολλα επιβεβαιώσεων μπορεί να πάρουν επιπλέον χρόνο, προσθέτοντας ενδεχομένως καθυστέρηση. Το εύρος ζώνης που αιτείται ένας SS για μια σύνδεση μπορεί να μην είναι διαθέσιμο για μια πλειάδα λόγων:

- Ο BS δεν είδε την αίτηση εξαιτίας αμετάκλητων σφαλμάτων στο PHY.
- Ο SS δεν είδε την εκχώρηση εξαιτίας αμετάκλητων σφαλμάτων στο PHY.
- Ο BS δεν είχε επαρκές διαθέσιμο εύρος ζώνης.
- Ο GPSS SS χρησιμοποίησε το εύρος ζώνης για κάποιον άλλο λόγο.

Στο αυτό-διορθωτικό πρωτόκολλο, όλες αυτές οι ανωμαλίες αντιμετωπίζονται παρόμοια. Μετά τη λήξη ενός χρονικού ορίου κατάλληλου για το QoS της σύνδεσης (ή αμέσως, αν το εύρος ζώνης κλάπηκε από τον SS για κάποιον άλλο σκοπό), ο SS απλά αιτείται ξανά. Για αποδοτικότητα, οι περισσότερες αιτήσεις εύρους ζώνης είναι αυξητικές, που σημαίνει ότι ο SS ζητά περισσότερο εύρος ζώνης για μια σύνδεση. Ωστόσο, για να λειτουργήσει σωστά ο αυτό-διορθωτικός μηχανισμός αίτησης/εκχώρησης εύρους ζώνης, οι αιτήσεις εύρους ζώνης πρέπει σποραδικά να είναι συγκεντρωτικές, που σημαίνει ότι ο SS πληροφορεί τον BS τις συνολικές τρέχουσες ανάγκες εύρους ζώνης για μια σύνδεση. Αυτό επιτρέπει στον BS να ρυθμίσει εκ νέου την αντίληψή του για τις ανάγκες των SS χωρίς ένα πολύπλοκο πρωτόκολλο που να επιβεβαιώνει τη χρήση του εκχωρούμενου εύρους ζώνης.

Για απαίτηση συνεχόμενου εύρους ζώνης, ο SS δε χρειάζεται να αιτηθεί εύρος ζώνης, ο BS το εκχωρεί αυτόκλητα. Στον Πίνακα A.3 υπάρχουν λεπτομέρειες για την κατανομή του εύρους ζώνης και για τις μεθόδους σταθμοσκόπησης.

Πίνακας Α.3

Ορολογία	Περιγραφή
Σταθμοσκόπηση unicast	Χρησιμοποιείται για ανενεργούς σταθμούς και για ενεργούς σταθμούς που τους έχει ρητά αιτηθεί σταθμοσκόπηση. Αν ένας ανενεργός σταθμός δεν απαιτεί κατανομή εύρους ζώνης, αποκρίνεται στην πρόσκληση για εκπομπή (poll) επιστρέφοντας μια αίτηση για 0 bytes.
Σταθμοσκόπηση multicast και broadcast	Χρησιμοποιείται για τη σταθμοσκόπηση μιας ομάδας ανενεργών σταθμών όταν δεν υπάρχει επαρκές εύρος ζώνης για τη ξεχωριστή σταθμοσκόπηση των σταθμών. Ένα CID αναγνωρίζει έναν ενεργό σταθμό, και συγκεκριμένα CID κρατούνται για ομάδες multicast και broadcast. Όταν σταθμοσκοπείται μια ομάδα multicast, τα μέλη της ομάδας που απαιτούν κατανομή εύρους ζώνης απαντούν στην σταθμοσκόπηση. Χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο ανάλυσης συναγωνισμών για να επιλύσουν τυχούσες συγκρούσεις που δημιουργούνται όταν δύο ή περισσότεροι σταθμοί εκπέμπουν την ίδια στιγμή. Αν ένας σταθμός δε χρειάζεται επιχορήγηση εύρους ζώνης, δεν κάνει τίποτα, δεν επιτρέπεται να αποκριθεί με μηδενική επιχορήγηση εύρους ζώνης, όπως στην περίπτωση των ανεξάρτητων σταθμοσκοπήσεων.
Σταθμοσκόπηση που ξεκινά ο σταθμός	Χρησιμοποιείται από τους σταθμούς για να αιτηθούν στον BS σταθμοσκόπηση. Σταθμοί με ενεργές συνδέσεις αυτόκλητης εκχώρησης υπηρεσίας χρησιμοποιούν τυπικά την σταθμοσκόπηση. Ένας σταθμός που προβαίνει στην έναρξη αυτού του είδους σταθμοσκόπησης βάζει ένα bit στην κεφαλίδα MAC, το επονομαζόμενο poll-me bit, τυπικά για να αιτηθεί να σταθμοσκοπείται πιο συχνά ώστε να ικανοποιήσει το QoS της σύνδεσης. Όταν ο σταθμός βάσης λαμβάνει το πλαίσιο με το bit poll-me ενεργοποιημένο, σταθμοσκοπεί τον σταθμό ανεξαρτήτως.

Για την «βραχυκύκλωση» του φυσιολογικού κύκλου σταθμοσκόπησης, οποιοσδήποτε SS με σύνδεση που εκτελεί UGS μπορεί να χρησιμοποιήσει το poll-me bit στην υπό-κεφαλίδα διαχείρισης εκχώρησης για να πληροφορήσει τον BS ότι χρειάζεται να σταθμοσκοπηθεί για ανάγκες εύρους ζώνης ή μια άλλη σύνδεση. Ο BS μπορεί να επιλέξει να εξοικονομήσει εύρος

ζώνης σταθμοσκοπώντας SSs οι οποίοι έχουν UGS (Unsolicited Grant Services, Υπηρεσίες Αυτόκλητης Εκχώρησης) μόνο όταν έχουν ενεργοποιημένο το poll-me bit.

Ένας πιο συμβατικός τρόπος για την αίτηση εύρους ζώνης είναι η αποστολή μιας MAC PDU αίτησης εύρους ζώνης η οποία απλώς αποτελείται από την κεφαλίδα αίτησης εύρους ζώνης και καθόλου ωφέλιμο φορτίο. Οι GPSS SS μπορούν να στείλουν αυτό σε όποια εκχώρηση εύρους ζώνης κι αν λάβουν. Τα τερματικά GPC μπορούν να το στείλουν είτε εντός του χρονικού διαστήματος μιας αίτησης είτε στο χρονικό διάστημα παροχής δεδομένων καταμεμημένα στη βασική τους σύνδεση. Μια πολύ σχετική μέθοδος αίτησης δεδομένων είναι η χρησιμοποίηση μιας υπό-κεφαλίδας διαχείρισης εκχώρησης για την παρεμβολή μιας αίτησης για επιπλέον εύρος ζώνης για την ίδια σύνδεση εντός του MAC PDU.² Αυτά τα είδη υπηρεσιών αναλύονται στον Πίνακα Α.4

Πίνακας Α.4

Είδος υπηρεσίας που υποστηρίζει το WiMAX	Περιγραφή
UGS	Σχεδιάστηκε για την υποστήριξη ροών υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν σταθερού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως VoIP, σε περιοδική βάση. Η παροχή σταθερού μεγέθους εκχωρήσεις δεδομένων σε περιοδικά διαστήματα εξαλείφει την επιβάρυνση και την καθυστέρηση που σχετίζεται με τις αιτήσεις καναλιών εκπομπής.
Real-Time Polling Service	Σχεδιάστηκε για την υποστήριξη ροών υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG, σε περιοδική βάση. Η περίοδος υπηρεσίας καθορίζεται ώστε να καλύπτει τις ανάγκες πραγματικού χρόνου της ροής και να επιτρέπει στον σταθμό να καθορίζει το μέγεθος της επιθυμητής εκχώρησης.
UGS with activity detection	Σχεδιάστηκε για την υποστήριξη ροών UGS που μπορεί να γίνουν ανενεργές για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα. Αυτή η υπηρεσία είναι για σταθμούς που υποστηρίζουν υπηρεσία πραγματικού χρόνου όταν η ροή είναι ενεργή και περιοδικές σταθμοσκοπήσεις unicast όταν η ροή είναι ανενεργή.

² Roger Marks, Carl Eklund, Kenneth Stanwood, and Stanley Wang, "IEEE 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access," 103-104.

Non-real-time polling service	Σχεδιασμένη για την υποστήριξη ροών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητού μεγέθους εκχωρήσεις δεδομένων, όπως FTP, σε κανονική βάση. Αυτή η υπηρεσία προσφέρει σταθμοσκοπήσεις unicast σε κανονική βάση για τη διασφάλιση ότι οι ροές θα λαμβάνουν ευκαιρίες αίτησης ακόμη και όταν υπάρχει δικτυακή συμφόρηση.
Best-effort service	Σχεδιάστηκε για να παρέχει για αποδοτική υπηρεσία σε κίνηση καλύτερης προσπάθειας (best-effort traffic).

Η UGS προσαρμόζεται κατάλληλα για τη μεταφορά υπηρεσιών που παράγουν περιοδικά σταθερές μονάδες δεδομένων. Εδώ ο BS χρονοπρογραμματίζει τακτικά, με έναν προνοητικό τρόπο, εκχωρήσεις με μέγεθος που διαπραγματεύτηκε στην αρχικοποίηση της σύνδεσης χωρίς ρητή αίτηση από τον SS. Αυτό εξαλείφει την επιβάρυνση και την καθυστέρηση αιτήσεων εύρους ζώνης που σκοπό είχαν την ικανοποίηση των απαιτήσεων καθυστέρησης και καθυστέρησης παραμόρφωσης σήματος της υποκείμενης υπηρεσίας. Ένα πρακτικό όριο για την καθυστέρηση παραμόρφωσης του σήματος θέτεται από τη διάρκεια του πλαισίου. Αν πρέπει να ικανοποιηθούν περισσότερο αυστηρές απαιτήσεις παραμόρφωσης σήματος, χρειάζεται μνήμη προσωρινής αποθήκευσης εξόδου.

Όταν χρησιμοποιείται με UGS, η υπό-κεφαλίδα διαχείρισης εκχώρησης, περιλαμβάνει το poll-me bit καθώς και τη μεταβλητή δείκτη ολίσθησης (slip indicator flag), το οποίο επιτρέπει στον SS να αναφέρει ότι υπάρχει επισωρευθείσα εργασία στην ουρά εκπομπής εξαιτίας παραγόντων όπως χαμένες εκχωρήσεις ή στρέβλωση του ρολογιού μεταξύ του συστήματος WiMAX και του εξωτερικού δικτύου.

Ο BS, αφού εντοπίσει το slip indicator flag, μπορεί να επιχορηγήσει λίγο επιπλέον εύρος ζώνης στον SS, και άρα επιτρέποντάς του να ανακτήσει την κανονική κατάσταση ουράς. Οι συνδέσεις που ρυθμίζονται με UGS δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουν τυχαίας πρόσβασης ευκαιρίες για αιτήσεις.

Η υπηρεσία σταθμοσκοπήσης πραγματικού χρόνου (real-time polling service) σχεδιάστηκε να καλύψει τις ανάγκες υπηρεσιών που είναι δυναμικές στη φύση αλλά προσφέρει περιοδικές αποκλειστικές ευκαιρίες αιτήσεων για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις πραγματικού χρόνου. Επειδή ο SS εκδίδει ρητές αιτήσεις, η επιβάρυνση και καθυστέρηση του πρωτοκόλλου αυξάνεται, αλλά αυτή η χωρητικότητα εκχωρείται σύμφωνα μόνο με την αληθινή ανάγκη της σύνδεσης. Η rtps ταιριάζει για συνδέσεις που μεταφέρουν υπηρεσίες

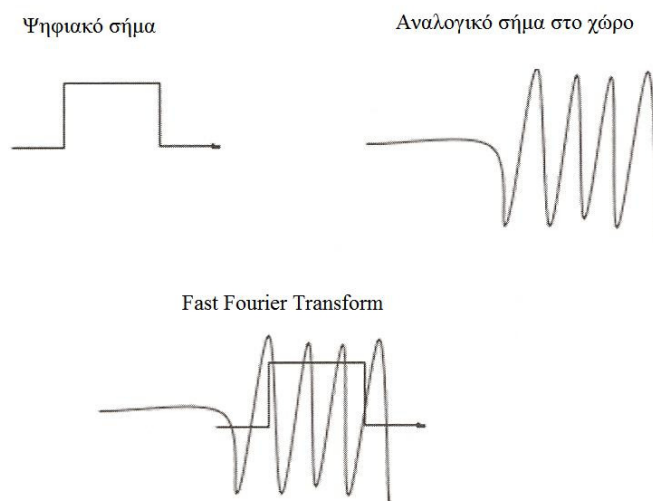
όπως VoIP ή βίντεο συνεχούς ροής ή ήχο.

Η nrtps είναι σχεδόν ίδια με την rtps εκτός του ότι οι συνδέσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν τυχαίας πρόσβασης ευκαιρίες εκπομπής για την αποστολή αιτήσεων εύρους ζώνης. Τυπικά, οι υπηρεσίες που μεταφέρονται από αυτές τις συνδέσεις ανέχονται μεγαλύτερες καθυστερήσεις και είναι λιγότερο ευαίσθητες στην καθυστέρηση παραμόρφωσης σήματος. Η nrtps είναι κατάλληλη για Διαδικτυακή πρόσβαση με έναν εγγυημένο ελάχιστο ρυθμό. Μια υπηρεσία best-effort έχει επίσης οριστεί.

Δεν παρέχονται εγγυήσεις διεκπαιρευτικής ικανότητας ή καθυστέρησης. Ο SS στέλνει αιτήσεις για εύρος ζώνης είτε σε τυχαίας πρόσβασης θυρίδες, είτε ευκαιρίες αποκλειστικής εκπομπής. Η εμφάνιση αποκλειστικών ευκαιριών υπόκειται στο φόρτο δικτύου, και ο SS δε μπορεί να βασιστεί στην παρουσία τους.

5.4.2 Τι είναι το FFT

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν ημίτονα και συνημίτονα και είναι αναλογικά στη φύση ενώ τα ψηφιακά δεδομένα είναι μια ροή από 1 και 0 που έχουν ως αποτέλεσμα τετραγωνικά κύματα. Πως τότε τα ψηφιακά δεδομένα μπορούν να σταλούν μέσω μιας αναλογικής μετάδοσης; Η θεωρία βασίζεται στο θεώρημα του Fourier (Emile Fourier, γάλλος μαθηματικός στις αρχές του 1800) που αποδεικνύει ότι επαναλαμβανόμενες εξαρτώμενες από το χρόνο συναρτήσεις μπορούν να εκφραστούν ως ένα σύνολο πιθανώς άπειρων σειρών ημιτονικών και συνημιτονικών κυμάτων. Αν στέλνονται 1000 τετραγωνικά κύματα κάθε δευτερόλεπτο, η συχνότητα αποτελείται από μια συγκέντρωση ημιτονικών κυμάτων (1 KHz, 3 KHz, 5 KHz και ούτω καθεξής). Ο γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform) απεικονίζεται στην Εικόνα A.24

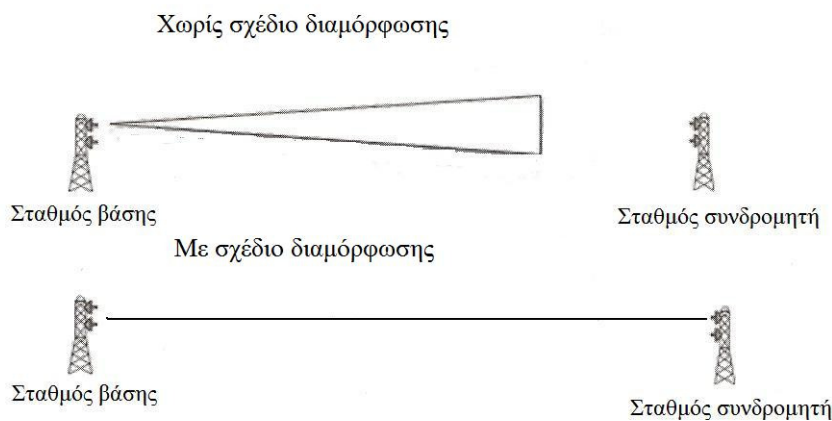


Εικόνα A.24 (FFT)

Καθώς αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης bit, η συχνότητα τετραγωνικού κύματος αυξάνεται και το πλάτος των τετραγωνικών κυμάτων μειώνεται. Τελικώς, στενότερα τετραγωνικά κύματα απαιτούν ημίτονα ακόμη μεγαλύτερης συχνότητας για το σχηματισμό του ψηφιακού σήματος (N^2). Ο FFT κάνει αυτούς τους υπολογισμούς πιο αποδοτικούς μειώνοντας τον υπολογισμό στο $N \log N$. Με απλά λόγια, ο FFT κάνει τη ασύρματη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων πιο αποδοτική.

5.5 QPSK εναντίον QAM

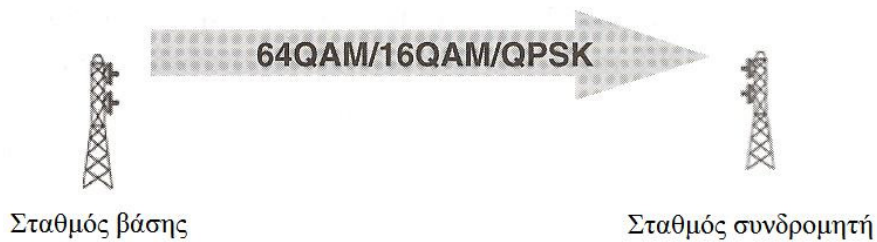
Από το να δώσει τα πάντα σε όλους, το WiMAX προτιμά μια διαβάθμιση του QoS ανάλογα με την απόσταση του SS από τον BS: όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση, τόσο μικρότερη η εγγύηση για QoS. Το WiMAX χρησιμοποιεί τρεις μηχανισμούς για QoS. Από τον υψηλότερο στον χαμηλότερο, αυτοί οι μηχανισμοί είναι οι 64-QAM, 16-QAM, και QPSK. Η Εικόνα A.25 απεικονίζει τα σχέδια διαμόρφωσης.



Εικόνα A.25 (Τα σχέδια διαμόρφωσης εστιάζουν το σήμα συναρτήσει της απόστασης)

Χρησιμοποιώντας ένα σθεναρό σχέδιο διαμόρφωσης, το WiMAX πετυχαίνει υψηλή ικανότητα διαβίβασης δεδομένων σε μεγάλη εμβέλεια με ένα υψηλό επίπεδο φασματικής αποδοτικότητας που είναι επίσης ανεκτικό στις ανακλάσεις σήματος. Η δυναμική προσαρμοστική διαμόρφωση επιτρέπει στον BS να ανταλλάξει διεκπαιρωτική ικανότητα για εμβέλεια. Για παράδειγμα, αν ο BS δε μπορεί να εγκαθιδρύσει μια σθεναρή ζεύξη με έναν απομακρυσμένο συνδρομητή χρησιμοποιώντας το υψηλότερης τάξης σχέδιο διαμόρφωσης, 64-QAM, η τάξη διαμόρφωσης μειώνεται σε 16-QAM ή QPSK, με αποτέλεσμα τη μείωση της διεκπαιρωτικής ικανότητας και αύξηση της ενεργής εμβέλειας. Η Εικόνα A.26 απεικονίζει πως τα σχέδια διαμόρφωσης διασφαλίζουν διεκπαιρωτική ικανότητα σε σχέση με την απόσταση.

Η διεκπαιρευτική ικανότητα φθίνει με την απόσταση
12Mbps σε 3km / 6Mbps σε 5km / 3Mbps σε 6.5km NLOS



Εικόνα A.26

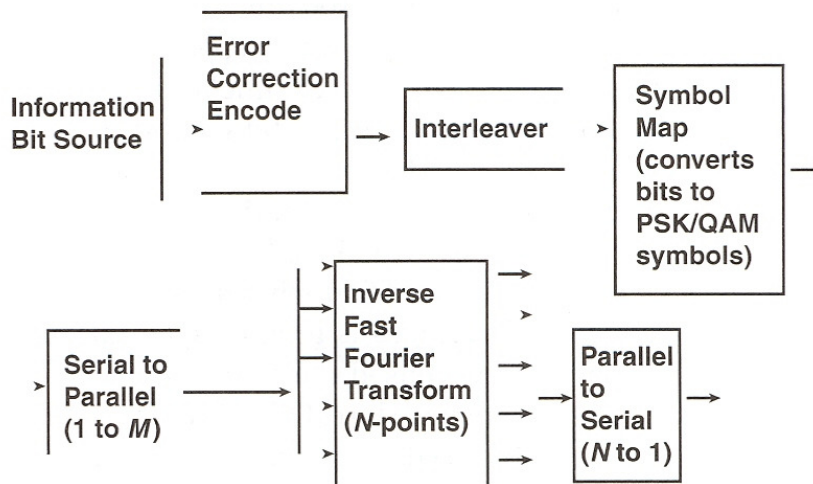
Οι διαμορφώσεις QPSK και QAM είναι δύο ηγετικά σχέδια διαμόρφωσης στο WiMAX. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των bit που εκπέμπεται ανά σύμβολο, τόσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης. Επομένως, όταν απαιτούνται πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων για συγκεκριμένο εύρος ζώνης, χρησιμοποιούνται τα υψηλότερης τάξης συστήματα QAM, όπως 16-QAM και 64-QAM. Η διαμόρφωση 64-QAM μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 28 Mbit/sec μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε ένα μονό κανάλι 6 MHz. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των bit ανά σύμβολο, τόσο λιγότερο ευάλωτο είναι το σχέδιο σε δια-συμβολικές παρεμβολές (Intersymbol Interference) και θόρυβο. Γενικά, σε ένα περιβάλλον, οι απαιτήσεις του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) καθορίζουν τη μέθοδο διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον. Η QPSK είναι περισσότερο ανεκτική στις παρεμβολές από τις 16-QAM και 64-QAM. Για αυτόν το λόγο, όπου τα σήματα αναμένεται να είναι ανεκτικά στο θόρυβο και σε άλλες εξασθενήσεις σε μεταδόσεις μεγάλων αποστάσεων, η QPSK είναι η φυσιολογική επιλογή.

5.5.1 Πολυπλεξία με OFDM

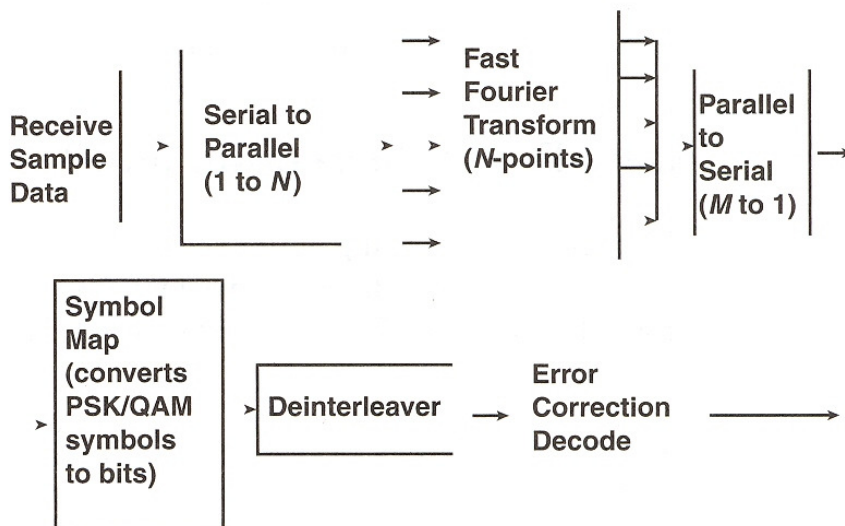
Όπως φαίνεται στην Εικόνα A.27, μια αποδοτική υλοποίηση OFDM μετατρέπει μια σειριακή ροή συμβόλων δεδομένων QPSK ή QAM σε μια παράλληλη ροή μεγέθους M . Αυτές οι M ροές διαμορφώνονται τότε σε M υπό-φέροντα μέσω χρήσης αντίστροφου FFT μεγέθους N ($N \leq M$). Οι N εξόδοι του αντίστροφου FFT διατάσσονται σειριακά για να σχηματίσουν μια ροή δεδομένων που να μπορεί να διαμορφωθεί από ένα μονό φέρον. Να σημειώσουμε πως ο N -point αντίστροφος FFT μπορεί να διαμορφώσει μέχρι N υπό-φέροντα. Όταν το M είναι μικρότερο από το N , τα υπολειπόμενα $N-M$ υπό-φέροντα δεν είναι στη ροή εξόδου. Αναγκαίως, αυτά έχουν διαμορφωθεί με μηδενικό πλάτος.

Αν και φαίνεται ότι συνδυάζοντας τις εξόδους του αντίστροφου FFT στον πομπό θα

δημιουργούνται παρεμβολές μεταξύ των υπό-φερόντων, η ορθογωνική αραίωση επιτρέπει στον δέκτη να ξεχωρίσει τέλεια κάθε υπό-φέρον.



Εικόνα A.27 (Μπλοκ διάγραμμα απλού πομπού OFDM)



Εικόνα A.28 (Μπλοκ διάγραμμα απλού δέκτη OFDM)

Η Εικόνα A.28 απεικονίζει τη διαδικασία στο δέκτη. Τα λαμβανόμενα δεδομένα χωρίζονται σε N παράλληλες ροές που υφίστανται επεξεργασία από FFT μεγέθους N . Ο FFT μεγέθους N υλοποιεί αποτελεσματικά μια σειρά φίλτρων, καθένα ταιριασμένο σε N πιθανά υπό-φέροντα. Η έξοδος του FFT τότε διατάσσεται σε σειρά σε μια μονή ροή δεδομένων για αποκωδικοποίηση. Να σημειώσουμε πως όταν το M είναι μικρότερο από το N , με άλλα λόγια χρησιμοποιούνται λιγότερα από N υπό-φέροντα στον πομπό, ο δέκτης διατάσσει σε σειρά μόνο τα M υπό-φέροντα με δεδομένα.

5.6 Η Σημασία του OFDM στο WiMAX

Στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, η μεγαλοσύνη του WiMAX είναι ότι ένα OFDM σύστημα WiMAX μπορεί να δώσει 72 Mbit/sec ρυθμό μετάδοσης μη κωδικοποιημένων δεδομένων (~100 Mbit/sec κωδικοποιημένα) από 20 MHz φασματικού καναλιού. Αυτό μεταφράζεται σε αποδοτικότητα φάσματος 3,6 bit/sec ανά Hz. Αν πέντε από αυτά τα κανάλια των 20 MHz περιέχονται εντός της ζώνης 5,725 με 5,825 GHz, έχουμε συνολική χωρητικότητα ζώνης 360 Mbit/sec (όλα τα κανάλια αθροισμένα μαζί με επαναχρησιμοποίηση 1x συχνότητας). Με επαναχρησιμοποίηση καναλιών και μέσω κατάτμησης, η συνολική χωρητικότητα στην τοποθεσία του BS θα μπορούσε ενδεχομένως να ξεπεράσει το 1 Gbit/sec.

Το OFDM έχει πολύπλευρα πλεονεκτήματα στο WiMAX, αλλά ανάμεσα στα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα είναι η σημαντικότερη φασματική αποδοτικότητα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε φάσμα αδειοδοτημένης χρήσης, όπου το εύρος ζώνης και το φάσμα είναι πολυδάπανα. Εδώ, το OFDM, παραδίδει περισσότερα δεδομένα ανά ευρύ φάσματος. Σε εφαρμογές μη αδειοδοτημένου φάσματος, το OFDM μετριάζει τις παρεμβολές από άλλους πομπούς εξαιτίας του στενότερου πλάτους δέσμης (λιγότερο από 28 MHz) και ζωνών προστασίας, καθώς και με διασκορπισμό των δεδομένων σε διαφορετικές συχνότητες έτσι ώστε αν μια ροή «πατηθεί» από ένα παρεμβάλον σήμα, τα υπόλοιπα δεδομένα παραδίδονται με άλλες συχνότητες.

5.6.1 QoS: Διόρθωση Σφαλμάτων και Διεμπλοκή

Η κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων δημιουργεί πλεονασμό στην εκπεμπόμενη ροή δεδομένων. Αυτός ο πλεονασμός επιτρέπει τη διόρθωση εσφαλμένων ή χαμένων bit. Το απλούστερο παράδειγμα θα ήταν η επανάληψη των bit πληροφορίας. Αυτό είναι γνωστό ως κώδικας επανάληψης. Αν και ο κώδικας επανάληψης είναι απλός στη δομή, τυπικά χρησιμοποιούνται περισσότερο πολύπλοκες μορφές πλεονασμού επειδή μπορούν να επιτύχουν υψηλότερο επίπεδο διόρθωσης σφαλμάτων. Για την OFDM, η κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων σημαίνει ότι ένα κομμάτι από κάθε bit πληροφορίας μεταφέρεται σε έναν αριθμό υπό-φερόντων, και επομένως, αν κάποιο από αυτά τα υπό-φέροντα εξασθενίσει, το bit πληροφορίας θα φτάσει πάλι άθικτο.

Η διεμπλοκή είναι ο άλλος μηχανισμός που χρησιμοποιείται στα συστήματα OFDM για την αντιμετώπιση του αυξημένου ρυθμού σφαλμάτων σε εξασθενημένα υπό-φέροντα. Η διεμπλοκή είναι μια ντετερμινιστική διεργασία που αλλάζει τη σειρά των εκπεμπόμενων bit. Στα συστήματα OFDM, αυτό σημαίνει ότι bits που ήταν γειτονικά στο χρόνο, εκπέμπονται σε

υπό-φέροντα αραιωμένων συχνοτήτων. Επομένως σφάλματα που παράγονται σε εξασθενημένα υπό-φέροντα διαχέονται στο χρόνο, δηλαδή, λίγες μεγάλης διάρκειας ριπές σφαλμάτων μετατρέπονται σε πολλές μικρής διάρκειας ριπές. Τότε κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων διορθώνουν τις μικρής διάρκειας ριπές σφαλμάτων που προκύπτουν.

5.7 Μέτρα QoS ειδικά για τις προδιαγραφές του WiMAX

Το WiMAX χρησιμοποιεί συμβατικά και νέας γενιάς μέτρα QoS. Στη συνέχεια θα εστιάσουμε σε νέας γενιάς μέτρα QoS ιδιαίτερα για το WiMAX.

5.7.1 Θεωρία Λειτουργίας

Οι μηχανισμοί QoS του WiMAX λειτουργούν και σε UL και σε DL πλαίσια διαμέσου του SS και του BS. Οι προδιαγραφές του WiMAX για QoS περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Λειτουργία ρύθμισης και καταχώρησης για την προρύθμιση ροών υπηρεσιών QoS των SS και παραμέτρων κίνησης (traffic parameters).
- Λειτουργία σηματοδότησης για την εγκαθίδρυση ροών υπηρεσιών ενεργοποιημένου QoS και παραμέτρων κίνησης.
- Αξιοποίηση του χρονοπρογραμματισμού MAC και παραμέτρων πλαισίων QoS για ροές υπηρεσιών UL.
- Αξιοποίηση παραμέτρων κίνησης QoS για ροές υπηρεσιών DL.
- Ομαδοποίηση ιδιοτήτων ροής υπηρεσίας σε καθορισμένες τάξεις υπηρεσιών.

Ο κύριος μηχανισμός παροχής QoS είναι ο συσχετισμός πακέτων που διασχίζουν τη διεπαφή MAC με μια ροή υπηρεσίας όπως αναγνωρίζεται από ένα CID. Μια ροή υπηρεσίας είναι μια μονοκατευθυντική ροή πακέτων που της παρέχεται συγκεκριμένο QoS. (βλέπε Κεφάλαιο 4). Ο SS και ο BS παρέχουν αυτό το QoS, σύμφωνα με το σύνολο παραμέτρων QoS οριζόμενο για τη ροή υπηρεσίας.

Ο πρωταρχικός σκοπός των χαρακτηριστικών QoS που ορίζονται εδώ είναι να οριστεί η διάταξη και ο χρονοπρογραμματισμός εκπομπής στην ασύρματη διεπαφή. Ωστόσο, αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει συνήθως να λειτουργούν σε συνδυασμό με μηχανισμούς πέρα από την ασύρματη διεπαφή με σκοπό να παρέχουν QoS από άκρο σε άκρο ή να ελέγχουν τη συμπεριφορά των SS.

Οι ροές υπηρεσιών και στις δύο κατευθύνσεις UL και DL μπορούν να υπάρχουν χωρίς να είναι πραγματικά ενεργοποιημένες για μεταφορά κίνησης. Όλες οι ροές υπηρεσιών έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό των 32 bit (Service Flow ID, SFID), οι ενεργές και οι επιτρεπόμενες

ροές έχουν επίσης ένα CID των 16 bit. Το SFID χρησιμοποιείται για την αναγνώριση της ροής ενός καναλιού επικοινωνίας το οποίο χρησιμοποιείται για ένα συγκεκριμένο είδος υπηρεσίας.

5.7.2 Ροές Υπηρεσιών

Μια ροή υπηρεσίας είναι μια υπηρεσία μεταφοράς MAC που παρέχει μονοκατευθυντική μεταφορά πακέτων είτε για πακέτα UL εκπεμπόμενα από τον SS είτε για πακέτα DL εκπεμπόμενα από τον BS. Μια ροή υπηρεσίας χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο παραμέτρων QoS, όπως καθυστέρηση, παραμόρφωση σήματος και διαβεβαιώσεις διεκπαιρωτικής ικανότητας. Για να προτυποποιηθεί η λειτουργία μεταξύ του SS και του BS, αυτές οι ιδιότητες περιλαμβάνουν λεπτομέρειες για το πώς ο SS αιτείται εκχωρήσεις UL εύρους ζώνης και πώς αναμένεται να συμπεριφερθεί ο χρονοπρογραμματιστής UL του BS. Τα διαφορετικά στοιχεία των ροών υπηρεσιών που υπάρχουν στο WiMAX ορίζονται στον Πίνακα A.5. Τα τρία είδη ροών υπηρεσιών παρουσιάζονται στον Πίνακα A.6.

Πίνακας :A.5

Στοιχείο	Περιγραφή
SFID	Το κύριο αναγνωριστικό μιας ροής υπηρεσίας σε ένα δίκτυο. Μια ροή υπηρεσίας έχει τουλάχιστον ένα SFID και μια συσχετισμένη κατεύθυνση.
CID	Η αντιστοίχιση σε ένα SFID που υπάρχει μόνο όταν η σύνδεση έχει μια admitted ή active ροή υπηρεσίας.
ProvisionedQoSParamSet	Ένα σύνολο παραμέτρων QoS προδιατεθειμένο με τρόπους εκτός του πεδίου του προτύπου, όπως σύστημα διαχείρισης δικτύου.
AdmittedQoSParamSet	Ένα σύνολο παραμέτρων QoS για το οποίο ο BS (και πιθανόν και ο SS) κρατούν πόρους. Ο κύριος πόρος που πρέπει να κρατηθεί είναι το εύρος ζώνης. Αυτό το σύνολο περιλαμβάνει επίσης μια επιπλέον μνήμη ή πόρο χρόνου που απαιτείται για να ενεργοποιήσει επακόλουθα τη ροή.
ActiveQoSParamSet	Ένα σύνολο παραμέτρων QoS που ορίζουν την υπηρεσία που πραγματικά παρέχεται στη ροή υπηρεσίας. Μόνο μια ενεργή ροή υπηρεσίας μπορεί να προωθήσει πακέτα.

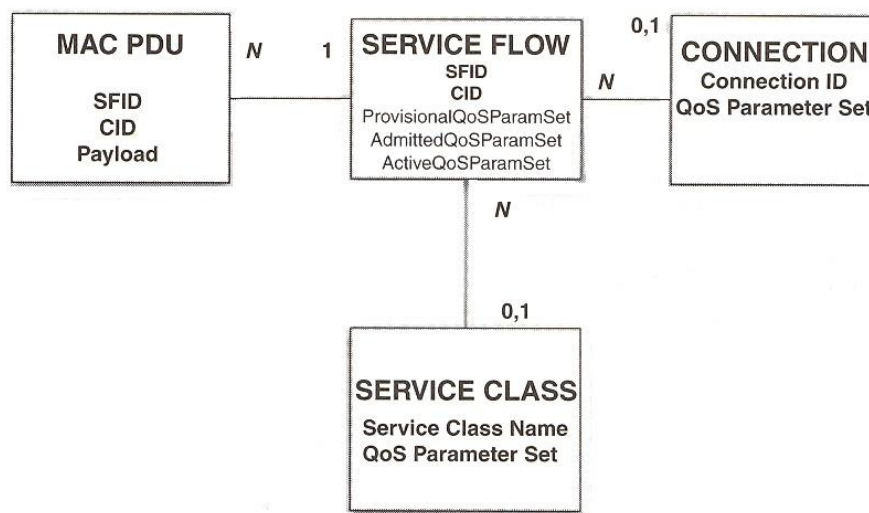
Authorization Module	Μια λογική λειτουργία εντός του BS που εγκρίνει ή αρνείται οποιαδήποτε αλλαγή στις παραμέτρους QoS και στους ταξινομητές (Classifier) συσχετισμένοι με μια ροή υπηρεσίας. Έτσι, ορίζει ένα «φάκελο» που οριοθετεί τις πιθανές τιμές του AdmittedQoSParamSet και ActiveQoSParamSet.
----------------------	--

Πίνακας A.6

Ροή Υπηρεσίας	Περιγραφή
Provisioned	Αυτή η ροή υπηρεσίας είναι γνωστή μέσω προ-εφοδιασμού, όπως για παράδειγμα το σύστημα διαχείρισης δικτύου. Οι παράμετροί της AdmittedQoSParamSet και ActiveQoSParamSet είναι κενές (null).
Admitted	Αυτή η ροή υπηρεσίας έχει πόρους κρατημένους από τον BS για τις AdmittedQoSParamSet παραμέτρους της, αλλά αυτές οι παράμετροι δεν είναι ενεργές.
Active	Αυτή η ροή υπηρεσίας έχει πόρους «ταγμένους» από τον BS για τις ActiveQoSParamSet παραμέτρους της. Οι ActiveQoSParamSet δεν είναι κενές (null).

5.7.3 Το Μοντέλο Αντικειμένων

Τα κύρια αντικείμενα της αρχιτεκτονικής αναπαριστώνται με ονοματισμένα τετράγωνα όπως απεικονίζει η Εικόνα A.29. Κάθε αντικείμενο έχει έναν αριθμό ιδιοτήτων, τα ονόματα ιδιοτήτων που μοναδικώς αναγνωρίζουν το αντικείμενο είναι υπογραμμισμένα. Οι προαιρετικές ιδιότητες επισημαίνονται με παρενθέσεις. Η σχέση μεταξύ των αριθμών αντικειμένων αναγράφεται κάθε φορά στο τέλος της γραμμής συσχέτισης μεταξύ των αντικειμένων. Για παράδειγμα, μια ροή υπηρεσίας μπορεί να συσχετίζεται με 0 μέχρι N PDU, αλλά μια PDU συσχετίζεται με ακριβώς μια ροή υπηρεσίας. Η ροή υπηρεσίας είναι η κεντρική έννοια του πρωτοκόλλου MAC. Αναγνωρίζεται μοναδικώς από ένα SFID των 32-bit. Οι ροές υπηρεσιών μπορεί να είναι είτε στην UL είτε στην DL κατεύθυνση. Οι επιτρεπόμενες (admitted) και ενεργές (active) ροές υπηρεσιών αντιστοιχίζονται σε ένα CID 16-bit.



Εικόνα Α.29 (Θεωρία λειτουργίας του μοντέλου αντικειμένου)

Η τάξη υπηρεσίας (service class) είναι ένα προαιρετικό αντικείμενο που μπορεί να υλοποιηθεί στον BS. Αναφέρεται από ένα όνομα ASCII, το οποίο προορίζεται για σκοπούς προμήθειας (provisioning). Μια τάξη υπηρεσίας ορίζεται στον BS να έχει ένα συγκεκριμένο σύνολο παραμέτρων QoS. Τα σύνολα παραμέτρων QoS μιας ροής υπηρεσίας μπορεί να περιέχουν μια αναφορά στο όνομα της τάξης υπηρεσίας ως ένα *macro* που επιλέγει όλες τις παραμέτρους QoS της τάξης υπηρεσίας. Τα σύνολα παραμέτρων QoS ροής υπηρεσίας μπορούν να αυξήσουν και ακόμα να παρακάμψουν τις ρυθμίσεις παραμέτρων QoS της τάξης υπηρεσίας, που υπόκειται σε αυθεντικοποίηση από τον BS.

5.7.4 Τάξεις Υπηρεσιών

Η τάξη υπηρεσίας εκτελεί δύο λειτουργίες. Πρώτον, επιτρέπει στους επιχειρηματίες να μετατοπίζουν ρυθμιστικές ροές υπηρεσιών από τον εξυπηρετητή προδιάθεσης (provisioning server) στον BS. Οι επιχειρηματίες προμηθεύουν τους SS με το όνομα της τάξης υπηρεσίας, η πλήρης υλοποίηση του ονόματος ρυθμίζεται στον BS. Αυτό επιτρέπει στους επιχειρηματίες να τροποποιούν την υλοποίηση μιας δεδομένης υπηρεσίας σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες χωρίς να αλλάζουν οι παροχές των SS.

Δεύτερον, επιτρέπει σε πρωτόκολλα υψηλότερου στρώματος να δημιουργούν μια ροή υπηρεσίας από το όνομα της τάξης υπηρεσίας της. Για παράδειγμα, η σηματοδοσία τηλεφωνίας μπορεί να διατάξει τον SS να συγκεκριμενοποιήσει οποιαδήποτε προδιατεθειμένη ροή υπηρεσίας τάξης «G.711».

Το σύνολο παραμέτρων QoS οποιασδήποτε ροής υπηρεσίας μπορεί να καθορίζεται με

έναν από τους τρεις τρόπους: πρώτον, με τη ρητή συμπερίληψη όλων των παραμέτρων κίνησης, δεύτερον, με την έμμεση αναφορά σε ένα σύνολο παραμέτρων κίνησης καθορίζοντας ένα όνομα τάξης υπηρεσίας, και τρίτον, καθορίζοντας ένα όνομα τάξης υπηρεσίας παράλληλα με την τροποποίηση των παραμέτρων.

5.8 Εξουσιοδότηση

Η δομική ενότητα εξουσιοδότησης (Authorization Module) θα εγκρίνει κάθε αλλαγή στις παραμέτρους QoS της ροής υπηρεσίας. Αυτό συμπεριλαμβάνει κάθε μήνυμα DSA-REQ που αλλάζει ένα σύνολο παραμέτρων QoS μιας υπάρχουσας ροής υπηρεσίας. Τέτοιες αλλαγές δημιουργούν μια νέα ροή υπηρεσίας, και κάθε μήνυμα DSC-REQ αλλάζει ένα σύνολο παραμέτρων QoS μιας υπάρχουσας ροής υπηρεσίας. Τέτοιες αλλαγές περιλαμβάνουν την αίτηση έκδοσης απόφασης ελέγχου εισόδου (για παράδειγμα, αρχικοποίηση του AdmittedQoSParamSet) και την αίτηση ενεργοποίησης μιας ροής υπηρεσίας (για παράδειγμα, αρχικοποίηση του ActiveQoSParamSet). Το Authorization Module ελέγχει επίσης αιτήσεις αναγωγής που αφορούν τους πόρους που θα διατεθούν ή θα ενεργοποιηθούν. Αυτό ορίζεται καλύτερα στον Πίνακα A.7

Πριν την αρχική αρχικοποίηση της σύνδεσης, ο BS ανακτά το σύνολο παραμέτρων Provisional QoS για έναν SS το οποίο παραδίδεται στο Authorization Module στον BS. Ο BS θα είναι ικανός να πιάσει το σύνολο παραμέτρων Provisional QoS και θα μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτές τις πληροφορίες για την εξουσιοδότηση δυναμικών ροών οι οποίες είναι ένα υποσύνολο του συνόλου παραμέτρων Provisional QoS.

Πίνακας A.7 (Μοντέλα εξουσιοδότησης QoS του WiMAX)

Είδος	Περιγραφή
Static Authorization	Αποθηκεύει την προδιατεθειμένη κατάσταση (provisioned status) όλων των «ετεροχρονισμένων» ροών υπηρεσιών. Αιτήσεις εισόδου και ενεργοποίησης για τις provisioned ροές υπηρεσιών θα επιτρέπονται για όσο 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 θα απορρίπτονται, όπως και οι αιτήσεις για δημιουργία νέων δυναμικών ροών υπηρεσιών. Η στατική εξουσιοδότηση ορίζει ένα στατικό σύστημα όπου όλες οι πιθανές υπηρεσίες ορίζονται στην αρχική ρύθμιση καθενός SS.

Dynamic Authorization	Επικοινωνεί μέσω μιας ξεχωριστής διεπαφής με έναν ανεξάρτητο εξυπηρετητή πολιτικής που παρέχει τη δομική ενότητα εξουσιοδότησης (Authorization Module) με πρότερη γνωστοποίηση αναμενόμενων αιτήσεων εισόδου και ενεργοποίησης και καθορίζει τη σωστή επενέργεια εξουσιοδότησης που πρέπει να γίνει στις αιτήσεις. Το Authorization Module ελέγχει τότε τις αιτήσεις εισόδου και ενεργοποίησης από έναν SS για να διασφαλίσει ότι το ActiveQoSParamSet που ζητήθηκε είναι υποσύνολο του συνόλου που παρέχει ο εξυπηρετητής πολιτικής. Οι αιτήσεις εισόδου και ενεργοποίησης ενός SS που σηματοδοτούνται εκ των προτέρων από τον εξυπηρετητή πολιτικής γίνονται αποδεκτές.
-----------------------	---

5.8.1 Είδη Ροών Υπηρεσιών

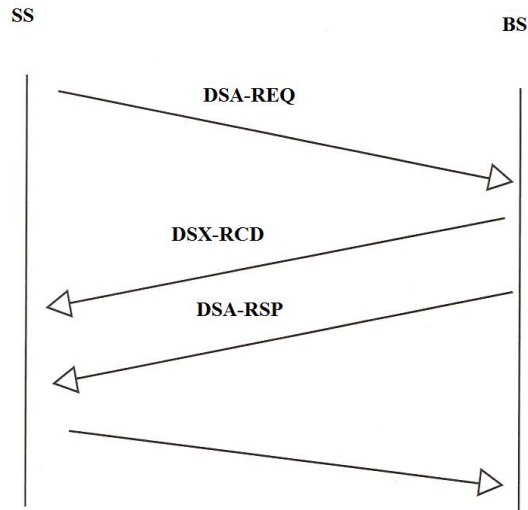
Τα τρία είδη ροών υπηρεσιών περιγράφονται στον Πίνακα A.8

Πίνακας A.8 (Είδη ροών υπηρεσιών)

Ροή Υπηρεσίας	Περιγραφή
Provisional service flows	Μια ροή υπηρεσίας που προδιαθέεται (provisioned) αλλά δεν ενεργοποιείται αμέσως.
Admitted service flows	Ένα μοντέλο ενεργοποίησης δύο φάσεων. Πρώτα, αποδίδονται οι πόροι για μια κλήση, μόλις ολοκληρωθεί η διαπραγμάτευση από άκρο σε άκρο, οι πόροι ενεργοποιούνται.
Active service flows	Μια ροή υπηρεσίας που το ActiveQoSParamSet δεν είναι κενό (null).

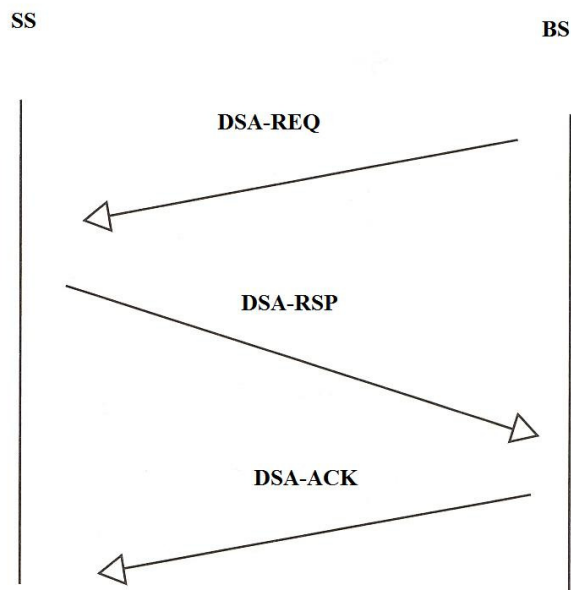
Δημιουργία Ροής Υπηρεσίας. Κατά τη διάρκεια της προδιάθεσης, μια ροή υπηρεσίας συγκεκριμενοποιείται και επιδέχεται ένα SFID (Service Flow ID) και ένα είδος προδιάθεσης. Την ενεργοποίηση των ροών υπηρεσιών ακολουθεί η μεταφορά των λειτουργικών παραμέτρων.

Δημιουργία Ροής Υπηρεσίας από SS. Ροές υπηρεσιών μπορούν να ξεκινήσουν και ο BS και ο SS. Ένα DSA-REQ από έναν SS (βλέπε Εικόνα A.30) περιέχει μια αναφορά ροή υπηρεσίας και ένα σύνολο παραμέτρων QoS (ορισμένο είτε μόνο για είσοδο (admission-only) είτε για είσοδο και ενεργοποίηση). Ο BS αποκρίνεται με ένα DSA-RSP υποδηλώνοντας αποδοχή ή άρνηση.



Εικόνα A.30 (ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο SS)

Δημιουργία Δυναμικής Ροής Υπηρεσίας από τον BS. Ένα DSA-REQ από τον BS (βλέπε Εικόνα A.31) περιέχει ένα SFID για μια UL και μια DL ροή υπηρεσίας, πιθανόν τα συσχετισμένα CID τους, και ένα σύνολο active ή admitted παραμέτρων QoS. Ο SS αποκρίνεται με DSA-RSP υποδηλώνοντας αποδοχή ή άρνηση.



Εικόνα A.31 (ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο BS)

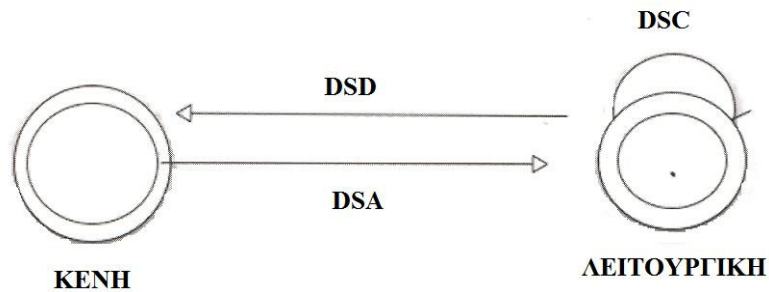
5.8.2 Διαχείριση Ροής Υπηρεσίας

Οι ροές υπηρεσιών μπορούν να δημιουργηθούν, να τροποποιηθούν, ή να διαγραφούν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας σειράς μηνυμάτων διαχείρισης MAC τα οποία περιγράφονται στον Πίνακα A.9

Πίνακας Α.9

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.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα Α.32, η κενή κατάσταση υπονοεί πως δεν υπάρχει καμιά ροή υπηρεσίας που να ταιριάζει το SFID στο μήνυμα. Μόλις υπάρξει η ροή υπηρεσίας, είναι λειτουργική και της έχει ανατεθεί ένα SFID. Στη λειτουργία σταθερής κατάστασης (steady-state), η ροή υπηρεσίας βρίσκεται σε ονομαστική κατάσταση.³



Εικόνα Α.32 (Dynamic Service Flow)

5.9 Συμπέρασμα

Οι παροχείς υπηρεσιών που εξετάζουν το WiMAX ως λύση πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τα πολλά μέτρα, συμβατικά και ειδικά του WiMAX, που επικεντρώνονται σε θέματα QoS. Εφόσον η εκπομπή γίνεται στον ελεύθερο χώρο, είναι σημαντικό ότι η μεγαλύτερη δυσκολία στο περιβάλλον των επικοινωνιών δεδομένων είναι η επίτευξη των μέτρων QoS. Τα συμβατικά μέτρα (όπως TDD, FDD, και OFDM) παρουσιάζουν με μοναδικό τρόπο θέματα QoS για αυτό το πρωτόκολλο. Τα μοντέλα αντικειμένου και οι δυναμικές ροές υπηρεσιών παράλληλα με τις παραμέτρους QoS διασφαλίζουν καλό QoS στα ασύρματα κύματα χρησιμοποιώντας το WiMAX.

³ “802.16-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems,” June 24, 2004, 219-217

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

MOBILE WiMAX

6.1 Εισαγωγή

Το Mobile WiMAX είναι μια ασύρματη ευρυζωνική λύση η οποία επιτρέπει τη σύγκλιση κινητών και σταθερών ευρυζωνικών δικτύων μέσω μιας κοινής τεχνολογίας ευρυζωνικής πρόσβασης ευρείας περιοχής και μιας ευέλικτης αρχιτεκτονικής δικτύου. Η ασύρματη διεπαφή Mobile WiMAX (Mobile WiMAX Air Interface) υιοθετεί OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) για βελτιωμένη πολύ-οδική απόδοση σε περιβάλλοντα χωρίς οπτική επαφή. Για να επιτευχθούν μεταβλητού μεγέθους εύρη ζώνης καναλιών από 1,25 έως 20 MHz γίνεται χρήση της τεχνικής SOFDMA (Scalable OFDMA). Η πρώτη έκδοση του Mobile WiMAX θα καλύπτει εύρη ζώνης καναλιών στα 5, 7, 8,75, και 10 MHz για αδειοδοτημένες κατανομές φάσματος παγκοσμίως στις ζώνες συχνοτήτων 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz και 3,5 GHz. Η ομάδα Mobile Technical Group (MTG) στο WiMAX Forum αναπτύσσει τα προφίλ συστήματος Mobile WiMAX που θα καθορίζουν τα υποχρεωτικά και προαιρετικά χαρακτηριστικά του προτύπου IEEE που είναι απαραίτητα για την κατασκευή μιας σύμμορφης προς τους κανονισμούς ασύρματης διεπαφής Mobile WiMAX που να μπορεί να πιστοποιηθεί από το WiMAX Forum.

Η ομάδα WiMAX Forum Network Working Group (NWG) αναπτύσσει τις δικτυακές προδιαγραφές υψηλότερου επιπέδου για συστήματα Mobile WiMAX πέρα από ότι ορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.16 το οποίο απλώς καταπιάνεται με τις προδιαγραφές της ασύρματης διεπαφής. Η συνδυασμένη προσπάθεια του IEEE 802.16 και του WiMAX Forum βοηθά να καθοριστεί η από άκρο σε άκρο επίλυση του συστήματος για ένα δίκτυο Mobile WiMAX. Τα συστήματα Mobile WiMAX προσφέρουν προσαρμοστικότητα και στην τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης και στην αρχιτεκτονική του δικτύου, και επομένως παρέχουν μεγάλη ευελιξία στις επιλογές ανάπτυξης του δικτύου και στις υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν. Μερικά από τα εξέχοντα χαρακτηριστικά που υποστηρίζει το Mobile WiMAX είναι:

- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης:** Η συμπερίληψη τεχνικών κεραιών MIMO μαζί με ευέλικτα σχέδια υπό-καναλοποίησης, Advanced Coding and Modulation επιτρέπουν στην τεχνολογία Mobile WiMAX να υποστηρίξει τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης DL μέχρι 63 Mbit/sec ανά τομέα και τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης UL μέχρι 28 Mbit/sec σε ένα κανάλι 10 MHz.
- **Quality of Service (QoS):** Η βασική αρχή της αρχιτεκτονικής του MAC στο IEEE 802.16 είναι το QoS. Καθορίζει τις ροές υπηρεσιών (Service Flows) που μπορούν να αντιστοιχηθούν στα σημεία DiffServ code points ή ετικέτες ροών MPLS που δίνουν τη

δυνατότητα ύπαρξης QoS από άκρο σε άκρο και βασισμένο στο IP (IP based). Επιπλέον, η υπό-καναλοποίηση και τα βάσει MAP σχέδια σηματοδότησης παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για το βέλτιστο προγραμματισμό του χώρου, των συχνοτήτων και των χρονικών πόρων επί της ασύρματης διεπαφής σε μια βάση πλαίσιο-ανά-πλαίσιο.

- **Προσαρμοστικότητα (scalability):** Παρά την όλο και περισσότερο διεθνοποιημένη οικονομία, οι φασματικοί πόροι για ασύρματη ευρυζωνικότητα παγκοσμίως είναι ακόμη εντελώς ανόμοιοι στις κατανομές τους. Επομένως, η τεχνολογία του mobile WiMAX είναι σχεδιασμένη να προσαρμόζει τη λειτουργία της σε διαφορετικές καναλοποιήσεις από 1,25 έως 20 MHz για να συμμορφώνεται με τις ποικίλες απαιτήσεις διεθνώς καθώς οι προσπάθειες προχωρούν μακροπροθέσμως στην φασματική εναρμόνιση. Αυτό επίσης επιτρέπει διαφορετικές οικονομίες να συνειδητοποιήσουν τα πολυποίκιλα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Mobile WiMAX για τις συγκεκριμένες γεωγραφικές ανάγκες τους όπως η παροχή προσιτής Διαδικτυακής πρόσβασης σε αγροτικές συνθήκες σε αντιδιαστολή με την ενίσχυση της χωρητικότητας της κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης σε μητροπολιτικές και προαστιακές περιοχές.
- **Ασφάλεια:** Τα χαρακτηριστικά που παρέχονται για θέματα ασφάλειας στο Mobile WiMAX είναι τα καλύτερα στην κατηγορία με αυθεντικοποίηση βάσει EAP, αυθεντικοποιημένη κρυπτογράφηση βάσει AES-CCM, και σχέδια προστασίας των μηνυμάτων ελέγχου βάσει CMAC και HMAC. Υπάρχει υποστήριξη για τα διάφορα σύνολα διαπιστευτηρίων χρηστών συμπεριλαμβανομένων: κάρτες SIM/USIM, Smart Cards, Ψηφιακά Πιστοποιητικά, και σχέδια Όνομα χρήστη/Κωδικός βάσει των σχετικών μεθόδων EAP για το είδος των διαπιστευτηρίων.
- **Κινητικότητα:** Το Mobile WiMAX υποστηρίζει βελτιστοποιημένα σχέδια μεταγωγής με καθυστερήσεις μικρότερες από 50 millisecond για τη διασφάλιση των εφαρμογών πραγματικού χρόνου όπως η λειτουργία VoIP χωρίς υποβάθμιση της υπηρεσίας. Ευέλικτα σχέδια διαχείρισης κλειδιών διαβεβαιώνουν πως διατηρείται η ασφάλεια κατά τη διάρκεια της μεταγωγής.

6.2 Χαρακτηριστικά του Mobile WiMAX

Η τεχνική πρόσβασης στο μέσο που χρησιμοποιεί το Mobile WiMAX είναι η OFDMA και υποστηρίζει σημαντικά χαρακτηριστικά απαραίτητα για την παροχή κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών για οδικές ταχύτητες άνω των 120 km/hr με QoS συγκρίσιμο με εναλλακτικές ενσύρματης πρόσβασης. Αυτά τα χαρακτηριστικά και ιδιότητες

περιλαμβάνουν:

- **Ανοχή στην πολύ-οδική διάδοση και σε αυτό-παρεμβολές** με υπό-καναλική ορθογωνικότητα σε DL και UL.
- **Προσαρμοζόμενα εύρη ζώνης καναλιών** από 1,25 έως 20 MHz.
- **Time Division Duplex (TDD)** ορίζεται για τα αρχικά προφίλ κινητού WiMAX για την μεγαλύτερη αποδοτικότητα του στην υποστήριξη ασύμμετρης κίνησης και στην καναλική αμοιβαιότητα για την εύκολη υποστήριξη συστημάτων εξελιγμένων κεραιών.
- **Hybrid-Automatic Repeat Request (H-ARQ)** παρέχει επιπρόσθετη σθεναρότητα με ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες διαδρομής σε καταστάσεις υψηλής κινητικότητας.
- **Επιλεκτικός προγραμματισμός συχνοτήτων (Frequency Selective Scheduling)** και υπό-καναλοποίηση με πολλαπλές μεταθέσεις επιλογών, δίνει στο mobile WiMAX την ικανότητα βελτιστοποίησης της ποιότητας της σύνδεσης βάσει του πόσο ισχυρό είναι το σήμα συγκεκριμένων χρηστών.
- **Διαχείριση εξοικονόμησης ενέργειας (Power Conservation Management)** διασφαλίζει ενεργειακή αποδοτικότητα κατά τη λειτουργία υπολογιστών χειρός και φορητών συσκευών με μπαταρίες στους τρόπους λειτουργίας sleep και idle.
- **Network-Optimized Hard Handoff (HHO)** υποστηρίζεται για να ελαχιστοποιηθεί η επιβάρυνση (overhead) και για να επιτευχθεί καθυστέρηση μεταγωγής μικρότερη από 50 millisecond.
- **Multicast and Broadcast Service (MBS)** συνδυάζει τα χαρακτηριστικά του DVB-H, MediaFLO και 3GPP E-ULTRA για:
 - a) Υψηλό ρυθμό μετάδοσης και κάλυψη χρησιμοποιώντας ένα Single Frequency Network
 - b) Ευπροσάρμοστη κατανομή των ασύρματων πόρων
 - c) Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας κινητών συσκευών
 - d) Χαμηλός χρόνος μεταγωγής καναλιού
- **Smart Antenna** που βοηθιέται από την υπό-καναλοποίηση και την καναλική αμοιβαιότητα, και η οποία καθιστά εφικτή τη χρήση ενός μεγάλου εύρους συστημάτων εξελιγμένων κεραιών συμπεριλαμβανομένων σχηματισμού δέσμης, κωδικοποίηση χωρού-χρόνου και χωρική πολυπλεξία.
- **Κλασματική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων (Fractional Frequency Reuse)** η οποία ελέγχει τις συγκαναλικές παρεμβολές για την υποστήριξη καθολικής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων με ελάχιστη υποβάθμιση της φασματικής

αποδοτικότητα.

- **5 millisecond μέγεθος πλαισίου** παρέχει τον βέλτιστο αντιπραγματισμό μεταξύ επιβάρυνσης (overhead) και καθυστέρησης (latency).

6.3 Συγκριτική ανάλυση

Για να βελτιωθεί η χωρητικότητα της κατερχόμενης ζεύξης στα συστήματα 3G το 3GPP έχει αναπτύξει το HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) το οποίο αποτελεί αναβάθμιση του WCDMA. Αυτή η αναβάθμιση αλλάζει την κατερχόμενη ζεύξη από CDM σε TDM-CDM έτσι ώστε να υποστηριχθεί προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση και άλλες βελτιώσεις φασματικής αποδοτικότητας. Μια περαιτέρω αναβάθμιση, το HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) παρέχει παρομοίως βελτιώσεις στην ανοδική ζεύξη. Παρόμοιες αλλαγές έχουν αναπτυχθεί από το 3GPP2 για το CDMA2000. Το 1xEVDO (Evolution-Data Optimized) αλλάζει την κατερχόμενη ζεύξη από CDM σε TDM και προσθέτει δυνατότητα πολλαπλών φερόντων (multi-carrier). Άλλη μια αναμενόμενη εξέλιξη για το WCDMA όπως το LTE (Long Term Evolution) θα υιοθετεί τεχνολογία βασισμένη στο OFDM για την περαιτέρω βελτίωση της διεκπαιρευτικής ικανότητας δεδομένων.

Όπως προαναφέρθηκε, το Mobile WiMAX είναι βασισμένο στην τεχνολογία OFDM/OFDMA. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών CDMA 3G συστημάτων είναι:

- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης:** Οι τεχνικές κεραιών MIMO με ευέλικτα σχέδια υπό-καναλοποίησης, η εξελιγμένη κωδικοποίηση και διαμόρφωση (Advanced Coding and Modulation) δίνουν τη δυνατότητα στο Mobile WiMAX να υποστηρίξει τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στον τομέα DL μέχρι 46 Mbit/sec, θεωρώντας έναν λόγο DL/UL 3:1, και μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στον τομέα UL μέχρι 14 Mbit/sec, θεωρώντας έναν λόγο DL/UL 1:1, σε ένα κανάλι 10 MHz.
- **Quality of Service:** Η θεμελιώδης αρχή της αρχιτεκτονικής του IEEE 802.16 MAC είναι το QoS. Ορίζει τα Service Flows που μπορούν να αντιστοιχηθούν στα σημεία κωδικών DiffServ ή τις ετικέτες ροής MPLS που επιτρέπουν από άκρο σε άκρο IP-based QoS. Επιπροσθέτως, η υπό-καναλοποίηση και τα MAP-based σχέδια σηματοδότησης παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για τον βέλτιστο προγραμματισμό των πόρων χώρου, συχνοτήτων, και χρόνου επί της ασύρματης διεπαφής σε μια βάση πλαίσιο-ανά-πλαίσιο. Με υψηλό ρυθμό μετάδοσης και ευέλικτο προγραμματισμό, το QoS μπορεί να ενισχυθεί καλύτερα.

- **Προσαρμοστικότητα:** Παρά την όλο και περισσότερο διεθνοποιημένη οικονομία, οι φασματικοί πόροι για ασύρματη ευρυζωνικότητα παγκοσμίως είναι ακόμη εντελώς ανόμοιοι στις κατανομές τους. Επομένως, η τεχνολογία του Mobile WiMAX είναι σχεδιασμένη να προσαρμόζει τη λειτουργία της σε διαφορετικές καναλοποιήσεις από 1,25 έως 20 MHz για να συμμορφώνεται με τις ποικίλες απαιτήσεις διεθνώς καθώς οι προσπάθειες προχωρούν μακροπρόθεσμως στην φασματική εναρμόνιση. Αυτό επίσης επιτρέπει διαφορετικές οικονομίες να συνειδητοποιήσουν τα πολυποίκιλα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Mobile WiMAX για τις συγκεκριμένες γεωγραφικές ανάγκες τους όπως η παροχή προσιτής Διαδικτυακής πρόσβασης σε αγροτικές συνθήκες σε αντιδιαστολή με την ενίσχυση της χωρητικότητας της κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης σε μητροπολιτικές και προαστιακές περιοχές.
- **Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (Adaptive Modulation and Coding).** Η OFDMA χρησιμοποιεί καλύτερα την προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, οπότε επιτυγχάνει υψηλότερη ρυθμοαπόδοση (9,6 Mbit/sec) σε σύγκριση με την WCDMA (3 Mbit/sec). Αυτή η δοκιμή εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας OFDM και 16QAM (το IEEE 802.16e υποστηρίζει 64QAM). Επιπλέον, η OFDMA μπορεί να είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει την υψηλότερη τάξη διαμόρφωσης σε μεγαλύτερες εμβέλειες.

Το 1xEVDO και το HSDPA/HSPA εξελίχθηκαν από τα CDMA πρότυπα του 3G για την παροχή υπηρεσιών δεδομένων πάνω από ένα δίκτυο το οποίο αρχικώς σχεδιάστηκε για κινητές υπηρεσίες φωνής. Αυτές οι αναβαθμίσεις 3G είναι το αποτέλεσμα εξέλιξης των εμπειριών του 3G και επομένως, κληρονομούν και τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των συμβατικών συστημάτων 3G. Τα δίκτυα 3G είναι σχεδιασμένα να παρέχουν την εκτεταμένη κάλυψη που απαιτούν οι μεταγωγής κυκλώματος υπηρεσίες φωνής. Από την άλλη πλευρά, το WiMAX αναπτύχθηκε αρχικώς για σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση και είναι βελτιστοποιημένο για υπηρεσίες ευρυζωνικών δεδομένων, με άλλα λόγια έχει σχεδιαστεί εκ θεμελίων για το IP (IP-based). Αφού λοιπόν το Mobile WiMAX έχει εξελιχθεί από έννοιες συστημάτων που σχεδιάστηκαν αρχικώς για σταθερή ασύρματη πρόσβαση, το WiMAX αντιμετωπίζει την πρόκληση ικανοποίησης των επιπρόσθετων απαραίτητων απαιτήσεων για την υποστήριξη κινητικότητας. Ο Πίνακας A.10 συνοψίζει τις διαφορές των δύο τεχνολογιών.

Πίνακας Α.10

Ιδιότητα	1xEVDO	HSPA	Mobile WiMAX	
Βασικό πρότυπο	CDMA2000	WCDMA	IEEE 802.16e	
Μέθοδος duplex	FDD	FDD	TDD	
Downlink	TDM	CDM-TDM	OFDMA	
Uplink	CDMA	CDMA	OFDMA	
Εύρος ζώνης καναλιού	1.25 MHz	5 MHz	Προσαρμόσιμο: 5, 7, 8.75, 10 MHz	
Μέγεθος πλαισίου	DL	1.67 msec	2 msec	5 msec TDD
	UL	6.67 msec	2, 10 msec	5 msec TDD
Διαμόρφωση DL	QPSK/8PSK/16QAM	QPSK/16QAM	QPSK/16QAM/64QAM	
Διαμόρφωση UL	BPSK, QPSK/8PSK	BPSK/QPSK	QPSK/16QAM	
Κωδικοποίηση	Turbo	CC, Turbo	CC, Turbo	
DL data rate	3.1 Mbit/sec	14 Mbit/sec	46 Mbit/sec	
UL data rate	1.8 Mbit/sec	5.8 Mbit/sec	7 Mbit/sec	
H-ARQ	Fast 4-Channel Synchronous IR	Fast 6-Channel Asynchronous CC	Multi-Channel Asynchronous CC	
Scheduling	Fast Scheduling στο DL	Fast Scheduling στο DL	Fast Scheduling στο DL και στο UL	
Μεταγωγή	Virtual Soft Handoff	Network Initiated Hard Handoff	Network Optimized Hard Handoff	
Diversity, MIMO	Simple Open Loop Diversity	Simple Open and Closed Loop Diversity	STBC, SM	
Beam forming	Όχι	Ναι	Ναι	

6.4 Συμπέρασμα

Το Mobile WiMAX βασίζεται σε τεχνολογίες OFDM/OFDMA οι οποίες είναι πιο κατάλληλες για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες δεδομένων. Μάλιστα είναι πιο αποδεκτό πως θα αποτελέσουν τη βάση του 4G. Ένα σύστημα OFDM/OFDMA με μεγάλης ανάλυσης κατανομή πόρων, καλύτερη αποδοτικότητα στην ανερχόμενη ζεύξη, μπορεί να υποστηρίξει τεχνολογίες εξελιγμένων κεραιών. Αυτές οι ικανότητες θέτουν τα θεμέλια για σημαντικά καλύτερη φασματική αποδοτικότητα και καλύτερο QoS και στις δύο κατευθύνσεις κατερχόμενης και ανερχόμενης ζεύξης. Επίσης, το Mobile WiMAX μπορεί να ρυθμίσει

δυναμικά το λόγο downlink/uplink χρησιμοποιώντας TDD με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία όσο αφορά την υποστήριξη διαφορετικών ειδών ευρυζωνικής κίνησης. Σε αντίθεση, τα EVDO και HSPA, τα οποία βασίζονται στο FDD, έχουν σταθερό ασύμμετρο λόγο downlink/uplink. Ακόμη, το Mobile WiMAX παρέχει ανώτερο QoS και άρα ικανοποιούνται καλύτερα οι διάφορες απαιτήσεις των πελατών.

Επίσης, μόνο το Mobile WiMAX μπορεί να μεταφέρει υπηρεσίες DSL σε ένα κινητό περιβάλλον με καλή σχέση απόδοσης-τιμής. Αυτή είναι μια αναγκαία απαίτηση για την επιτυχία του Mobile WiMAX, μια τεχνολογία που μέσω των ευρυζωνικών κινητών υπηρεσιών της σκοπεύει να προσφέρει από διαδραστικά παιχνίδια πραγματικού χρόνου, VoIP, ροές πολυμέσων μέχρι πλοήγηση στο Διαδίκτυο και απλή μεταφορά αρχείων.

ΜΕΡΟΣ Β΄

Το σύστημα κινητών επικοινωνιών 3^{ης} γενεάς UMTS

1. Εισαγωγή – Το πρότυπο UMTS

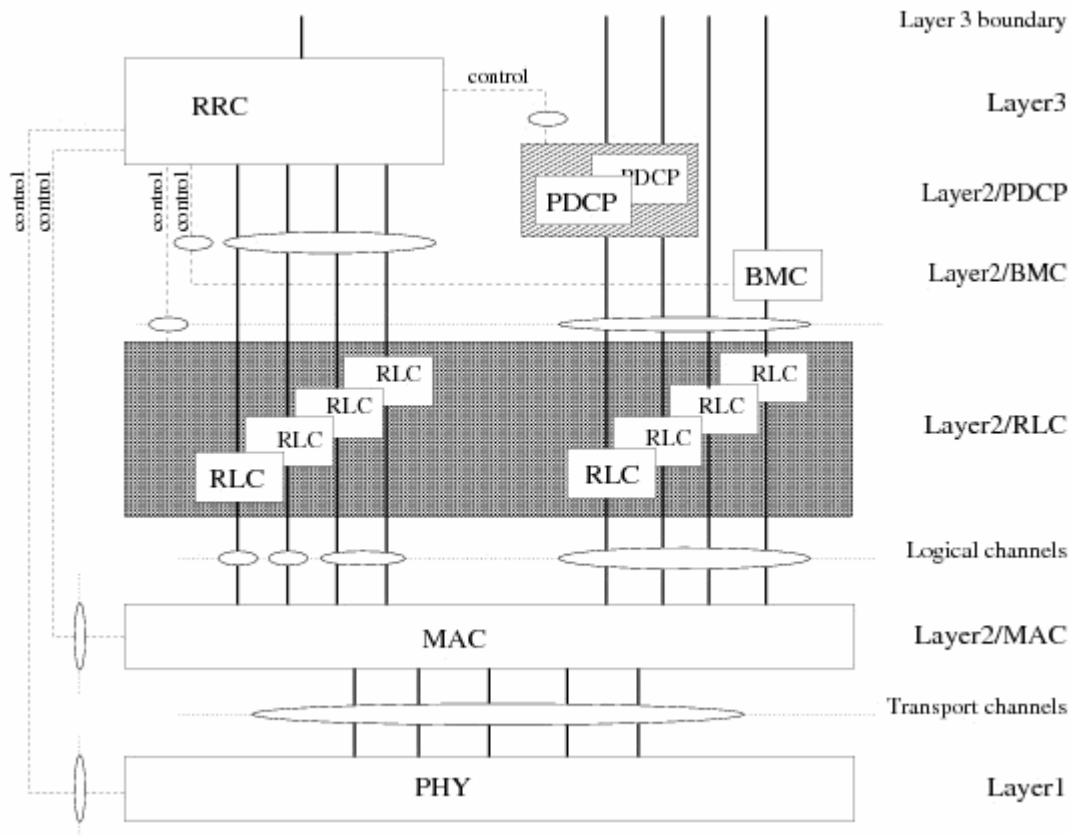
Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη σε σχέση με την χωρητικότητα, την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ύπαρξη νέων υπηρεσιών, των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς. Σήμερα, περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα που χρησιμοποιούν την WCDMA τεχνολογία λειτουργούν σε 25 χώρες. Για την οργάνωση του όλου εγχειρήματος έχει θεσπιστεί ειδικός μη κερδοσκοπικός οργανισμός με την ονομασία Third Generation Partnership Project (3GPP) του οποίου μέλημα είναι η παρακολούθηση και η καθοδήγηση των εξελίξεων στην συγκεκριμένη τεχνολογική περιοχή. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των UMTS δικτύων ξεχωρίζουμε τους αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων και την ταυτόχρονη υποστήριξη μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής. Πιο συγκεκριμένα, το UMTS δίκτυο στην αρχική του φάση, θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 384 kbps σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται αυξημένη κινητικότητα του χρήστη. Αντίθετα, όταν ο χρήστης παραμένει ακίνητος οι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνουν κατά πολύ φθάνοντας την τιμή των 2 Mbps. Εκτιμάται ότι στο μέλλον θα υπάρξει περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Ήδη, ο 3GPP έχει προτυποποιήσει δύο νέες τεχνολογίες. Πρόκειται για το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) και το High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες ουσιαστικά αποτελούν εξέλιξη του UMTS, αφού υπόσχονται ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων έως και 14,4 Mbit/sec στο downlink και 5,8 Mbit/sec στο uplink.

Ο οργανισμός 3GPP έχει αναπτύξει το πρότυπο UMTS όπως φαίνεται στην Εικόνα Β.1:

- Layer 1: φυσικό στρώμα.
- Layer 2: στρώμα ζεύξης δεδομένων. Γίνεται η σύνδεση point-to-point
 - Έλεγχος πρόσβασης στο μέσο (MAC).
 - Έλεγχος ασύρματης ζεύξης (RLC) (έλεγχος ροής, διόρθωση σφαλμάτων, επανεκπομπή, segmentation)
 - Πρωτόκολλο σύγκλισης πακέτων δεδομένων (Packet Data Convergence Protocol). Εδώ υπάγεται το BMC (broadcast/multicast control)
- Layer 3: Στρώμα δικτύου. Εγκαθίδρυση σύνδεσης, μεταγωγή. Το RRC (Radio Resource Control) αναθέτει, ρυθμίζει και μοιράζει το εύρος ζώνης
- Layer 4+: Στρώματα εφαρμογής. Έλεγχος κλήσεων, διαχείριση κινητικότητας

Ειδικότερα για το RLC

- Διόρθωση σφαλμάτων εκπομπής
- Segmentation (τεμαχισμός) των μεταβλητού μεγέθους πακέτων δεδομένων που λαμβάνονται από το ανώτερο στρώμα σε σταθερού μεγέθους PDU (packet data unit)
- Reassembly (επανασυναρμολόγηση) των λαμβανόμενων PDU
- Μηχανισμοί κρυπτογράφησης



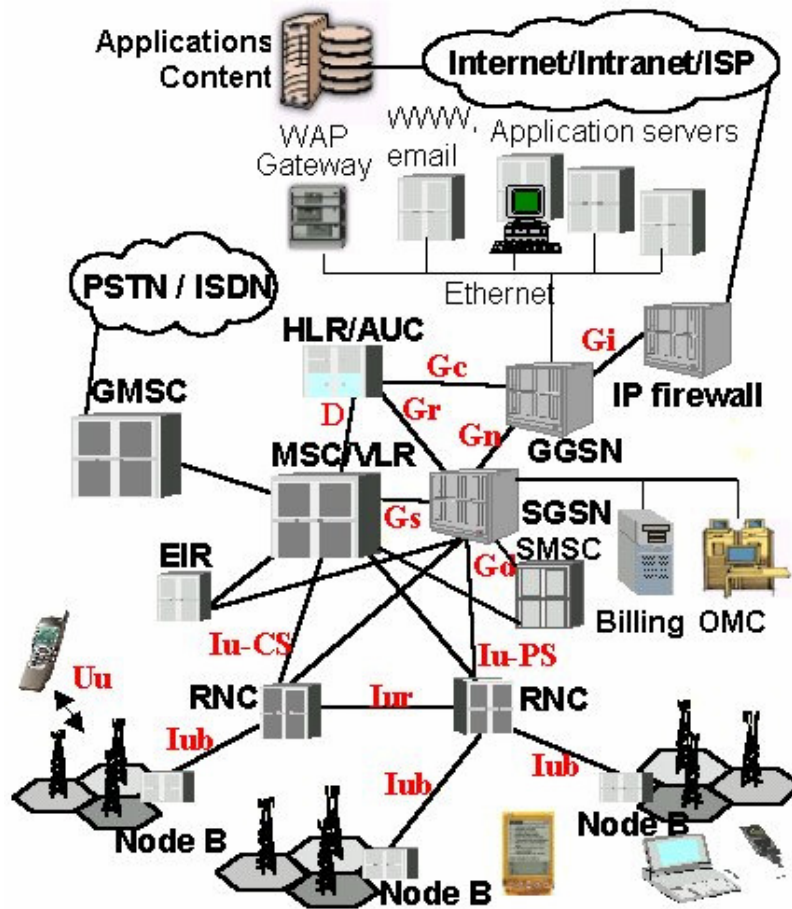
Εικόνα Β.1

2. Περιγραφή Αρχιτεκτονικής

Ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από τρεις αλληλεπιδρώντες τομείς, Core Network (CN), UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) και User Equipment (UE). Η κύρια λειτουργία του CN είναι η μεταγωγή, και η δρομολόγηση της κίνησης των χρηστών. Το CN επίσης περιέχει τις βάσεις δεδομένων και τις λειτουργίες διαχείρισης δικτύου.

Η βασική αρχιτεκτονική του CN για το UMTS βασίζεται σε δίκτυο GSM με GPRS. Όλος ο εξοπλισμός πρέπει να τροποποιηθεί για λειτουργία και υπηρεσίες UMTS. Το UTRAN παρέχει στο UE τη μέθοδο πρόσβασης στην ασύρματη διεπαφή. Ο σταθμός βάσης αναφέρεται ως Node B και ο εξοπλισμός ελέγχου για τους Node B ονομάζεται Radio Network Controller (RNC). Η Εικόνα Β.2 απεικονίζει πως μπορεί να δομηθεί ένα UMTS 3G

δίκτυο.



Εικόνα Β.2

Serving GPRS Support Node

Παρέχει δρομολόγηση πακέτων, διαχείριση κινητικότητας, αυθεντικοποίηση και κρυπτογράφηση σε/από όλους τους συνδρομητές GPRS εντός της περιοχής υπηρεσιών SGSN. Ένας συνδρομητής GPRS μπορεί να εξυπηρετείται από οποιοδήποτε SGSN, ανάλογα με την τοποθεσία που βρίσκεται. Η κίνηση δρομολογείται από το SGSN στο BSC και στο κινητό τερματικό μέσω του BTS.

Gateway GPRS Support Node

Παρέχει τη διασύνδεση με εξωτερικά δίκτυα ISP. Από τη μεριά των εξωτερικών δικτύων IP το GGSN είναι ένας κεντρικός υπολογιστής που κατέχει όλες τις διευθύνσεις IP όλων των συνδρομητών που εξυπηρετεί το δίκτυο GPRS.

Core Network

Το Core Network διαιρείται σε τομείς μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου. Μερικά στοιχεία μεταγωγής κυκλώματος είναι το MSC, η βάση δεδομένων VLR. Τα στοιχεία

μεταγωγής πακέτου είναι το SGSN (Serving GPRS Support Node) και το GGSN (Gateway GPRS Support Node). Κάποια άλλα στοιχεία του δικτύου, όπως EIR, HLR, VLR, και AUC μοιράζονται κι από τους δύο τομείς.

Για τη μετάδοση στο core network του UMTS ορίζεται το ATM. Τη σύνδεση μεταγωγής κυκλώματος χειρίζεται το ATM Adaptation Layer 2 και τη σύνδεση μεταγωγής πακέτου το ATM Adaptation Layer 5. Η αρχιτεκτονική του Core Network μπορεί να μεταβληθεί όταν εισάγονται νέες υπηρεσίες ή χαρακτηριστικά.

Radio Access (Φυσικό Στρώμα)

Για την ασύρματη διεπαφή UTRAN επιλέχθηκε η τεχνολογία Wide band Code Division Multiple Access. Η υλοποίηση του WCDMA είναι δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας (αλγόριθμοι, υπολογιστική πολυπλοκότητα δέκτη, κλπ) και των πολλαπλών χρήσεων που μπορεί να έχει. Σε μια διεπαφή WCDMA διαφορετικοί χρήστες είναι δυνατόν να εκπέμπουν ταυτόχρονα με διαφορετικές ταχύτητες και οι ταχύτητες να αλλάζουν με το χρόνο. Το WCDMA έχει δύο βασικούς τρόπους λειτουργίας: FDD και TDD.

Οι λειτουργίες ενός Node B είναι:

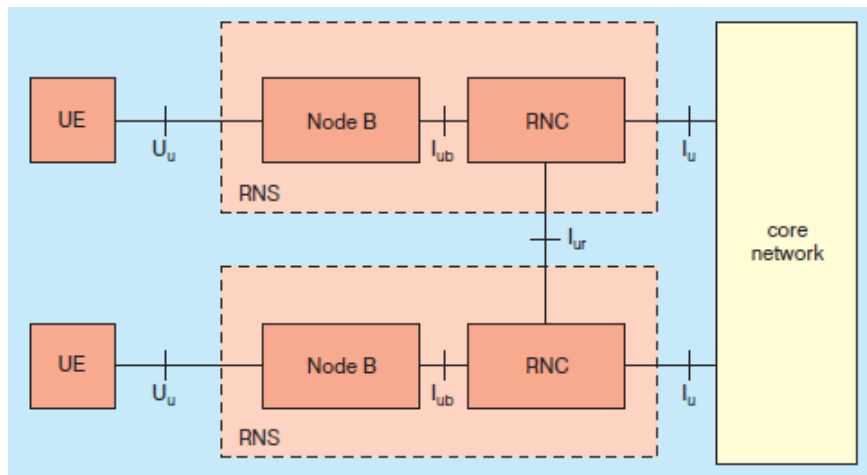
- Εκπομπή / λήψη στην ασύρματη διεπαφή
- Διαμόρφωση / αποδιαμόρφωση
- CDMA κωδικοποίηση φυσικού καναλιού
- Micro diversity
- Χειρισμός σφαλμάτων
- Έλεγχος ισχύος κλειστού βρόγχου (Closed Loop Power Control)

Οι λειτουργίες του RNC είναι:

- Έλεγχος ασύρματων πόρων (Radio Resource Control)
- Έλεγχος εισόδου (Admission Control)
- Κατανομή καναλιών (Channel Allocation)
- Ρυθμίσεις ελέγχου ισχύος (Power Control Settings)
- Έλεγχος μεταγωγής (Handover Control)
- Macro diversity
- Κρυπτογράφηση
- Κατάτμηση / επανασυναρμολόγηση
- Σηματοδοσία εκπομπής (Broadcast Signaling)
- Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόγχου (Open Loop Power Control)

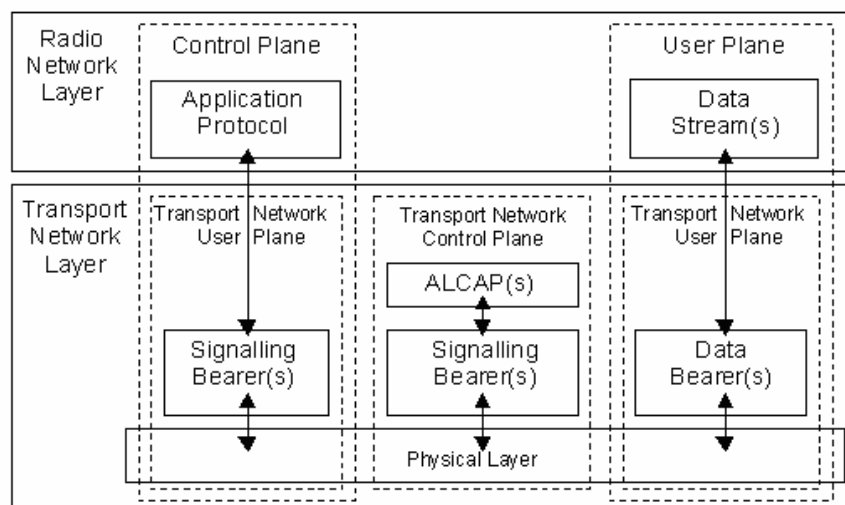
UTRAN

Αποτελεί συλλεκτικό όρο για τα Node B και RNC που αποτελούν το UMTS Radio Access Network. Σκοπός της διεπαφής UTRAN είναι η συνδεσιμότητα μεταξύ UE και Core Network. Το UTRAN υποδιαιρείται σε ανεξάρτητα Radio Network Systems, όπου κάθε RNS ελέγχεται από ένα RNC. Το RNC συνδέεται σε ένα σύνολο Node B το καθένα από τα οποία μπορεί να εξυπηρετεί μια ή περισσότερες κυψέλες. Η Εικόνα B.3 επεξηγεί την αρχιτεκτονική του συστήματος UTRAN.



Εικόνα B.3

Το γενικό μοντέλο πρωτοκόλλων για τις διεπαφές UTRAN απεικονίζεται στην Εικόνα B.4. Η δομή βασίζεται στην αρχή ότι τα στρώματα (layers) και τα επίπεδα (planes) είναι λογικά ανεξάρτητα μεταξύ τους. Επομένως, όταν απαιτείται, το σώμα προτυποποίησης μπορεί εύκολα να τροποποιήσει τις στοίβες πρωτοκόλλων και επιπέδων για την ικανοποίηση μελλοντικών απαιτήσεων.



Εικόνα B.4

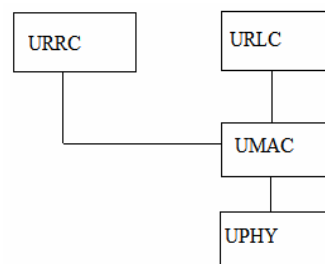
Η δομή των πρωτοκόλλων αποτελείται από δύο κύρια στρώματα, το Radio Network Layer, και το Transport Network Layer. Ότι έχει σχέση με UTRAN είναι ορατό μόνο στο Radio Network Layer, και το Transport Network Layer αναπαριστά την πρότυπη τεχνολογία μεταφοράς που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί για το UTRAN, αλλά χωρίς οποιεσδήποτε ειδικές απαιτήσεις.

3. Το Στρώμα MAC

Οι λειτουργίες του UMTS MAC μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- Αντιστοίχιση μεταξύ λογικών καναλιών και καναλιών μεταφοράς
- Επιλογή του κατάλληλου Transport Format για το κάθε κανάλι μεταφοράς αναλόγως του στιγμιαίου ρυθμού της πηγής
- Χειρισμός προτεραιοτήτων μεταξύ ροών δεδομένων ενός UE (User Equipment)
- Χειρισμός προτεραιοτήτων μεταξύ UE με χρήση δυναμικού χρονοπρογραμματισμού
- Αναγνώριση των UE σε κοινά κανάλια μεταφοράς
- Πολυπλεξία / αποπολυπλεξία ανωτέρου στρώματος PDU σε / από μπλοκ μεταφοράς (transfer blocks) που παραλαμβάνονται σε / από το φυσικό στρώμα σε κοινά κανάλια μεταφοράς
- Πολυπλεξία / αποπολυπλεξία ανωτέρου στρώματος PDU σε / από transport blocks που παραλαμβάνονται σε/ από το φυσικό στρώμα σε αποκλειστικά κανάλια μεταφοράς
- Μέτρηση όγκου κίνησης
- Transport Channel type switching
- Κρυπτογράφηση για διαφανή τρόπο λειτουργίας RLC
- Επιλογή Access Service Class για εκπομπή RACH (Random Access Channel) και CPCH (Common Packet Channel)
- Έλεγχος εκπομπής και λήψης HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) περιλαμβάνοντας υποστήριξη HARQ (Hybrid ARQ)
- Μέτρηση HS-Provided Bit Rate

Σχεδιαστικά το UMTS MAC είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα B.5



Εικόνα B.5

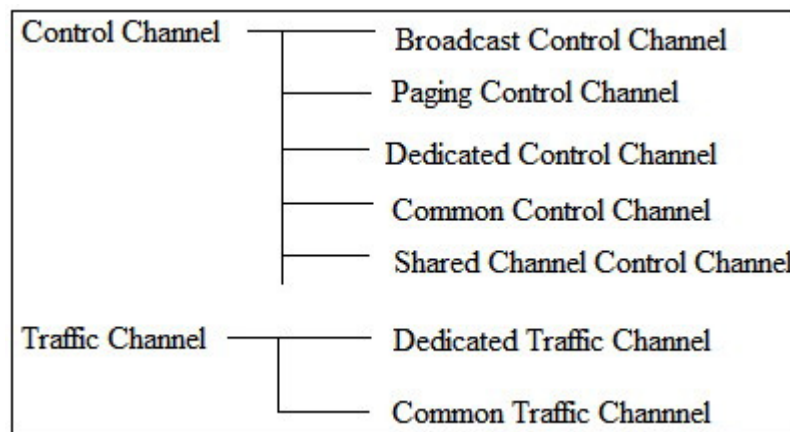
Δομή καναλιών

Το MAC λειτουργεί στα κανάλια που ορίζονται παρακάτω, τα κανάλια μεταφοράς περιγράφονται μεταξύ MAC και Layer 1, τα λογικά κανάλια περιγράφονται μεταξύ MAC και RLC.

Τα κανάλια μεταφοράς είναι:

- Random Access Channel
- Forward Access Channel
- Downlink Shared Channel
- High Speed Downlink Shared Channel
- Common Packet Channel μόνο για FDD λειτουργία στο uplink
- Uplink Shared Channel μόνο για TDD λειτουργία
- Broadcast Channel
- Paging Channel
- Dedicated Channel

Το στρώμα MAC παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων σε λογικά κανάλια. Ένα σύνολο διαφορετικών λογικών καναλιών για τα διάφορα είδη υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων. Κάθε είδος λογικού καναλιού ορίζεται από το είδος της πληροφορίας που μεταφέρεται. Η Εικόνα B.6 απεικονίζει την κατηγοριοποίηση των λογικών καναλιών.

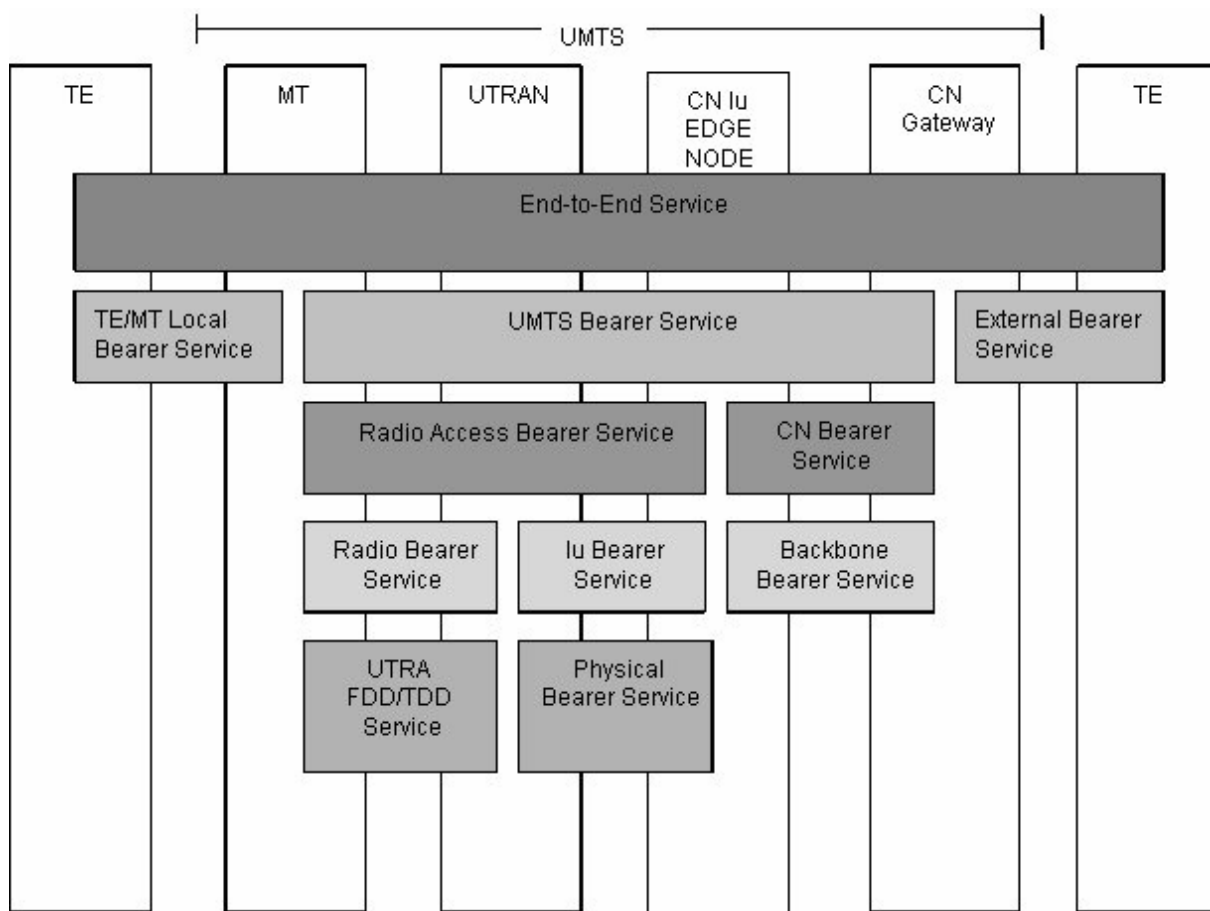


Εικόνα B.6

4. QoS στο UMTS

Οι υπηρεσίες δικτύου (Network Services) είναι από άκρο-σε-άκρο (end-to-end), αυτό δηλαδή σημαίνει από ένα TE (Terminal Equipment) σε ένα άλλο TE. Μια από άκρο-σε-άκρο υπηρεσία μπορεί να έχει συγκεκριμένο QoS το οποίο παρέχεται για το χρήστη μιας δικτυακής υπηρεσίας. Είναι ο χρήστης που αποφασίζει αν είναι ικανοποιημένος ή όχι από το παρεχόμενο QoS. Για να πραγματοποιηθεί το QoS ενός συγκεκριμένου δικτύου μια φέρουσα

υπηρεσία (Bearer Service) με σαφώς ορισμένα χαρακτηριστικά και λειτουργικότητα πρέπει να «στηθεί» από την πηγή στον προορισμό μιας υπηρεσίας. Μια bearer service περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους για να επιτρέψει τη διάθεση του συμφωνημένου QoS. Αυτές οι παράμετροι είναι μεταξύ άλλων σηματοδοσία ελέγχου, user plane transport και διαχείριση λειτουργικότητας QoS. Μια UMTS bearer service στρωματοποιημένη αρχιτεκτονική απεικονίζεται στην Εικόνα Β.7, κάθε bearer service σε ένα συγκεκριμένο στρώμα προσφέρει τις ανεξάρτητες υπηρεσίες της χρησιμοποιώντας υπηρεσίες που παρέχονται από κατώτερα στρώματα.



Εικόνα Β.3 (Αρχιτεκτονική QoS)

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές τάξεις QoS:

- Conversational class
- Streaming class
- Interactive class
- Interactive class
- Background class

Traffic class	Conversational class Real time	Streaming class Real time	Interactive class Best effort	Background class Best effort
Θεμελιώδη χαρακτηριστικά	-Διατήρηση σχέσης χρόνου μεταξύ οντοτήτων πληροφοριών της ροής -Conversational pattern	-Διατήρηση σχέσης χρόνου μεταξύ οντοτήτων πληροφοριών της ροής	-Request response pattern -Διατήρηση περιεχομένου payload	-Ο προορισμός δεν περιμένει τα δεδομένα μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο - Διατήρηση περιεχομένου payload
Παράδειγμα εφαρμογής	φωνή	Βίντεο συνεχούς ροής	Περιήγηση στο web	Τηλεμετρία, e-mail

Λίστα ιδιοτήτων UMTS Bearer Service

- Traffic class
- Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης bit
- Εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης bit
- Σειρά παράδοσης (y/n/-)
- Μέγιστο μέγεθος SDU (octets)
- Μορφότυπο πληροφοριών SDU (bits)
- Ρυθμός σφαλμάτων SDU
- Λόγος παραμενόντων σφαλμάτων
- Παράδοση εσφαλμένων SDU (y/n/-)
- Καθυστέρηση μεταφοράς (msec)
- Προτεραιότητα χειρισμού κίνησης
- Προτεραιότητα εκχώρησης/συγκράτησης (allocation/retention priority)
- Περιγραφέας στατιστικών πηγής (source statistics descriptor) ('speech'/'unknown')

5. Συμπεράσματα

Το WiMAX κυμαίνεται έως και δέκα μίλια, ενώ το WiFi, όπως το ξέρουμε σήμερα φθάνει μόνο σε μερικές εκατοντάδες πόδια. Η Intel θέλει να χρησιμοποιήσει το WiMAX για να επιτρέψει ασύρματη πρόσβαση σε ένα φορητό υπολογιστή οπουδήποτε. Όλοι πρέπει να ξέρουμε ήδη ότι η απάντηση σε όλες τις ερωτήσεις για την κάλυψη και τη χωρητικότητα των ραδιοσυχνοτήτων είναι «εξαρτάται».

Το WiMAX MAC 4 dB πλεονέκτημα σε σχέση με το WiFi όταν συγκρίνονται στα ίδια ενεργειακά επίπεδα. Αυτό επισκιαζεται από όλες τις άλλες εκτιμήσεις, όπως το γεγονός ότι οι συχνότητες multi-GHz διαδίδονται μετά βίας μέσω οποιουδήποτε φυσικού αντικειμένου - συμπεριλαμβανομένων των δέντρων, ειδικά των βρεγμένων δέντρων.

Το εξουσιοδοτημένο WiMAX επιτρέπεται να έχει περισσότερη δύναμη από το WiFi. Οι τρέχοντες σταθμοί βάσης του WiMAX λειτουργούν περίπου στα 34 dBm ενώ τα εμπορικά μητροπολιτικά ασύρματα WiFi APs λειτουργούν στα 24-26 dBm . Συνεπώς η διαφορά στη δύναμη μετάδοσης μεταξύ του εξουσιοδοτημένου WiMAX και του μη εξουσιοδοτημένου WiFi είναι συγκριτικά όση η εξασθένηση στο σήμα που προκαλεί το εμπόδιο ενός δέντρου.

Τα 3G δίκτυα αναβαθμισμένα φτάνουν έως 2 Mbit/sec ενώ αντίστοιχα το WiMAX έως 10, να μη λησμονούμε και την πνευματική ιδιοκτησία στο 3G που απαιτεί αρκετά λεφτά κάτι που στο WiMAX δεν υπάρχει και αφήνει δυνατή την ύπαρξη τεράστιων hotspots. Όσον αφορά το Mobile WiMAX, χρησιμοποιεί OFDMA, που είναι μια αρκετά βελτιωμένη πολυοδική διάδοση σε μέρη χωρίς οπτική επαφή και είναι κοινώς αποδεκτό ότι θα αποτελέσει την βάση για το 4G. Ωστόσο, η άποψη του γράφοντος είναι ότι το mobile WiMAX δε θα βγει ποτέ εκτός πόλεων. Πολύ απλά, στο θεωρητικό κομμάτι το HSDPA υστερεί αισθητά έναντι του WiMAX.

Τέλος, αν και είναι εμφανής σε πολλά σημεία η ανωτερότητα του WiMAX έναντι του UMTS, θεωρώ ότι δεν πρέπει να προτρέχουμε των εξελίξεων και να μην κρίνουμε μόνο με τα σημερινά δεδομένα. Το WiMAX, πόσο μάλλον η διασυνεργασία με το UMTS, είναι κάτι που μόνο ο χρόνος θα δείξει αν θα πετύχουν.

ΜΕΡΟΣ Γ΄

Διασυνεργασία WiMAX-UMTS

1. Εισαγωγή

Σκοπός της αρχιτεκτονικής δικτύων NGNA (Next Generation Network Architecture) είναι να υπάρξει η ικανότητα ασύρματης πρόσβασης από παντού και ανά πάσα στιγμή και η οποία θα παρέχει τις αυτόματες μεταγωγές (handover) για τις κινητές συσκευές που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης εντός των ετερογενών δικτύων. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική διασυνεργασίας του WiMAX με το UMTS βάσει των προτύπων 3GPP και η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή καθυστέρηση μεταγωγής και απώλειας πακέτων.

Το στρώμα MAC του WiMAX είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του 802.11. Στο WiFi, το MAC χρησιμοποιεί πρόσβαση βάσει συναγωνισμών - όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που επιθυμούν να επικοινωνήσουν με ένα σημείο πρόσβασης, συναγωνίζονται για την προσοχή του σε τυχαία βάση. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τους απόμακρους από το AP κόμβους να διακόπτονται επανειλημμένα από τους λιγότερο ευαίσθητους, πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας πολύ τη ρυθμοαπόδοσή τους. Αντιθέτως, στο 802.16 MAC ο σταθμός συνδρομητή πρέπει να συναγωνιστεί μόνο μία φορά, για την αρχική του είσοδο μέσα στο δίκτυο. Μετά από αυτό, διατίθεται μια χρονοθυρίδα από το σταθμό βάσης. Η χρονοθυρίδα μπορεί να διευρυνθεί ή να περιοριστεί, αλλά παραμένει ορισμένη στο συνδρομητή, με την έννοια ότι άλλοι συνδρομητές δεν μπορούν να την χρησιμοποιήσουν αλλά περιμένουν τη σειρά τους εκ περιτροπής. Αυτός ο αλγόριθμος προγραμματισμού είναι ανθεκτικός στην υπερφόρτωση και το μεγάλο αριθμό εγγράφων σε αντίθεση με το 802.11. Επίσης χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Ο αλγόριθμος επιτρέπει επίσης στο σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας, με την εξισορρόπηση των αναθέσεων με βάση τις ανάγκες των σταθμών συνδρομητών.

Μια πρόσφατη προσθήκη στο πρότυπο WiMAX είναι εν εξελίξει και θα προσθέσει πλήρη ικανότητα δικτύωσης πλέγματος (mesh networking) καθιστώντας τους κόμβους WiMAX ικανούς να λειτουργούν ταυτόχρονα σε διαμόρφωση σταθμού συνδρομητή και σταθμού βάσης. Αυτό θα θολώσει την αρχική διάκριση και θα επιτρέπει την ευρεία υιοθέτηση του πλέγματος δικτύου που βασίζεται στο WiMAX. Το αρχικό πρότυπο IEEE 802.16, ορίζει εύρος από 10 έως 66GHz. Αργότερα προστέθηκε πρόβλεψη υποστήριξης για συχνότητες από 2 έως 11GHz, του οποίου τα περισσότερα τμήματα είναι χωρίς άδεια διεθνώς και μόνο πολύ λίγα από αυτά απαιτούν ακόμα κρατικές άδειες. Το ενδιαφέρον των περισσότερων επιχειρήσεων θα είναι πιθανώς στο κομμάτι αυτό, καθώς δεν απαιτεί αδειοδοτημένες συχνότητες. Οι προδιαγραφές του WiMAX υπερνικούν πολλούς από τους περιορισμούς του

Wi-Fi, με την παροχή αυξημένου εύρους ζώνης και ισχυρότερης κρυπτογράφησης.

Οι παρούσες τεχνολογίες διαφοροποιούνται αρκετά όσον αφορά τα εύρη ζώνης, τις τεχνολογίες πρόσβασης στο μέσο, τους μηχανισμούς ασφάλειας, κλπ. Μια υποσχόμενη εξέλιξη είναι ο συνδυασμός των υπάρχοντων διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών ώστε να προσφέρεται πρόσβαση σε κινητές υπηρεσίες από οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή. Μια κινητή συσκευή με πολλαπλές διεπαφές ασύρματων δικτύων μπορεί να αλλάζει τη σύνδεση μεταξύ των διαθέσιμων σημείων προσβάσεως υλοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες.

Το UMTS παρέχει υψηλή κινητικότητα με κάλυψη ευρείας περιοχής και υποστηρίζει από χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του UMTS δεν είναι αρκετοί για απαιτητικές εφαρμογές δεδομένων ενώ παράλληλα οι χρεώσεις είναι υψηλές. Η ιδέα για ενσωμάτωση UMTS με WLAN, η οποία επωφελείται από τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το χαμηλό κόστος του WLAN, έχει προσελκύσει την ερευνητική κοινότητα και τους οργανισμούς προτυποποίησης τα τελευταία χρόνια. Σχετικά προσφάτως, το WiMAX παρέχοντας τις προδιαγραφές μιας ασύρματης διεπαφής σταθερών, φορητών, και κινητών ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων πρόσβασης, έχει δώσει λύση στο πρόβλημα του τελευταίου μιλίου. Το κεφάλαιο αυτό επικεντρώνεται στο mobile WiMAX το οποίο λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2,5-3,5 GHz και υποστηρίζει μέγιστη κινητικότητα 100 km/h. Έχουν γίνει πάμπολλες συζητήσεις για το αν το UMTS και το WiMAX είναι ανταγωνιστικές ή συμπληρωματικές τεχνολογίες. Υποθέτοντας λοιπόν τη φιλική συνύπαρξη μπορούμε να θεωρήσουμε μια προσέγγιση διασυνεργασίας UMTS-WiMAX για την καλύτερη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων και των δύο τεχνολογιών και την εξάλειψη των έκαστων ελαττωμάτων. Οι πάροχοι μπορούν να φτιάξουν ένα χαμηλού κόστους και υψηλής ταχύτητας δίκτυο WiMAX για να καλύψουν τα hot zones που είτε είναι επεκτάσεις του UMTS ή διασυνεργάσιμα με το UMTS ώστε να μεγιστοποιήσουν την αξιοποίηση ήδη εγκατεστημένων υποδομών. Δηλαδή, αναφορικά με τη γεωγραφική κάλυψη και το QoS, το WiMAX μπορεί να συμπληρώσει το UMTS.

Η διασυνεργασία μεταξύ 3GPP και WiMAX είναι υπό μελέτη από το WiMAX Forum και προς το παρόν δεν εξετάζεται η πραγματική μεταγωγή μεταξύ των δύο συστημάτων: βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου διασυνεργασίας 3GPP-WLAN που έχει προταθεί από το 3GPP. Μέχρι στιγμής δεν έχει γίνει πλήρης ορισμός και αναφορά για την αρχιτεκτονική διασυνεργασίας μεταξύ WiMAX και UMTS. Στη συνέχεια θα εξεταστεί μια πιθανή αρχιτεκτονική η οποία επιτρέπει κινητικότητα και παροχή συνεχούς υπηρεσίας κατά τη διάρκεια της μεταγωγής μεταξύ αυτών των δύο αναδυόμενων τεχνολογιών πρόσβασης.

2. Σχετική έρευνα

Η ιδέα διασυνεργασίας δύο ή περισσότερων δικτύων πρόσβασης για την παροχή υπηρεσιών σε κινητούς χρήστες σε οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή έχει τεθεί ήδη σε εφαρμογή. Υπάρχει πληθώρα ερευνών αλλά και εφαρμογών που επικεντρώνονται σε θέματα διασυνεργασίας μεταξύ WLAN και κινητών δικτύων. Στη σχετική βιβλιογραφία για ετερογενή δίκτυα μπορούμε να βρούμε προτάσεις χρήσης ενός τερματικού με δυνατότητα διπλής επικοινωνίας η οποία επιτρέπει στο χρήστη να αλλάζει τη σύνδεση από το ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης στο άλλο χωρίς απώλεια πακέτων. Η ιδέα είναι να υπάρχουν δύο διαφορετικές ασύρματες διεπαφές ταυτόχρονα ενεργές στην ίδια συσκευή. Ωστόσο, το να έχουμε πολλαπλές ενεργές διεπαφές μπορεί να αποτελέσει την αιτία αύξησης της καταναλισκόμενης ενέργειας στην κινητή συσκευή με αποτέλεσμα την ελάττωση του χρόνου ζωής της συσκευής. Γι αυτό είναι καλύτερα να είναι ενεργή μια ασύρματη διεπαφή κάθε φορά.

Η διασυνεργασία UMTS-WLAN εξετάζεται επί του παρόντος από το 3GPP. Μέχρι τώρα, το WLAN λειτουργεί κυρίως ως επέκταση του δικτύου πρόσβασης 3GPP. Η πραγματική μεταγωγή μεταξύ των συστημάτων ήταν εκτός αρμοδιότητας στο τελευταίο Release 6. Εν τω μεταξύ, η τεχνολογία UMA (Unlicensed Mobile Access), η οποία σκοπό έχει τη διαφανή μετάβαση επικοινωνίας μεταξύ του 2G και του δημοσίου ή ιδιωτικού μη αδειοδοτημένου ασύρματου δικτύου όπως WiFi, Bluetooth, έχει θεωρηθεί από το 3GPP ως πρότυπο.

Συνοψίζοντας τα δρώμενα περί διασυνεργασίας μεταξύ WLAN και κινητών δικτύων 3G, υπάρχουν δύο αρχιτεκτονικές προσέγγισης της διασυνεργασίας: σφιχτής σύζευξης (*tight coupling*) και χαλαρής σύζευξης (*loose coupling*).

Tight Coupling: Στην περίπτωση αυτή τα δύο δίκτυα ενσωματώνονται στο επίπεδο Radio Access Network (RAN) – Core Network (CN). Με άλλα λόγια, επιτυγχάνεται η συνεργασία δύο διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης με ένα μόνο Core Network. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρειάζεται επιπλέον προτυποποίηση σε σχέση με το Loose Coupling αφού πρέπει να οριστεί η διεπαφή διασύνδεσης του WLAN με τον κόμβο του Core Network. Στην περίπτωση αυτή ο πάροχος υπηρεσιών είναι ο αποκλειστικός κάτοχος και λειτουργός του δικτύου WLAN. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι επαναχρησιμοποιούνται οι βασικές υποδομές των κινητών τεχνολογιών (*cellular*) και άρα αποφεύγεται η ανάγκη ξεχωριστών συστημάτων αυθεντικοποίησης και τιμολόγησης ενώ παράλληλα δίνεται πρόσβαση σε μηνύματα SMS και MMS.

Loose Coupling: Προσφέρει μια κοινή διεπαφή για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των

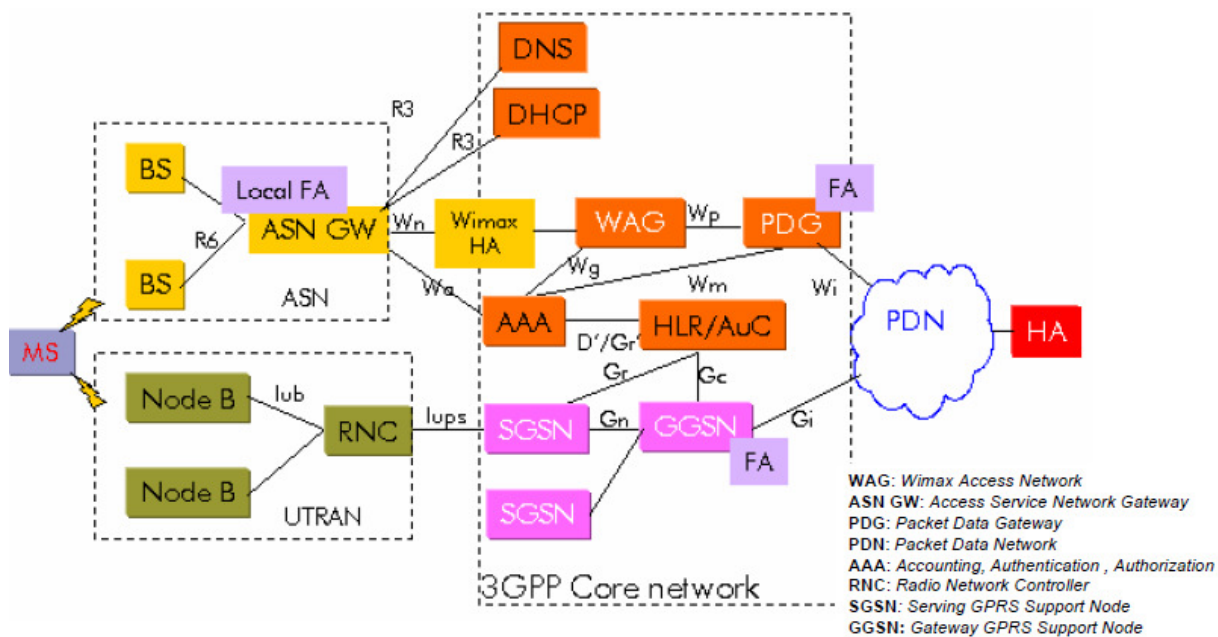
δικτύων. Τα δύο δίκτυα πρόσβασης δεν έχουν τίποτα κοινό, αλλά τα Core Networks συνδέονται μεταξύ τους. Δηλαδή, το WLAN χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων του 3G για πρόσβαση και αυθεντικοποίηση. Η υποστήριξη για διαχείριση κινητικότητας σ' αυτή την αρχιτεκτονική είναι εφικτή με τη χρήση Mobile IP. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει την εύκολη μεταγωγή μεταξύ των διαφόρων ανεξάρτητων κινητών και WLAN δικτύων σε περιβάλλοντα πολλών παρόχων υπηρεσιών.

3. Αρχιτεκτονική διασυνεργασίας

3.1 Περιγραφή αρχιτεκτονικής

Πρώτα, θα δοθεί μια περιγραφή των διαφορών μεταξύ διασυνεργασίας UMTS-WLAN και διασυνεργασίας UMTS-WiMAX. Σε περιοχές hot-spot το WLAN σχηματίζει τις μικρο-κυψέλες εντός μακρο-κυψελών UMTS. Η κινητικότητα μεταξύ UMTS και WLAN παραπέμπεται στην πλήρως επικαλυπτόμενη μεταγωγή. Κατά συνέπεια, ο απαιτούμενος χρόνος για μεταγωγή από σύνδεση UMTS σε WLAN σε ανεκτό επίπεδο. Επιπλέον, όταν το κινητό είναι συνδεδεμένο στο WLAN, μπορεί να διατηρήσει ταυτόχρονα το PDP (Packet Data Protocol) πλαίσιο εφαρμογής του UMTS ώστε να επανασυνδεθεί αμέσως στο UMTS χωρίς την ανάγκη επανα-ενεργοποίησης του PDP πλαισίου εφαρμογής (PDP context). Αντιθέτως, η κινητικότητα μεταξύ UMTS και WiMAX παραπέμπεται σε μερικώς επικαλυπτόμενη μεταγωγή αφού η κάλυψη WiMAX συμφωνεί με την περιοχή κάλυψης του UMTS. Επομένως, η μεταγωγή θα πρέπει να γίνεται αρκετά γρήγορα ώστε να διατηρείται η σύνδεση ειδικά όταν η ταχύτητα του κινητού τερματικού είναι υψηλή.

Για να γίνει εφικτή η κινητικότητα μεταξύ των δύο δικτύων πρόσβασης UMTS και WiMAX, προτείνεται μια συγκεκριμένη λύση υπό τις ακόλουθες συνθήκες: ελάχιστη αλλαγή της υπάρχουσας δικτυακής υποδομής αυτών των δύο τεχνολογιών και επιτεύξιμη επίλυση στο βραχυπρόθεσμο μέλλον. Χρησιμοποιώντας το IP ως κοινό πρωτόκολλο διασύνδεσης, το κινητό μπορεί να συνδέεται απρόσκοπτα σε πολλαπλά δίκτυα αγνοώντας τις ετερογένειες των δικτύων πρόσβασης. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μηχανισμό IP ο οποίος αποκρύπτει τις ετερογένειες τεχνολογιών κατωτέρων επιπέδων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για διασυνεργασία UMTS-WiMAX, απεικονιζόμενη στην Εικόνα Γ.1, βασίζεται σε μοντέλα αρχιτεκτονικής διασυνεργασίας των προτύπων 3GPP.



Εικόνα Γ.4

Ο κινητός συνδρομητής (Mobile Subscriber, MS) είναι ένα κινητός κόμβος ο οποίος δύναται να επικοινωνεί και με το δίκτυο UMTS και με το δίκτυο WiMAX. Ωστόσο, συνδέεται με ένα δίκτυο κάθε φορά. Άρα, η μεταγωγή μεταξύ UMTS-WiMAX πρέπει να είναι η σκληρή μεταγωγή (hard handover). Σ' αυτόν τον τύπο μεταγωγής όλες οι παλιές ασύρματες ζεύξεις στο User Equipment αφαιρούνται πριν εγκαθιδρυθούν οι νέες. Hard Handover χρησιμοποιείται όταν κατά τη μεταγωγή απαιτείται αλλαγή της φέρουσας συχνότητας.

Το δίκτυο πρόσβασης WiMAX (WiMAX Access Network) παρέχει στον MS τις υπηρεσίες πρόσβασης στο WiMAX. Η κινητικότητα εντός του δικτύου WiMAX διαχειρίζεται από το WiMAX Home Agent (HA) το οποίο βρίσκεται μεταξύ της δικτυακής πύλης ASN (Access Service Network) και του WAG (WLAN Access Gateway). Το WiMAX HA δεν περιλαμβάνεται απαραίτητως στο 3GPP δίκτυο κορμού (core network) ώστε να κρατήσει την ανεξαρτησία του από το σύστημα 3GPP. Οι Foreign Agents (FA) που βρίσκονται στην ASN Gateway θεωρούνται ως οι τοπικοί FA στην αρχιτεκτονική διασυνεργασίας. Το WiMAX AN συνδέεται στο δίκτυο UMTS μέσω της WAG και στον εξυπηρετητή 3GPP AAA για τη διαδικασία αυθεντικοποίησης WiMAX. Η WAG είναι μια δικτυακή πύλη μέσω της οποίας δρομολογούνται τα δεδομένα από/προς το WiMAX AN για την παροχή υπηρεσιών 3GPP στον MS. Οι λειτουργίες της WAG περιλαμβάνουν αναγκαστική δρομολόγηση πακέτων μέσω PDG, επιτέλεση χρέωσης και φιλτράρισμα πακέτων. Οι κύριες λειτουργίες του PDG είναι η δρομολόγηση των πακέτων που λαμβάνονται από/στέλλονται στο PDN από/προς τον

MS και επιτέλεση των λειτουργιών του FA.

Η κινητικότητα εντός του δικτύου UMTS διαχειρίζεται από το δικό του μηχανισμό κινητικότητας και τις λειτουργίες FA που υλοποιούνται στο GGSN. Για να γίνει εφικτή η κάθετη μεταγωγή (vertical handover) μεταξύ αυτών των δύο τεχνολογιών ο HA τοποθετείται στο PDN και διαχειρίζεται τους FA και του WiMAX και του UMTS.

3.2 Διαχείριση διεύθυνσης IP

Στο δίκτυο WiMAX, κάθε φορά που το κινητό αλλάζει την ASN δικτυακή πύλη του, αποκτά μια νέα τοπική διεύθυνση IP μέσω του εξυπηρετητή DHCP. Η δικτυακή πύλη ASN μπορεί να πληροφορηθεί αυτή τη νέα τοπική διεύθυνση IP και επίσης να ζητήσει από τον εξυπηρετητή DHCP του WiMAX HA εφόσον παίζει το ρόλο του εντολοδόχου αναμετάδοσης DHCP κατά τη διαδικασία ανακάλυψης του DHCP. Τότε η δικτυακή πύλη ASN ενημερώνει τον υπηρετούντα BS με τη νέα τοπική διεύθυνση IP του MS και στέλνει την καταχώρηση MIP (Mobile IP) στον WiMAX HA. Για τη μεταφορά των IP πακέτων μεταξύ WiMAX HA και FA μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια IP-σε-IP γενική σήραγγα όπως το GRE (Generic Rounding Encapsulation).

Κάθε φορά που το κινητό αλλάζει τη σύνδεση στο δίκτυο UMTS, αρχικοποιεί τη διαδικασία ενεργοποίησης του PDP context. Καμία διεύθυνση IP δεν κατανέμεται στον MS στην ενεργοποίηση του PDP context. Η απομακρυσμένη διεύθυνση που παρέχεται από τον HA ή μια εξωτερική οντότητα στο PDN θα κρατηθεί αναλλοίωτη και θα γίνει γνωστή στο GGSN μέσω του PDP context. Η απομακρυσμένη διεύθυνση IP είναι μια καθολική διεύθυνση κατοικίας που χρησιμοποιείται ως διεύθυνση για το εξωτερικό δίκτυο και τον αντίστοιχο κόμβο. Μπορεί να είναι μια στατική διεύθυνση ή μια δυναμική διεύθυνση αποκτώμενη από τον HA ή μια άλλη εξωτερική οντότητα όταν το κινητό συνδέεται για πρώτη φορά στο δίκτυο, ανακαλύπτει και καταχωρείται με τον HA. Τότε το PDN/GGSN είναι υπεύθυνο για την αναμετάδοση της απομακρυσμένης διεύθυνσης IP του MS στον MS.

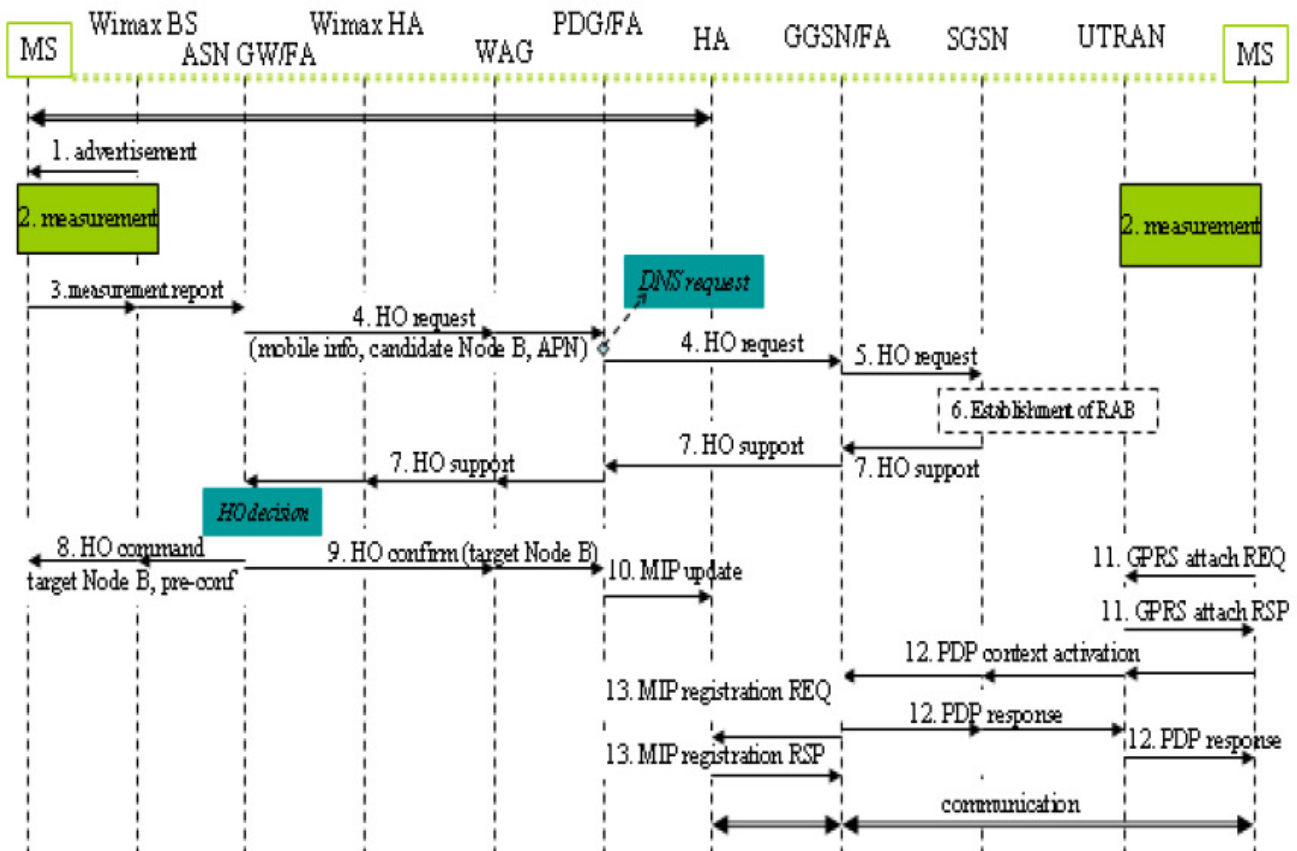
4. Διαδικασία μεταγωγής

Για να μειωθεί ο χρόνος διακοπής κατά τη διάρκεια της μεταγωγής, χρησιμοποιείται μια διαδικασία προωστικής μεταγωγής. Τουτέστιν, πριν φύγει από το τρέχον δίκτυο, το κινητό ετοιμάζει μια νέα προσάρτηση στο επιθυμητό δίκτυο. Για να μειωθεί η απώλεια πακέτων κατά τη διάρκεια της μεταγωγής, ο παλιός FA ειδοποιεί τον HA για την κίνηση του MS έτσι ώστε ο HA να αποθηκεύσει προσωρινά τα πακέτα και να τα προωθήσει στον MS μόλις ο HA

λάβει την MIP ενημέρωση από τον MS.

4.1 Μεταγωγή από δίκτυο πρόσβασης WiMAX στο UTRAN

Πριν αρχικοποιηθεί η μεταγωγή, το κινητό συνδέεται στις υπηρεσίες 3GPP μέσω του δικτύου πρόσβασης WiMAX. Όταν ο MS εισέρχεται σε μια επικαλυπτόμενη ζώνη, μπορεί να μετρήσει την ποιότητα του σήματος από γειτονικές κυψέλες UMTS. Αν τηρούνται οι συνθήκες ενεργοποίησης για κάθετες μεταγωγές (vertical handover), τότε αποφασίζεται η μεταγωγή. Το επιθυμητό UTRAN θα ειδοποιηθεί την επικείμενη μεταγωγή από το δίκτυο WiMAX μέσω του μηνύματος αίτησης HO το οποίο δρομολογείται μέσω του βασικού δικτύου (core network). Ο MS θα επιτελέσει την διαδικασία σύνταξης GPRS (GPRS attachment procedure) με το UTRAN. Τα πλαίσια διαχείρισης κινητικότητας δημιουργούνται στον MS και στο SGSN. Η καταχώρηση MIP (MIP registration) μεταξύ HA και του νέου GGSN/FA μπορεί να ενημερωθεί αφού ενεργοποιηθεί το PDP context μεταξύ GGSN και MS. Οι λεπτομέρειες της διαδικασίας μεταγωγής από μια κυψέλη WiMAX σε μια κυψέλη UMTS απεικονίζεται στην Εικόνα Γ.2.



Εικόνα Γ.5 (Σχέδιο μεταγωγής από WiMAX σε UTRAN)

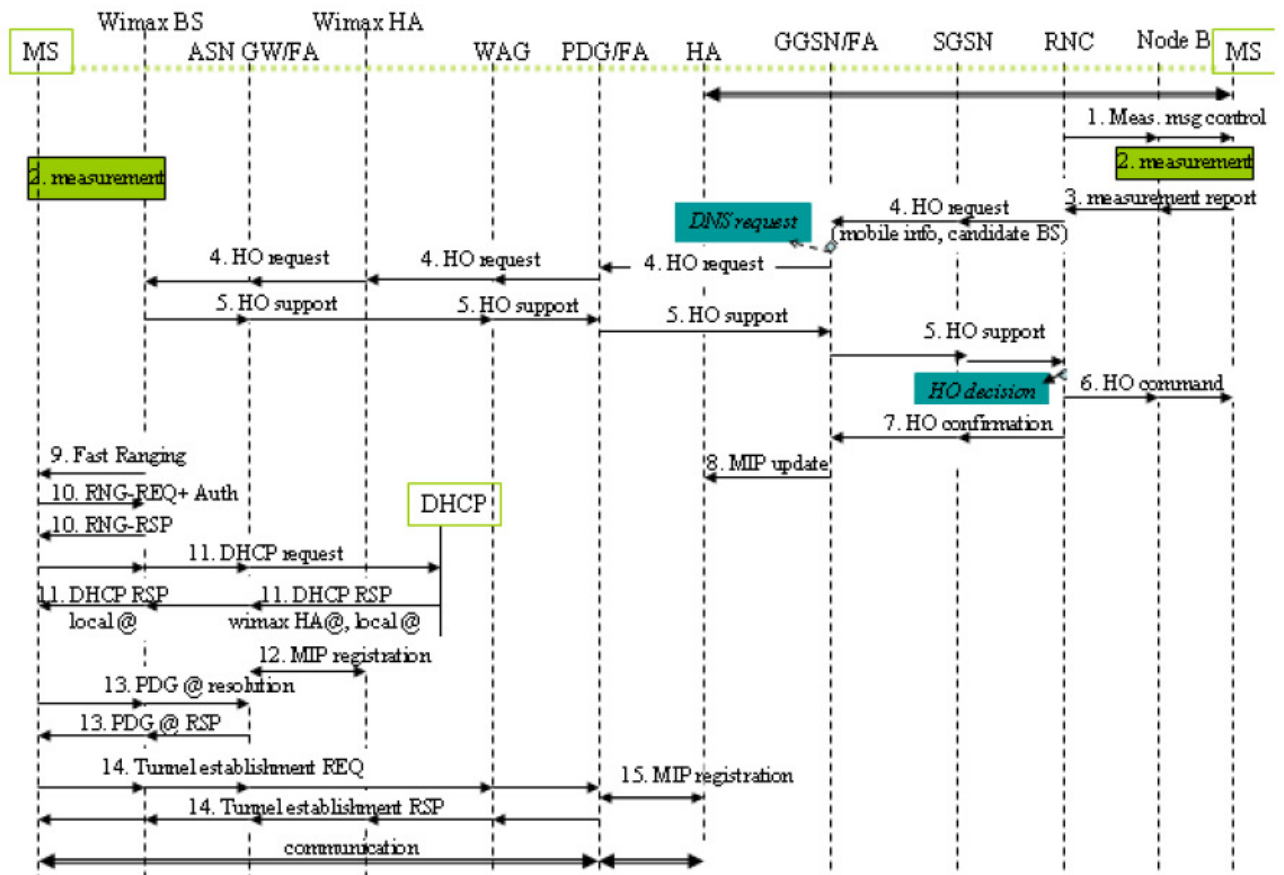
1. Ο WiMAX BS στέλνει περιοδικά το μήνυμα διαφήμισης τοπολογίας (topology advertisement message) για να ενημερώσει τον MS για τους γειτονικούς WiMAX BS και NodeB. Εναλλακτικώς, ο MS μπορεί να σαρώσει διαφορετικά κανάλια για να βρει τη γειτονική τοπολογία. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί την καλύτερη λύση. Στην παρούσα ανάλυση υποθέτουμε ότι υπάρχει πλήρης συνεργασία μεταξύ των παρόχων UMTS και WiMAX. Επομένως, ο UMTS NodeB μπορεί να εκπέμπει στον MS τις πληροφορίες της γειτονικής κυψέλης WiMAX και αντιστρόφως.
2. Βάσει της διαφήμισης τοπολογίας, ο MS επιτελεί διαδικασίες συγχρονισμού και μετρήσεων. Τη μέτρηση μεταξύ των συστημάτων μπορεί να προκαλέσει κάποιο γεγονός όπως η υποβάθμιση της τρέχουσας ποιότητας σήματος ή η ανάγκη μεταγωγής μεταξύ τεχνολογιών πρόσβασης για την υποστήριξη μεγαλύτερων απαιτήσεων QoS ή χαμηλότερου κόστους. Αφού το WiMAX λειτουργεί με TDD, κατά τη χρονική διάρκεια του πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης, μόνο μερικά σύμβολα OFDM απευθύνονται στο κινητό. Αναλόγως, ο υπολειπόμενος χρόνος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση σημάτων γειτονικών κυψελών. Ας σημειωθεί ότι για να επιτευχθεί η μέτρηση σε μια κυψέλη UMTS, οι πληροφορίες όπως κώδικας περιπλοκής (scrambling code), συχνότητα φέροντος, ...θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στα μηνύματα διαφήμισης.
3. Μετά το βήμα της μέτρησης, το κινητό θα στείλει την αναφορά μέτρησης στον WiMAX BS. Η αναφορά πρέπει να περιέχει το επίπεδο ποιότητας σήματος κάθε υποψήφιας κυψέλης UMTS.
4. Ο WiMAX BS αρχίζει τη διαδικασία μεταγωγής ειδοποιώντας το πιθανό στόχο UMTS μέσω μηνύματος αίτησεως μεταγωγής (HO request). Η δικτυακή πύλη PDG θα διεξάγει μια αίτηση DNS για να μάθει τις διευθύνσεις των GGSN τα οποία εξυπηρετούν το τρέχον APN (Access Point Name) του MS. Η δικτυακή πύλη PDG τότε επιλέγει ένα GGSN από τη λίστα αποτελεσμάτων από τη φάση αίτησης DNS και στέλνει την αίτηση μεταγωγής (HO) στο επιλεγμένο. Αν η δικτυακή πύλη PDG δε λάβει κάποια απάντηση από το GGSN για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα επιλέξει ένα άλλο GGSN από τη λίστα και θα ξαναστείλει το μήνυμα αίτησης HO.
5. Τότε το GGSN στέλνει το μήνυμα αίτησης HO στα SGSN τα οποία εξυπηρετούν τα αναγραφόμενα NodeB. Για να είναι εφικτή η ανάκληση της διεύθυνσης του SGSN που εξυπηρετεί ένα συγκεκριμένο NodeB, υποθέτουμε ότι ο εξυπηρετητής DNS ή η βάση δεδομένων HLR (Home Location Register) αποθηκεύει αυτές τις πληροφορίες δρομολόγησης.

6. Το επιθυμητό δίκτυο RAN εγκαθιδρύει κομιστικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένων ασύρματων πόρων, για τον MS. Αυτό το βήμα σκοπό έχει να ελέγξει αν τα υποψήφια UMTS NodeB μπορούν να δεχτούν τη μεταγωγή του MS με το απαιτούμενο QoS.
7. Το NodeB το οποίο υποστηρίζει τη μεταγωγή του MS θα στείλει ένα μήνυμα υποστήριξης HO στη δικτυακή πύλη ASN η οποία περιέχει τη λειτουργία απόφασης μεταγωγής.
8. Όταν η δικτυακή πύλη ASN λαμβάνει μηνύματα υποστήριξης HO, επιλέγει την καλύτερη επιθυμητή κυψέλη UMTS και μετά επιστρέφει τον έλεγχο της μεταγωγής (HO command) στον MS. Αυτό το μήνυμα πρέπει να περιέχει το προτεινόμενο επιθυμητό NodeB και όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για το στήσιμο μιας νέας σύνδεσης. Η παραπάνω ανταλλαγή μπορεί να απαιτεί μεγάλη ποσότητα πληροφοριών και να προσθέτει περισσότερη καθυστέρηση στη μεταγωγή, επομένως προτιμάται η χρήση ενός προ-ρυθμισμένου μηχανισμού. Σημαίνει ότι μόνο ένα αριθμός αναφοράς που αντιστοιχεί σε ένα προκαθορισμένο σύνολο παραμέτρων UTRAN εισάγεται στο HO command. Ο MS θα πρέπει να μεταφορτώσει τις προκαθορισμένες ασύρματες ρυθμίσεις από πριν. Κατά τη διάρκεια αυτής της προσωρινής σύνδεσης, ο MS μπορεί να κάνει τις κατάλληλες ρυθμίσεις για τη σύνδεση.
9. Αμέσως μετά η δικτυακή πύλη ASN στέλνει την επιβεβαίωση μεταγωγής η οποία περιλαμβάνει το αναγνωριστικό του επιθυμητού NodeB στον PDG/FA. Οι δεσμευμένοι πόροι στο δίκτυο τότε θα αφεθούν ελεύθεροι.
10. Μόλις ληφθεί το μήνυμα επιβεβαίωσης μεταγωγής, ο PDG/FA θα στείλει ένα μήνυμα ενημέρωσης MIP στον HA για να τον ενημερώσει την κίνηση του MS. Ο HA τότε σταματά να στέλνει τα πακέτα στον MS μέσω αυτού του PDG/FA και αποθηκεύει προσωρινά τα εισερχόμενα πακέτα μέχρι να λάβει την ενημέρωση MIP από το επιθυμητό δίκτυο UMTS.
11. Ο MS επιτελεί τη διαδικασία σύναψης GPRS (GPRS attachment procedure) στο δίκτυο UTRAN. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από πρόσβαση στο SGSN, αυθεντικοποίηση με τον εξυπηρετητή AAA και ενημέρωση της τοποθεσίας.
12. Μετά την επιτυχή έκβαση αυτής της διαδικασίας, ο MS αρχίζει την ενεργοποίηση πλαισίου PDP (PDP context activation) μέσω της οποίας ο MS ενημερώνει την απομακρυσμένη διεύθυνση IP (global home address) του στο GGSN.
13. Αφού εγκαθιδρυθεί η σύνδεση μεταξύ ενός νέου GGSN/FA και MS, ο GGSN/FA θα κάνει την καταχώρηση MIP με τον HA περιλαμβάνοντας την απομακρυσμένη διεύθυνση IP του MS και τη διεύθυνση care-of-address (διεύθυνση του GGSN/FA). Τότε τα

δεδομένα θα εκπεμφθούν στον MS μέσω του νέου NodeB και η διαδικασία μεταγωγής έχει ολοκληρωθεί.

4.2 Μεταγωγή από UTRAN σε δίκτυο πρόσβασης WiMAX

Πριν αρχικοποιηθεί η μεταγωγή, ο MS βρίσκεται στο δίκτυο UMTS. Όταν ο MS κινείται σε μια επικαλυπτόμενη ζώνη, μπορεί να μετρήσει την ποιότητα του σήματος από τους γειτονικούς WiMAX BS. Όταν το δίκτυο αποφασίσει μεταγωγή στο WiMAX, ο MS θα στήσει τη σύνδεση με το WiMAX δίκτυο πρόσβασης, θα κάνει την αυθεντικοποίηση και την ενημέρωση του MIP registration, κλπ. Το σχέδιο μεταγωγής από μια κυψέλη UMTS σε μια WiMAX απεικονίζεται στην Εικόνα Γ.3



Εικόνα Γ.6 (Σχέδιο μεταγωγής από UTRAN σε WiMAX)

1. Η διεπαφή UTRAN είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση της ανάγκης μεταγωγής και την αρχικοποίηση της διαδικασίας μέτρησης μεταξύ των συστημάτων στέλνοντας το μήνυμα ελέγχου μέτρησης στον MS. Αυτό το μήνυμα περιέχει τις πληροφορίες της γειτονικής κυψέλης WiMAX, κλπ.
2. Ενώ ο MS έχει μια τεκταινόμενη επικοινωνία σε FDD τρόπο λειτουργίας, για να κάνει τη

μέτρηση στις γειτονικές κυψέλες WiMAX, πρέπει να εισέλθει στον συμπιεσμένο τρόπο λειτουργίας. Εδώ να σημειωθεί πως η μέτρηση στην κυψέλη WiMAX γίνεται στο προοίμιο κάθε πλαισίου WiMAX.

3. Μετά την περίοδο μέτρησης, ο MS στέλνει την αναφορά μέτρησης στο δίκτυο. Η αναφορά πρέπει να περιέχει τις παραμέτρους που υποδεικνύουν το επίπεδο ποιότητας του σήματος των γειτονικών WiMAX BS.
4. Το RNC (Radio Network Controller) αρχικοποιεί τη διαδικασία μεταγωγής ειδοποιώντας τους πιθανούς επιθυμητούς WiMAX BS στους οποίους είναι πιθανό να μεταχθεί το κινητό. Το μήνυμα αίτησης HO (Handover) συμπεριλαμβανομένου του APN του MS, τα αναγνωριστικά των υποψήφιων BS, το απαιτούμενο QoS των τρεχουσών εφαρμογών του MS, κλπ, θα σταλούν στο GGSN. Το GGSN κάνει αίτηση DNS για να μάθει τις διευθύνσεις των δικτυακών πυλών PDG οι οποίες εξυπηρετούν το τρέχον APN του MS. Το GGSN επιλέγει μια δικτυακή πύλη PDG στη λίστα αποτελεσμάτων και της στέλνει το μήνυμα αίτησης HO. Αν το GGSN δε λάβει απόκριση από τη δικτυακή πύλη PDG μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα στείλει την αίτηση HO σε μια άλλη δικτυακή πύλη PDG της λίστας. Το μήνυμα αίτησης HO θα εκπεμφθεί τότε στους πιθανούς WiMAX BS βάσει των πληροφοριών δρομολόγησης της PDG. Αυτό το βήμα σκοπό έχει να ελέγξει αν ο επιθυμητός WiMAX BS μπορεί να δεχτεί τον μεταγόμενο MS με το απαιτούμενο QoS.
5. Οι WiMAX BS οι οποίοι υποστηρίζουν τη μεταγωγή του MS θα επιστρέψουν ένα μήνυμα υποστήριξης HO στο RNC.
6. Το RNC θα επιλέξει τον καλύτερο επιθυμητό WiMAX BS μεταξύ των υποστηριζόμενων BS και τότε στέλνει το HO command στον MS. Αυτό το μήνυμα περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για το στήσιμο της σύνδεσης με τον επιλεγμένο WiMAX BS.
7. Ακριβώς μετά από αυτό το RNC στέλνει την επιβεβαίωση HO (HO confirmation). Τότε το κινητό αποσυνδέεται από το δίκτυο UMTS και αρχίζει το στήσιμο της σύνδεσης με τον WiMAX BS.
8. Με τη λήψη της επιβεβαίωσης μεταγωγής, ο GGSN/FA στέλνει ένα μήνυμα MIP update στον HA για να τον ειδοποιήσει για την κίνηση του MS. Τότε ο HA σταματά να στέλνει τα πακέτα στον MS μέσω του GGSN/FA και αποθηκεύει προσωρινά τα εισερχόμενα πακέτα μέχρι να λάβει το MIP update από το δίκτυο WiMAX.
9. Βάσει των πληροφοριών που περιέχονται στο μήνυμα HO request, ο WiMAX BS μπορεί να παρέχει στον MS μια μη-συναγωνισμού (non-contention) ευκαιρία αρχικής εμβέλειας τοποθετώντας ένα Fast_Ranging_Information_Element στο UL-MAP. Αυτή η πληροφορία

- θα διευκολύνει τον MS στο στήσιμο της σύνδεσης με το RAN. Αν όχι, ο MS πρέπει να διεξάγει τη φυσιολογική διαδικασία εμβέλειας η οποία είναι περισσότερο χρονοβόρα.
10. Ο MS αρχικοποιεί το στήσιμο της σύνδεσης ανταλλάσσοντας μηνύματα RNG-REQ και RNG-RSP με τον επιθυμητό WiMAX BS. Οι λεπτομέρειες της εισόδου στο δίκτυο περιγράφονται στο [7].
 11. Στο δίκτυο πρόσβασης WiMAX (WiMAX AN), ο MS θα στείλει μια αίτηση DHCP για να αποκτήσει νέα τοπική διεύθυνση IP. Σε αυτό το σενάριο, περιγράφεται μια διαδικασία εκχώρησης διεύθυνσης βάσει μηχανισμού IPv4. Αν χρησιμοποιείται IPv6 η τοπική διεύθυνση μπορεί να εκχωρηθεί με τον μηχανισμό Stateless Address Auto configuration χωρίς την παρουσία του εξυπηρετητή DHCP. Μέσω αυτής της διαδικασίας η δικτυακή πύλη ASN θα μάθει επίσης τη διεύθυνση του WiMAX HA ο οποίος χρησιμεύει για την καταχώρηση MIP (MIP registration) του επόμενου βήματος.
 12. Ο MS προχωρεί στην MIP registration για να συσχετίσει την τοπική του διεύθυνση με τη διεύθυνση care-of-address.
 13. Ο MS θα κάνει επίλυση DNS για διεύθυνση PDG. Ο MS χρησιμοποιεί το APN για να υποδείξει την υπηρεσία δικτύου που θέλει να αποκτήσει πρόσβαση. Η αίτηση DNS θα αναμεταδοθεί στη δικτυακή πύλη ASN η οποία με τη σειρά της αναμεταδίδει την αίτηση στον εξυπηρετητή DNS. Ο MS θα επιλέξει μια κατάλληλη PDG ανάμεσα από τη λίστα των PDG που δίνονται στην απόκριση DNS. Εδώ να σημειωθεί ότι η επιλεγμένη PDG εδώ μπορεί να είναι διαφορετική από τη PDG που επιλέχθηκε από το GGSN κατά τη διάρκεια του βήματος αίτησης/υποστήριξης HO (HO request/support).
 14. Τότε ο MS εγκαθιδρύει μια σήραγγα από άκρο σε άκρο με την επιλεγμένη PDG χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IKEv2. Μέσω αυτής της διαδικασίας, ο MS θα ενημερώσει την PDG την τοπική και απομακρυσμένη διεύθυνση IP του. Κάθε φορά που το κινητό αλλάζει το ASN δίκτυό του, αποκτά μια νέα τοπική διεύθυνση IP και επομένως μια νέα σήραγγα θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα. Σχετικά με την κινητικότητα μεταξύ δικτύων WiMAX, ο χρόνος που απαιτείται για το στήσιμο μιας νέας σήραγγας IPSec όταν αλλάζει το ASN μπορεί να είναι πολύ μεγάλος και να μην επιτυγχάνεται απρόσκοπτη κινητικότητα. Για να επιταχυνθεί αυτού του είδους η μετάθεση σήραγγας IPSec, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μηχανισμό MOBIKE τον οποίο εισηγείται το IETF.
 15. Η PDG επιτελεί τη διαδικασία MIP registration με τον HA μόλις ειδοποιηθεί με την απομακρυσμένη διεύθυνση IP του MS. Τα πακέτα δεδομένων θα μεταδοθούν στον MS μέσω του WiMAX AN. Η διαδικασία μεταγωγής έχει ολοκληρωθεί.

5. Συμπεράσματα – προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε μια πρακτική αρχιτεκτονική διασυνεργασίας UMTS-WiMAX βάσει των προτύπων 3GPP και περιγράφηκε μια διαδικασία μεταγωγής η οποία υπόσχεται χαμηλή απώλεια πακέτων και χαμηλό χρόνο διακοπής κατά τη διάρκεια της μεταγωγής της επικοινωνίας. Η κινητικότητα μεταξύ δύο δικτύων πρόσβασης επιτυγχάνεται με τον μηχανισμό MIP στο στρώμα δικτύου. Η απώλεια πακέτων κατά τη διάρκεια της μεταγωγής μειώνεται αφού ο παλιός FA ειδοποιεί τον HA για την κίνηση του MS και επομένως ο HA αποθηκεύει προσωρινά τα πακέτα δεδομένων που προορίζονταν στον MS. Αυτή η αρχιτεκτονική διασυνεργασίας δεν απαιτεί πολλές αλλαγές στις υπάρχουσες δικτυακές υποδομές και αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα. Το εν λόγω σχέδιο μεταγωγής απαιτεί την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ της δικτυακής πύλης PDG και του GGSN το οποίο εξυπηρετεί το ίδιο APN με τη βοήθεια του εξυπηρετητή DNS. Στην περίπτωση που ο MS συνδέεται σε πολλαπλά APN, η φάση προετοιμασίας της μεταγωγής είναι ενδεχομένως πιο περίπλοκη, και προς το παρόν δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος μηχανισμός, μπορεί να αποτελέσει το αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Επιπλέον, στο μέλλον πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθεί tight coupling για διασυνεργασία 3GPP-WiMAX και 3GPP-WLAN η οποία προσφέρει απρόσκοπτη μεταγωγή με μικρότερη καθυστέρηση και μικρότερη απώλεια πακέτων. Η μελλοντική αρχιτεκτονική διασυνεργασίας εξαρτάται από τις εξελίξεις των προτύπων 3GPP. Σκοπός αυτής της μελλοντικής έρευνας είναι η αρχιτεκτονική περιαγωγής καθώς η κινητικότητα σε περιβάλλοντα πολλαπλών παρόχων.

Βιβλιογραφία - Αναφορές

1. Frank Ohrtman, “WiMAX Handbook Building 802.16 Wireless Networks”, McGraw-Hill Communications, 2005
2. Lawrence Harte, “Introduction to 802.16 WiMAX, Wireless Broadband Technology, Market, Operation and Services”, Althos Publishing, 2006
3. Roger Marks, Carl Eklund, Kenneth Stanwood, and Stanley Wang, “IEEE 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access,” IEEE Communications
4. “802.16-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”, 2004
5. IEEE 802.16.2-2004, “Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems,” 2004
6. 802.16.2™ IEEE Recommended Practice for Local and Metropolitan Area Networks Coexistence of Fixed Broadband Wireless Access Systems
7. IEEE P802.16e/D11, “Part 16: Air Interface for fixed and mobile broadband wireless access system”, September 2005
8. WiMAX Forum, “Mobile WiMAX Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, June 2006
9. WiMAX Forum, “Mobile WiMAX Part II: A Comparative Analysis”, May 2006
10. WiMAX Forum, “Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary”, July 2006
11. WiMAX Forum, “Mobile WiMAX: The Best Personal Broadband Experience”, June 2006
12. Intel Corporation White Paper, “IEEE 802.16 & WiMAX”, 2003
13. Intel Corporation White Paper, “Understanding WiFi and WiMAX as Metro-Access Solutions”, 2004
14. Intel Corporation Technical White Paper, “Understanding WiMAX and 3G for Portable/Mobile Broadband Wireless”, December 2004
15. Intel® Technology Journal “Multiple Antenna Technology in WiMAX Systems”, Volume 8, Issue 3, August 20 2004
16. Steven Halford and Karen Halford, “OFDM Uncovered: The Architecture”, http://www.commsdesign.com/design_corner/OEG20020502S0013
17. Muhammad Jaseemuddin, “An Architecture for Integrating UMTS and 802.11 WLAN Networks”, Department of Electrical & Computer Engineering, Ryerson University.
18. S. Velentzas, T. Dagiuklas, “4G Cellular / WLAN Interworking”

19. 3GPP, “3GPP system to WLAN interworking; System description”, TS 23.234 v6.4.0 March 2005 (http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/23_series/23.234/23234-640.zip)
20. Quoc-Thinh Nguyen-Vuong, Lionel Fiat, Nazim Agoulmine “An Architecture for UMTS-WiMAX Interworking”, University of Evry, France, 2006
21. Shashwat Bhavsar, “WLAN-Cellular Integration for Mobile Data Networks”, University of New Brunswick

Χρήσιμοι δικτυακοί τόποι

- <http://www.wimaxforum.org>
- <http://www.wimax-industry.com>
- <http://www.wimaxpro.com>
- <http://www.wimax.gr>
- <http://www.wimax-revolution.net>
- <http://www.wimax-telecom.net>
- <http://www.wimaxworldeurope.com>
- <http://www.wimaxworld.com>
- <http://www.wimax.com>
- <http://www.openwimax.org>
- <http://www.wimaxreview.com>
- <http://www.extremewimax.com>
- <http://www.wimax-coverage.com>
- <http://www.3gpp.org>
- <http://www.umtsworld.com>
- <http://www.weeklytelecom.gr>
- http://www.intracom.gr/intracom_telecom/gr/products/telecom_products/wireless_access/wibas_family.htm
- <http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/index.htm>
- http://www.intel.com/standards/case/case_wimax.htm
- <http://developer.intel.com/technology/itj/index.htm>
- http://www.iec.org/newsletter/oct06_1/analyst_1.html
- <http://ru6.cti.gr/broadband/el/wimax.php>
- <http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>

Αρκτικόλεξο

Ακρόνυμο	Επεξήγηση
3G	3 rd Generation
AAA	Accounting, Authorization, Authentication
AAS	Adaptive Antenna System
AES	Advanced Encryption Standard
ASN	Access Service Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
BWA	Broadband Wireless Access
CID	Connection Identification
CMAC	Cipher-based Message Authentication Code
CPE	Contrat Premiere Embauché
DFS	Dynamic Frequency Selection
DSA	Dynamic Service Active
DSC	Dynamic Service Change
DSD	Dynamic Service Delete
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
DBPC	Downlink Burst Profile Change
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ	Differentiated Services
DIUC	Downlink Interval Usage Code
DSL	Digital Subscriber Line
EVDO	Evolution-Data Optimized
FAMA	Fixed Assignment Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FSDD	Frequency shift division duplexing
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPC	Grant per Connection
GPSS	Grant per Subscriber Station
HA	Home Agent
HMAC	Key-hashed Message Authentication Code
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTV	Internet Protocol Television
ISI	Intersymbol Interference
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local Area Networks
LLC	Logical Link Control
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MAN	Wireless Metropolitan Area Networks
MIMO	Multiple In Multiple Out

MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service
MS	Mobile Subscriber
NGN	Next Generation Network
NLOS	Non Line Of Sight
nrtPS	Non-real time Polling Service
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open System Interconnection
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Protocol Data Unit
PDG	Packet Data Gateway
PDU	Packet Data Unit
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
rtPS	Real time Polling Service
SDMA	Space Division Multiple Access
SDU	Service Data Unit
SFID	Service Flow ID
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHA	Secure Hash Algorithm
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SS	Subscriber Station
STC	Space Time Coding
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TTG	Transmit Transition Gap
UGS	Unsolicited Grant Service
UIUC	Uplink Interval Usage Code
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAG	Wimax Access Gateway
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for MicroWave Access
WISP	Wireless Internet Service Provider

Η παρούσα εργασία είναι διαθέσιμη σ' αυτή τη διεύθυνση :
<http://users.teilar.gr/~cs547>

ΤΕΛΟΣ