



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

*Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση.
Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών
δικτύου*

- Case Study: Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Α. Τερζάκης

Δημήτριος Κ. Τσαπάρας

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2007



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

*Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση.
Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών
δικτύου*

- Case Study: Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Α. Τερζάκης

Δημήτριος Κ. Τσαπάρας

Επιβλέπων : Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30^η Απριλίου 2007.

.....
Φίλιππος Κωνσταντίνου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Μιχαήλ Θεολόγου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2007

.....
Ιωάννης Α. Τερζάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Κ. Τσαπάρας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννης Α. Τερζάκης, 2007

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Copyright © Δημήτριος Κ. Τσαπάρας, 2007

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επικοινωνία: Ιωάννης Α. Τερζάκης: iat007@yahoo.gr

Δημήτριος Κ. Τσαπάρας: dimitris.tsaparas@gmail.com

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, στα πρώτα βήματα της τεχνολογίας WiMAX στην Ελλάδα, να αποτελέσει ένα πλήρες εγχειρίδιο για μηχανικούς τηλεπικοινωνιών που θέλουν να ασχοληθούν με τη σχεδίαση και ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων. Παρέχει τόσο θεωρητική όσο και πρακτική γνώση πάνω στη συγκεκριμένη τεχνολογία και στην βηματική ανάπτυξη ενός WiMAX δικτύου. Η τεχνογνωσία αυτή αποκτήθηκε μέσω της συνεργασίας μας με το Τμήμα Ασύρματης Πρόσβασης του Ο.Τ.Ε. κατά τη φάση σχεδιασμού και υλοποίησης των πρώτων πιλοτικών συστημάτων WiMAX στην Ελλάδα.

Επιπλέον, μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε εταιρείες παροχής υπηρεσιών WiMAX, διότι δίνει έναν ντετερμινιστικό τρόπο υπολογισμού των άνω ορίων του πλήθους των συνδρομητών που μπορεί να υποστηρίξει ένας σταθμός βάσης WiMAX, σε συνάρτηση με τις επιμέρους υπηρεσίες που προσφέρει και το είδος διαμόρφωσης του σήματος που επιτυγχάνεται ανάλογα με τη στάθμη λήψης.

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.16 (WiMAX). Αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι καινοτομίες της συγκεκριμένης τεχνολογίας, όπως: προσαρμοστική διαμόρφωση, πολυπλεξία OFDM, πολλαπλή πρόσβαση OFDMA και SOFDMA, τεχνικές TDD-FDD, χρήση έξυπνων κεραιών. Παρουσιάζονται υπάρχοντα καθώς και πρόσφατα εισαχθέντα μοντέλα διάδοσης και μελετάται η εφαρμογή τους στην περίπτωση ραδιοκάλυψης WiMAX συστημάτων. Αναλύεται η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) που μπορεί να προσφέρει το WiMAX με έμφαση στο στρώμα MAC (Service Flows, 802.1p/Q – VLAN). Παρουσιάζεται η τρέχουσα έρευνα σε θέματα αρχιτεκτονικών εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας (IntServ, DiffServ) στο διαδίκτυο και ο συνδυασμός τους με το WiMAX στη διασφάλιση εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών δικτύου (UGS, rtPS, ErtPS, nrtPS, BE) από άκρου σε άκρο. Συγκρίνονται οι δυνατότητες του WiMAX σε σχέση με υφιστάμενες τεχνολογίες (WiFi).

Στο δεύτερο μέρος μελετάται πρακτικά η διαδικασία ανάπτυξης συστημάτων WiMAX, λαμβάνοντας ως βάση εφαρμογής τα πιλοτικά συστήματα WiMAX του Ο.Τ.Ε. Εξετάζονται ζητήματα όπως: α) Διαδικασία Site Survey (λήψη γεωγραφικών συντεταγμένων, εκτίμηση γεωγραφικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος διάδοσης, εξέταση υφιστάμενων συστημάτων παροχής ενέργειας, τηλεπικοινωνιακών και κατασκευαστικών υποδομών), β) Προσομοίωση της ραδιοκάλυψης με βάση το site survey (χρήση εξειδικευμένου λογισμικού ραδιοκάλυψης), γ) Ανάλυση της παροχής των υποστηριζόμενων στις περιοχές ραδιοκάλυψης υπηρεσιών δικτύου (VoIP, VPN κλπ) σε συνδρομητές, δ) Μελέτη στοιχείων υλοποίησης δικτύου.

Λέξεις-Κλειδιά: WiMAX, Προσαρμοστική Διαμόρφωση, OFDM, QoS, Service Flows, 802.1p/Q – VLAN, IntServ, DiffServ, Site Survey, Μοντέλα Διάδοσης, Δίκτυο Πρόσβασης, Δίκτυο Διασύνδεσης, Ανάλυση Υπηρεσιών WiMAX, Συνδρομητές WiMAX

Abstract

The aim of the present diploma thesis is, at the advent of the WiMAX technology in Greece, to represent a complete handbook for telecommunication engineers who intend to deal with the planning and the development of such systems. It provides theoretical as well as practical knowledge on the particular technology and on the step-by-step development of a WiMAX network. This know-how was acquired by our cooperation with the Wireless Access Department of OTE SA at the period of planning and implementation of the first WiMAX systems in Greece.

Furthermore, it can be proved significantly useful to WiMAX service providers, because it provides a deterministic way for the estimation of the highest number of subscribers who can be supported by a WiMAX base station in combination with the discrete services that it provides and with the separate zones of RF coverage.

In the first part, the set of protocols IEEE 802.16 (WiMAX) is presented. There have also been analyzed the characteristics and the innovations of the specific technology such as: Adaptive Modulation, OFD Multiplexing (OFDM), OFD and SOFD Multiple Access (OFDMA and SOFDMA), TDD-FDD technics, Smart Antennas' usage. Besides, the available as well as the recently introduced propagation models are presented and their application in the case of WiMAX systems is considered too. Moreover, the Quality of Service (QoS) with emphasis on the MAC layer (Service Flows, 802.1p/Q – VLAN) which can be provided by WiMAX is resolved. In addition, there is presented the current research on topics of the architectures of QoS guarantee (IntServ, DiffServ) in the Web and their combination with WiMAX to the edge-to-edge indemnity of guaranteed QoS of network (UGS, rtPS, ErtPS, nrtPS, BE). Finally, there have been compared the abilities of WiMAX with regard to subordinate technologies (WiFi).

In the second part, the process of development of WiMAX systems is considered taking the pilot WiMAX systems of OTE SA as a practice basis. There have been examined subjects such as: a) Site Survey procedure (geographic coordinates notice, estimation of geographic characteristics of propagation environment, examining of existent systems for energy supply, telecommunication and structural infrastructure, b) Simulation of RF coverage with regard to the site survey (usage of specialized software), c) Analysis of the supply of supported services (VoIP, VPN, etc.) to subscribers at the areas of RF coverage, d) Consideration of factors for the implementation of the network.

Key words: WiMAX, Adaptive Modulation, OFDM, QoS, Service Flows, 802.1p/Q – VLAN, IntServ, DiffServ, Site Survey, Propagation Models, Access Network, Backhauling Network, Analyzing of WiMAX Services, WiMAX Subscribers

Ευχαριστίες

Θερμότερες ευχαριστίες οφείλουμε:

στον καθηγητή μας δρ. Φίλιππο Κωνσταντίνου για την αγάπη που μας ενέπνευσε για το αντικείμενο του Τηλεπικοινωνιακού Μηχανικού στα χρόνια των σπουδών μας,

στον δρ. Δημήτριο Ξενικό, WiMAX project manager και προϊστάμενο του Τμήματος Ασύρματης Πρόσβασης του Ο.Τ.Ε., για την πολύτιμη ευκαιρία μαθητείας κοντά του που μας προσέφερε και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μας. Η ακεραιότητα του χαρακτήρα του και το επαγγελματικό του ήθος, αποτελούν σπουδαίο κεφάλαιο και έμπνευση για την περαιτέρω πορεία μας,

στον Πέτρο Βούδδα, στέλεχος του Τμήματος Ασύρματης Πρόσβασης του Ο.Τ.Ε., για την αφειδώλευτη αρωγή και επίβλεψή του στην εκπόνηση της εργασίας μας από την πρώτη στιγμή,

στον Αβραάμ Ασημακόπουλο και Κων/νο Κλωτσοτύρα, στελέχη του Τμήματος Ασύρματης Πρόσβασης του Ο.Τ.Ε., για τη πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφεραν μέσα από την εμπειρία τους,

στη διεύθυνση Τεχνολογιών Δικτύου του Ο.Τ.Ε. για τη δυνατότητα εκπόνησης της εργασίας μας στο Τμήμα Ασύρματης Πρόσβασης, που μας προσέφερε.

Γιάννης Τερζάκης
Δημήτρης Τσαπάρας

Ευχαριστώ τους φίλους και συμφοιτητές μου Νίκο Μαργούτα, Μιλτιάδη Ανοικτομάτη και Γιώργο Γρηγορίου για τις ωραίες στιγμές που ζήσαμε κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Ευχαριστώ τους γονείς μου Αθανάσιο και Αικατερίνη Τερζάκη για την αγωγή και τη στήριξη που μου δίνουν. Επίσης, τα αδέρφια μου, Μαρία, Θόδωρο, Πηνελόπη και Φωτεινή για την συμπαράστασή τους.

Γιάννης Τερζάκης

Ευχαριστώ τους φίλους και συμφοιτητές: Χαράλαμπο Τσουρακάκη, Διαμαντή Μαρινάκη, Γεράσιμο Μπλιάντση, Νίκο Τρογκάνη και Νίκο Μαργούτα για όσα ζήσαμε μαζί στα φοιτητικά μας χρόνια.

Ευχαριστώ τους γονείς μου Κων/νο και Ιωάννα και τα αδέρφια μου Στέλιο και Γιώργο για την αγάπη και υποστήριξη που μου προσέφεραν με κάθε δυνατό τρόπο τα χρόνια των σπουδών μου.

Δημήτρης Τσαπάρας

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή	15
1.1 Υφιστάμενο πλαίσιο στην ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση.....	15
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	17
1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	18

ΜΕΡΟΣ Α

2 Το πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX)	23
2.1 Γενικά.....	23
2.2 Το πρότυπο IEEE 802.16-2001.....	27
2.3 Το πρότυπο IEEE 802.16c.....	29
2.4 Το πρότυπο IEEE 802.16a.....	29
2.5 Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 (802.16d).....	32
2.6 Το πρότυπο IEEE 802.16e.....	36
2.7 Το WiMAX Forum.....	39
2.7.1 Στόχος του WiMAX Forum.....	40
2.7.2 WiMAX Forum Certified TM	40
3 Χαρακτηριστικά - καινοτομίες της τεχνολογίας WiMAX	41
3.1 Προσαρμοστική Διαμόρφωση.....	41
3.2 OFDM.....	46
3.2.1 Εισαγωγή – Ιστορία του OFDM.....	46
3.2.2 Ανάλυση του OFDM.....	46
3.3 OFDMA – SOFDMA.....	53
3.4 FDD-TDD.....	55
3.4.1 Γενικά.....	55
3.4.2 FDD.....	55
3.4.3 TDD.....	56
3.4.4 Σύγκριση TDD-FDD.....	57
3.5 Έξυπνες κεραίες.....	59

3.5.1 Γενικά.....	59
3.5.2 Είδη έξυπνων κεραιών.....	60
4 Μοντέλα διάδοσης και εφαρμογή τους στην περίπτωση ραδιοκάλυψης WiMAX συστημάτων.....	67
4.1 Εισαγωγή.....	67
4.1.1 Μηχανισμοί Διάδοσης.....	68
4.1.2 Κατηγορίες Μοντέλων.....	71
4.1.2.1 Indoor μοντέλα.....	71
4.1.2.2 Outdoor μοντέλα.....	72
4.1.2.3 Εμπειρικά Μοντέλα.....	73
4.1.2.4 Φυσικά Μοντέλα.....	73
4.1.2.5 Θεωρητικά Μοντέλα.....	74
4.2 Μοντέλα Διάδοσης για WiMAX συστήματα.....	75
4.2.1 Μοντέλο Διάδοσης Ελευθέρου Χώρου.....	76
4.2.2 Μοντέλο Free Space+RMD.....	77
4.2.3 Μοντέλα SUI.....	81
4.2.4 Μοντέλο COST-231 Hata.....	89
4.2.5 Μοντέλο COST-231 Walfisch-Ikegami.....	90
4.2.6 Ray-Tracing Μοντέλο.....	92
4.2.7 Μοντέλο ECC-33.....	94
4.3 Σύγκριση Μοντέλων Διάδοσης.....	95
4.4 Συμπέρασμα.....	103
5 Πρωτόκολλα Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS).....	105
5.1 Εισαγωγή.....	105
5.2 IntServ.....	112
5.2.1 Εισαγωγή.....	112
5.2.2 Υπηρεσία εγγυημένης ποιότητας.....	115
5.2.3 Υπηρεσία ελεγχόμενου φόρτου.....	116
5.2.4 Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)	117
5.2.5 Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – RSVP.....	117
5.2.6 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης.....	120
5.2.7 Αξιολόγηση.....	122

5.3 DiffServ.....	124
5.3.1 Εισαγωγή	124
5.3.2 Κατηγοριοποίηση.....	126
5.3.3 Κλάσεις DiffServ.....	127
5.3.4 Συμπεριφορές -Ανά - Κόμβο (PHBs)	128
5.3.5 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσίας (SLAs)	131
5.3.6 Μεσίτες Εύρους Ζώνης (BBs)	132
5.3.7 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης.....	134
5.3.8 Αξιολόγηση.....	140
5.3.9 Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ) στο EDET.....	142
5.4 Service Flows.....	144
5.5 VLANs - 802.1 Q/p.....	146
5.5.1 Καθορισμός των μελών ενός VLAN.....	148
5.5.2 Πλεονεκτήματα από τη χρήση VLAN.....	149
5.5.3 IEEE 802.1.....	150
6 Μελέτη QoS στο WiMAX – Σύγκριση με QoS στο WiFi	153
6.1 Εισαγωγή.....	153
6.2 Εφαρμογές, κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας.....	155
6.3 802.16 MAC.....	161
6.3.1 Υποείπεδα MAC.....	162
6.3.1.1 MAC-Υποείπεδο Σύγκλισης (MAC-CS).....	162
6.3.1.2 MAC- Κοινό τμήμα του MAC (MAC-CP)	163
6.3.1.3 MAC- Υποείπεδο Ασφάλειας (MAC-PS)	164
6.3.2 Service Flows - Ροές Υπηρεσίας.....	164
6.3.2.1 Provisioned service flows.....	165
6.3.2.2 Admitted service flows.....	167
6.3.2.3 Active service flows service flows.....	167
6.3.2.4 Μοντέλο αντικειμένων.....	167
6.3.3 Εξουσιοδότηση	169
6.3.3.1 Provisioned (Static) Authorization.....	169
6.3.3.2 Dynamic Authorization.....	170
6.3.4 Ποιότητα υπηρεσιών στο 802.16e (mobile WiMAX)	170

6.4 WiFi.....	172
6.4.1 Υποπρότυπα του προτύπου 802.11 (WiFi)	172
6.4.2 Χαρακτηριστικά παροχής ποιότητας υπηρεσίας στο IEEE 802.11e.....	176
6.4.3 Συγκρίσεις των προτύπων της οικογένειας 802.11.....	178
6.5 Σύγκριση WiMAX και WiFi ως προς παρεχόμενη QoS.....	179
6.5.1 Κύρια χαρακτηριστικά του WiFi ως προς QoS.....	180
6.5.2 WiMAX backhauling σε τοπολογία πλέγματος (mesh) WiFi	180
6.5.3 Πλεονεκτήματα WiMAX έναντι του WiFi.....	181

ΜΕΡΟΣ Β

7 Αρχικός θεωρητικός σχεδιασμός δικτύου πρόσβασης και δικτύου διασύνδεσης.....	189
7.1 Επιλογή συχνοτικών ζωνών.....	189
7.2 Επιλογή τοποθεσιών για εγκατάσταση σταθμών.....	190
7.3 Frequency Planning.....	191
8 Διαδικασία επιτόπιας επισκόπησης (site survey)	195
8.1 Η διαδικασία Site Survey.....	196
8.1.1 Ύπαρξη οπτικής επαφής (LOS) με τους υποψήφιους χρήστες.....	196
8.1.2 Δυνατότητα εγκατάστασης της κεραίας στο συγκεκριμένο σημείο.....	196
8.1.2.1 Θέματα κατασκευαστικών υποδομών.....	196
8.1.2.2 Θέματα ενεργειακής υποδομής	197
8.1.2.3 Θέματα τηλεπικοινωνιακών υποδομών.....	198
8.2 Καταγραφή των συλλεχθέντων στοιχείων.....	198
9 Προσομοίωση της ραδιοκάλυψης	213
9.1 Το λογισμικό προσομοίωσης ραδιοκάλυψης EDX Signal Pro v6.1.....	213
9.2 Μελέτη ραδιοκάλυψης.....	214
9.2.1 Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.....	214
9.2.2 ΝΥΜΑ.....	231
9.2.3 Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΥΜΗΤΤΟΥ.....	234
9.2.4 Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΠΑΡΝΗΘΑΣ.....	236

9.2.5 Συνολική ραδικάλυψη στο Λεκανοπέδιο Αττικής.....	237
9.2.6 Διασύνδεση ΝΥΜΑ- Α/Τ Υμηττού.....	238
9.2.7 Διασύνδεση ΔΜΟΤΕ - Α/Τ Πάρνηθας.....	245
10 Ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου.....	247
10.1 Εισαγωγή.....	247
10.2 Ορισμός εννοιών.....	248
10.3 Θεωρητική μελέτη.....	253
10.4 Πρακτική μελέτη.....	261
11 Στοιχεία υλοποίησης δικτύου-Τοπολογίες.....	269
12 Συμπεράσματα.....	277
12.1 Σύνοψη.....	277
12.2 Μελλοντικές επεκτάσεις.....	279
ΠΗΓΕΣ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	281
ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΗΓΕΣ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	284
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	289
Παράρτημα Α: Ευρετήριο εικόνων.....	289
Παράρτημα Β: Ευρετήριο πινάκων.....	292
Παράρτημα Γ: Ακρωνύμια	293

1

Εισαγωγή

1.1 Υφιστάμενο πλαίσιο στην ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση

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

πρότασης για την λύση τελευταίου μιλίου (last mile), δηλαδή της σύνδεσης του τελικού χρήστη με τον τηλεπικοινωνιακό πάροχο.

Η ασύρματη πρόσβαση ήταν η ιδανικότερη λύση. Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε προς αυτή την κατεύθυνση ήταν το WiFi (πρότυπο IEEE 802.11), το οποίο όμως έφτανε μέχρι τη θεωρητική ταχύτητα των 54Mbps και κάλυπτε περιοχή ακτίνας μέχρι 100m. Το Wi-Fi όμως, αν και αρκετά απλό στη χρήση, δεν έφερε την πραγματική επανάσταση, που όλοι περίμεναν και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην περιορισμένη εμβέλεια της κάλυψής του. Στην πραγματικότητα η εν λόγω τεχνολογία αξιοποιήθηκε κυρίως για σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών και δρομολογητών (routers) σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους και όχι για την παροχή υπηρεσιών πρόσβασης στο Internet σε μια γεωγραφικά εκτεταμένη περιοχή. Με την εμβέλειά του να περιορίζεται στα 100 μέτρα, δεν θα μπορούσε φυσικά να περιμένει κανείς κάτι διαφορετικό.

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

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

Υπό αυτές τις συνθήκες δημιουργήθηκε η ανάγκη για κάτι διαφορετικό. Απαλλαγμένο από τα μειονεκτήματα των σημερινών τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο και διατηρώντας ή αναβαθμίζοντας τα πλεονεκτήματά τους, το WiMAX είναι η λύση που όπως όλα δείχνουν θα επικρατήσει στο πολύ κοντινό

μέλλον, αντικαθιστώντας ακόμη και τις οικιακές ADSL συνδέσεις. Το WiMAX προσφέρει αφενός μεν υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης σε σχέση με το Wi-Fi, αφετέρου δε σημαντικά υψηλότερη εμβέλεια, που υπολογίζεται ότι θα μπορεί να καλύψει σε κάθε της σημείο ακόμη και μια μεγαλούπολη.

Με τον τρόπο που τα κινητά τηλέφωνα σήμερα έχουν επικρατήσει για τις ανάγκες της επικοινωνίας μας έναντι του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου, με τον ίδιο τρόπο εκτιμάται από τους ειδικούς ότι πολύ σύντομα το WiMAX θα καλύπτει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό συνδρομητών, σε σχέση με αυτούς που συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω ενσύρματης γραμμής ADSL, ISDN ή PSTN .

Το Internet πρέπει να αποτελεί ένα μέσο ενημέρωσης και επικοινωνίας προσβάσιμο ανά πάσα στιγμή από παντού, με την ίδια λογική που σήμερα ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν από οποιοδήποτε σημείο, χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες. Κάπως έτσι εκτιμάται ότι μελλοντικά ο χρήστης ενός φορητού υπολογιστή ή PDA θα ενεργοποιεί τη συσκευή του σε οποιοδήποτε σημείο μιας πόλης ή και ολόκληρης της χώρας του και θα είναι αμέσως έτοιμος να πλοηγηθεί στο Internet με ταχύτητες αρκετών Mbps. Όσο κι αν αυτό φαίνεται σαν ένα ...άπιαστο όνειρο, το WiMAX υπόσχεται να το κάνει πραγματικότητα και οι πρώτες δοκιμές που έχουν γίνει σε χώρες του εξωτερικού, δείχνουν ότι θα το κατορθώσει. [1], [2]

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής μας εργασίας είναι, στα πρώτα βήματα της τεχνολογίας WiMAX στην Ελλάδα, να αποτελέσει ένα πλήρες εγχειρίδιο για μηχανικούς τηλεπικοινωνιών που θέλουν να ασχοληθούν με τη σχεδίαση και ανάπτυξη των συγκεκριμένων συστημάτων. Παρέχει τόσο θεωρητική όσο και πρακτική γνώση πάνω στη συγκεκριμένη τεχνολογία και στη βηματική ανάπτυξη ενός WiMAX δικτύου. Επιπλέον, δίνει έναν ντετερμινιστικό τρόπο υπολογισμού των άνω ορίων του πλήθους των συνδρομητών που μπορεί να υποστηρίξει ένα δίκτυο WiMAX σε συνάρτηση με τις επιμέρους υπηρεσίες που προσφέρει και το είδος διαμόρφωσης του σήματος που επιτυγχάνεται ανάλογα με τη στάθμη λήψης.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η εργασία αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο (κεφάλαια 2 έως 6) δίνεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση της τεχνολογίας WiMAX αλλά και συμπληρωματικών πεδίων όπως υφιστάμενα μοντέλα διάδοσης και η εφαρμογή τους στην περίπτωση πρόβλεψης ραδιοκάλυψης συστημάτων WiMAX. Επιπλέον, παρουσιάζονται θέματα εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας (QoS) στο διαδίκτυο, προκειμένου να διατηρούνται εγγυημένα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας από άκρου σε άκρο για την παροχή IP υπηρεσιών. Συγκεκριμένα, η διάρθρωση των κεφαλαίων έχει ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικογένεια πρωτοκόλλων IEEE 802.16 (WiMAX).

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι καινοτομίες της συγκεκριμένης τεχνολογίας, όπως: προσαρμοστική διαμόρφωση, πολυπλεξία OFDM, πολλαπλή πρόσβαση OFDMA και SOFDMA, τεχνικές TDD-FDD, χρήση έξυπνων κεραιών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται υπάρχοντα καθώς και προσφάτως εισαχθέντα μοντέλα διάδοσης και μελετάται η εφαρμογή τους στην περίπτωση ραδιοκάλυψης WiMAX συστημάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) που μπορεί να προσφέρει το WiMAX με έμφαση στο στρώμα MAC (Service Flows, 802.1p/Q – VLAN).

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τρέχουσα έρευνα σε θέματα αρχιτεκτονικών εξασφάλισης ποιότητας υπηρεσίας (IntServ, DiffServ) στο διαδίκτυο και ο συνδυασμός τους με το WiMAX στη διασφάλιση εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών δικτύου (UGS, rtPS, ErtPS, nrtPS, BE) από άκρου σε άκρο. Συγκρίνονται οι δυνατότητες του WiMAX σε σχέση με υφιστάμενες τεχνολογίες (WiFi).

Στο δεύτερο μέρος μελετάται πρακτικά η διαδικασία ανάπτυξης συστημάτων WiMAX, λαμβάνοντας ως βάση εφαρμογής τα πιλοτικά συστήματα WiMAX του Ο.Τ.Ε. και ανάλυση των υποστηριζόμενων υπηρεσιών.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται ο αρχικός θεωρητικός σχεδιασμός δικτύου πρόσβασης και δικτύου διασύνδεσης, με ανάπτυξη ζητημάτων, όπως επιλογή

συχνοτικών ζωνών, σημείων για τοποθέτηση των σταθμών βάσης καθώς και frequency planning.

Στο όγδοο κεφάλαιο αποτυπώνεται η διαδικασία επιτόπιας επισκόπησης (site survey).

Στο ένατο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση της ραδιοκάλυψης με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

Στο δέκατο κεφάλαιο δίνεται ένας ντετερμινιστικός τρόπος υπολογισμού των άνω όριων του πλήθους των συνδρομητών που μπορεί να υποστηρίξει ένα δίκτυο WiMAX, σε συνάρτηση με τις επιμέρους υπηρεσίες που προσφέρει και το είδος διαμόρφωσης του σήματος που επιτυγχάνεται ανάλογα με τη στάθμη λήψης.

Στο ενδέκατο κεφάλαιο δίνονται στοιχεία υλοποίησης του δικτύου και τοπολογίες.

Τέλος, στο δωδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας εργασίας.

ΜΕΡΟΣ Α

**Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για
πρόσβαση και διασύνδεση.**

**Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση
υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου**

2

Το πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX)

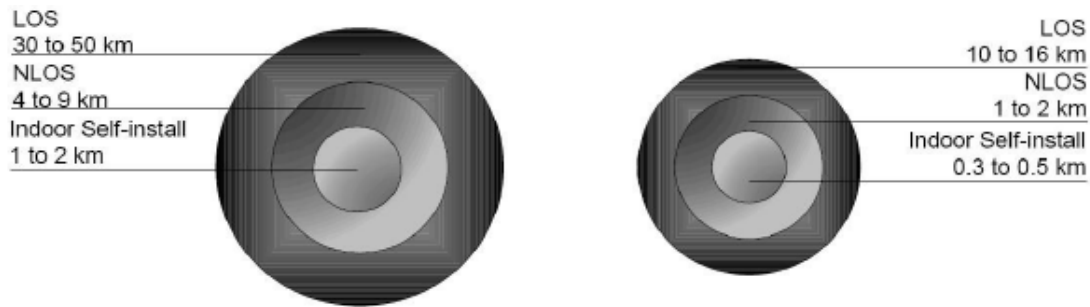
2.1 Γενικά

Ο όρος WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι συνώνυμος με το πρότυπο IEEE 802.16 για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WirelessMAN). Για την ακρίβεια, είναι ένα σύνολο προφίλ βασισμένων στο πρότυπο IEEE 802.16. Προορισμός του είναι να γίνει μία παγκοσμίως διαθέσιμη τεχνολογία αφού η βάση του (το πρότυπο IEEE 802.16) αναγνωρίζεται ως πρότυπο αναφοράς από το ETSI (European Telecommunication and Standards Institute) για το αντίστοιχο ευρωπαϊκό HIPERMAN (High Performance Radio MAN) αλλά και για το αντίστοιχο WiBro (Wireless Broadband) που αναπτύσσεται στην Κορέα. [1]

Το 1999 ιδρύθηκε η ομάδα εργασίας 802.16™ της IEEE με σκοπό να δημιουργήσει ένα πρότυπο ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις.

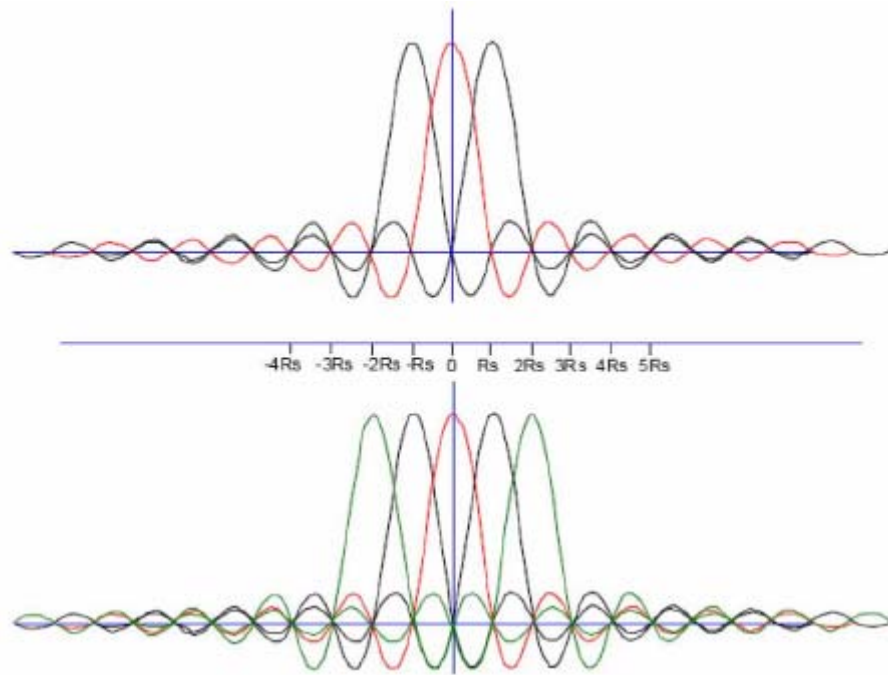
Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης έως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα

50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν θεωρητικά τα 50 Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 (δηλαδή το πρότυπο για ασύρματα τοπικά δίκτυα) είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής σε μεγάλες αποστάσεις (1-2 km), φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps.



Εικόνα 2.1: Θεωρητικές (αριστερά) και πρακτικές (δεξιά) τιμές της ακτίνας ραδιοκάλυψης στο WiMAX.

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως Point-to-Multipoint (PMP) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ό,τι αφορά το φαινόμενο της πολυδιάθρυσης, ειδικότερα στις συχνότητες άνω των 2 GHz τις οποίες το πρότυπο χρησιμοποιεί.



Εικόνα 2.2: Κυματομορφή OFDM

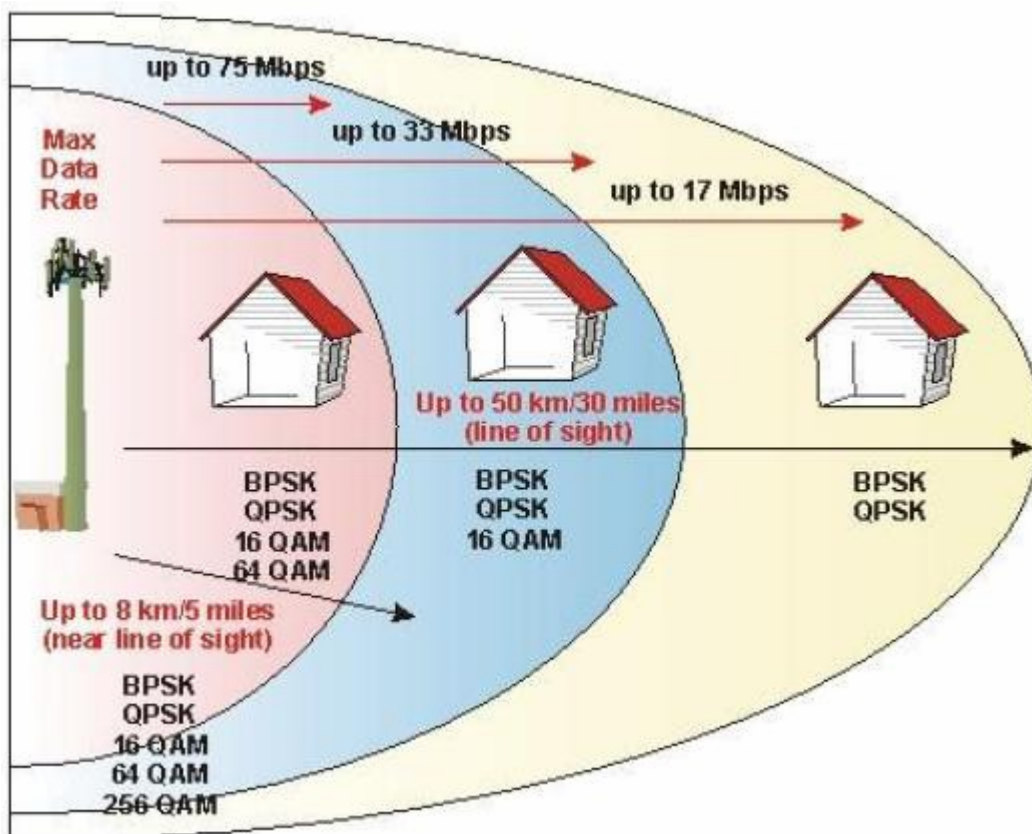
Αρκετοί προμηθευτές που έχουν ασχοληθεί με εξοπλισμό για ευρείας ζώνης ασύρματη πρόσβαση, έχουν εκδηλώσει το ενδιαφέρον τους για το WiMAX και έτσι δραστηριοποιούνται με επιτυχία στην κατασκευή υλικού συμβατού με το εν λόγω πρότυπο. Παραλλαγή του προτύπου, που στοχεύει στους κινητούς χρήστες (802.16e) έχει εγκριθεί από το 2005 και αναμένεται εντός του 2007 να κυκλοφορήσουν τα πρώτα τσιπάκια που θα το υλοποιούν.

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

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

- **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 δεν ήταν εφικτό σε μεγάλες αποστάσεις.
- Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

Οι ταχύτητες μετάδοσης του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64-QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16-QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος.



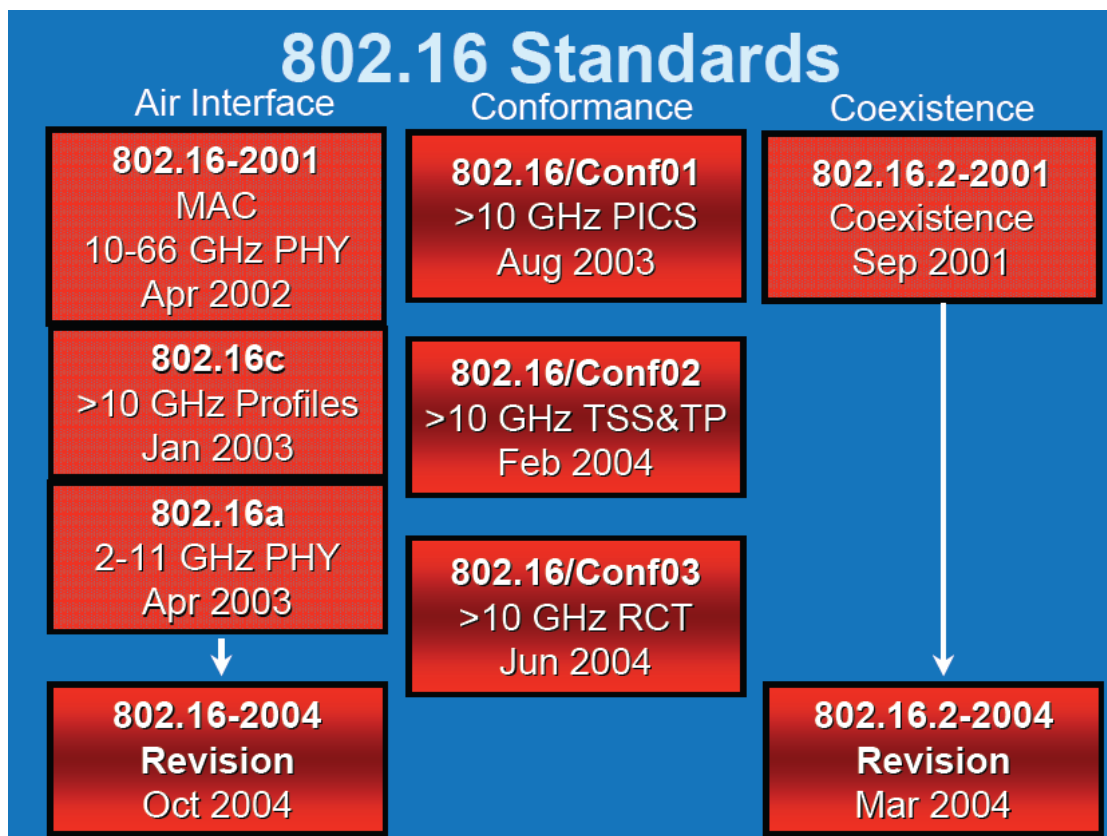
Εικόνα 2.3: Προσαρμοστική διαμόρφωση και ακτίνα κάλυψης στο WiMAX.

Το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου **ποιότητα υπηρεσίας (QoS)**. Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση best effort (βέλτιστης προσπάθειας) σε χρήστες που καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης, κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 (WiFi) δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση best effort. Με το 802.11, χρήστες που βρίσκονταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Την **ασφαλή μετάδοση** των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κωδικοποίησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου, ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit. Ο «κλασικός» αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple - DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά. [3]

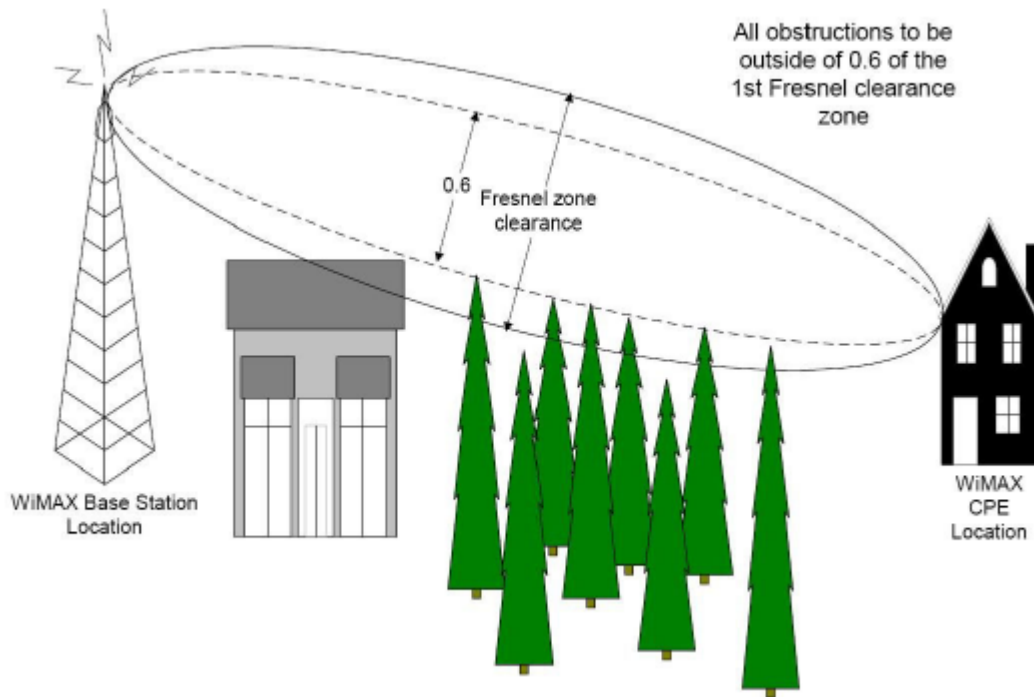
2.2 Το υποπρότυπο IEEE 802.16-2001

Από το 1998 πολλές εταιρείες είχαν ξεκινήσει να αναπτύσσουν και να προσφέρουν προϊόντα για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Προκειμένου τα προϊόντα αυτά να ακολουθήσουν ένα συγκεκριμένο πρότυπο, οργανώθηκε το 1999 μία ομάδα εργασίας στα πλαίσια του οργανισμού IEEE 802. Το πρότυπο που προτάθηκε αφορούσε τα ασύρματα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής WirelessMAN (WMAN) για συχνότητες 10-66GHz ενώ το Νοέμβριο του ίδιου έτους ξεκίνησαν οι μελέτες για παρόμοιες υπηρεσίες στις συχνότητες 2-11GHz. [1]



Εικόνα 2.4: Η εξέλιξη των προτύπων μέχρι το 2004

Το πρώτο πρότυπο εγκρίθηκε ως WirelessMAN-SC IEEE 802.16-2001 και εκδόθηκε τον Απρίλιο του 2002. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιούσε ήταν μονού φέροντος (SC – Single Carrier) και αφορούσε συχνότητες 10-66GHz, όπου υπάρχει ακόμα διαθέσιμο φάσμα παγκοσμίως. Επειδή οι συγκεκριμένες συχνότητες είναι υψηλές, το αντίστοιχο μήκος κύματος είναι μικρό και επομένως η διάδοση των σημάτων αφορούσε αποκλειστικά επικοινωνίες απ'ευθείας οπτικής επαφής (Line Of Sight-LOS), λόγω των ισχυρών απωλειών διάδοσης που οφείλονται στα μικρά μήκη κύματος. Το πλεονέκτημα όμως ήταν ότι η ταχύτητα μετάδοσης ξεπερνούσε τα 120Mbps σε κάθε επαναχρησιμοποιούμενο κανάλι των 25MHz. Επισημαίνουμε ότι διάδοση οπτικής επαφής θεωρείται πως έχουμε όταν είναι καθαρό από εμπόδια το 60% της 1^{ης} ζώνης Fresnel. [4]



Εικόνα 2.5: Διάδοση οπτικής επαφής (LOS) και 1^η ζώνη Fresnel.

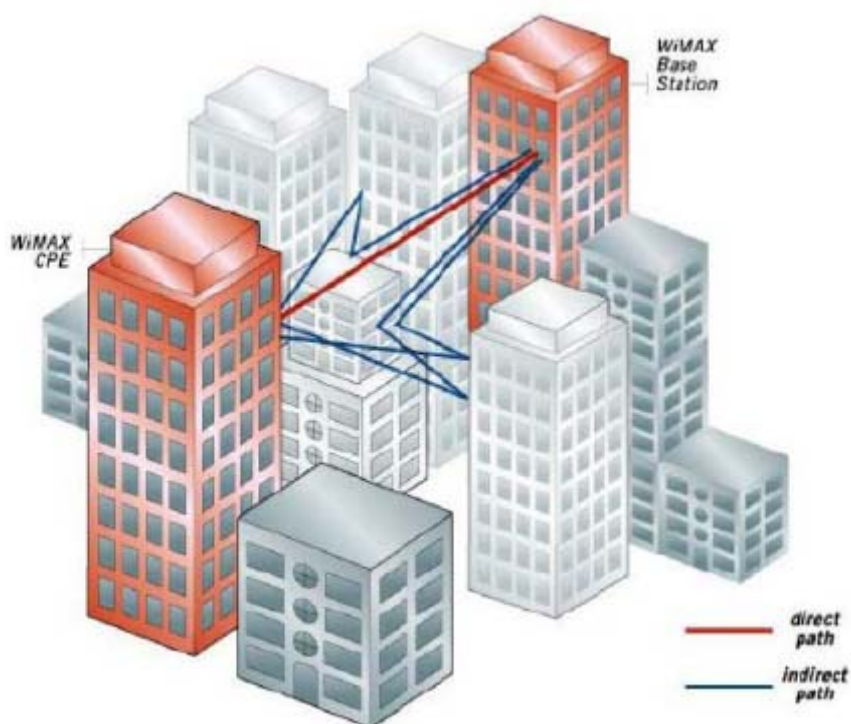
2.3 Το υποπρότυπο IEEE 802.16c

Το Δεκέμβριο του 2002 εγκρίθηκε και τον Ιανουάριο του 2003 δημοσιεύθηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16c, το οποίο ήταν μία συλλογή από αποσαφηνίσεις και ενημερώσεις πάνω στο IEEE 802.16-2001. Η τεκμηρίωση του IEEE 802.16c αναπτύχθηκε για ασύρματα δίκτυα σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων μεταξύ 10 και 66 GHz και σχετιζόταν με το λεπτομερές προφίλ, με την αποτίμηση των επιδόσεων και με τη δοκιμή του συστήματος. [5]

2.4 Το υποπρότυπο IEEE 802.16a

Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για την επέκταση του προτύπου IEEE 802.16. Τον Ιανουάριο του 2003

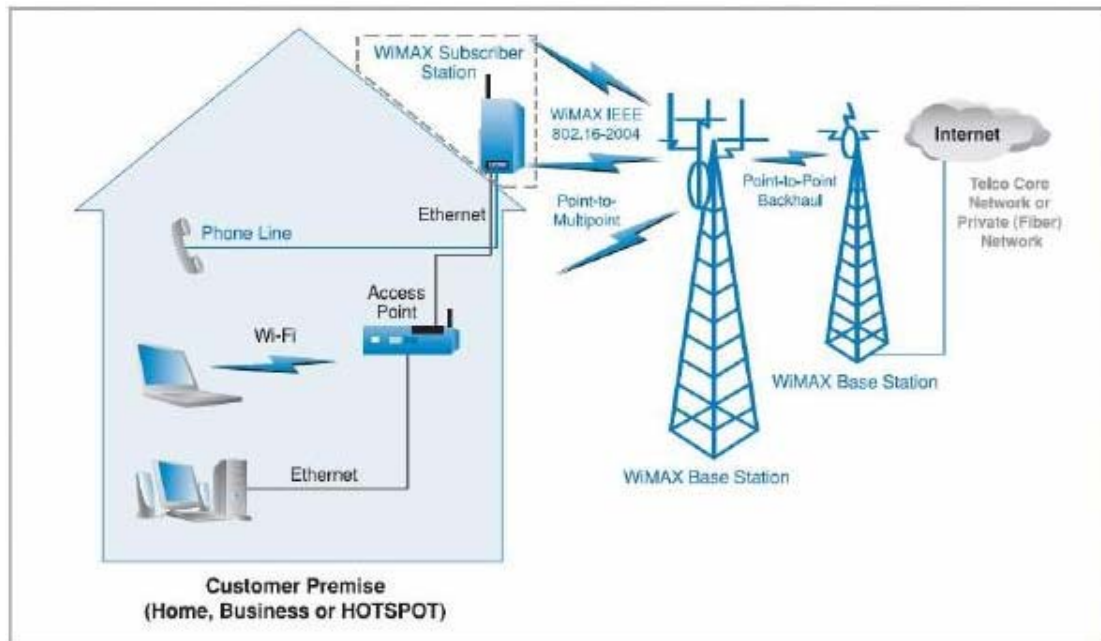
το πρότυπο επεκτάθηκε ώστε να λειτουργεί και στις συχνότητες από 2-11 GHz (αφορώντας ζώνες φάσματος με ή χωρίς αδειοδότηση χρήσης τους) όπου είναι δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού-δέκτη (NLOS). Το υποπρότυπο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία αυτή ονομάστηκε IEEE 802.16a. Η έκδοση του υποπροτύπου αυτού έγινε τον Απρίλιο του 2003.



Εικόνα 2.6 : Διάδοση μη οπτικής επαφής (NLOS).

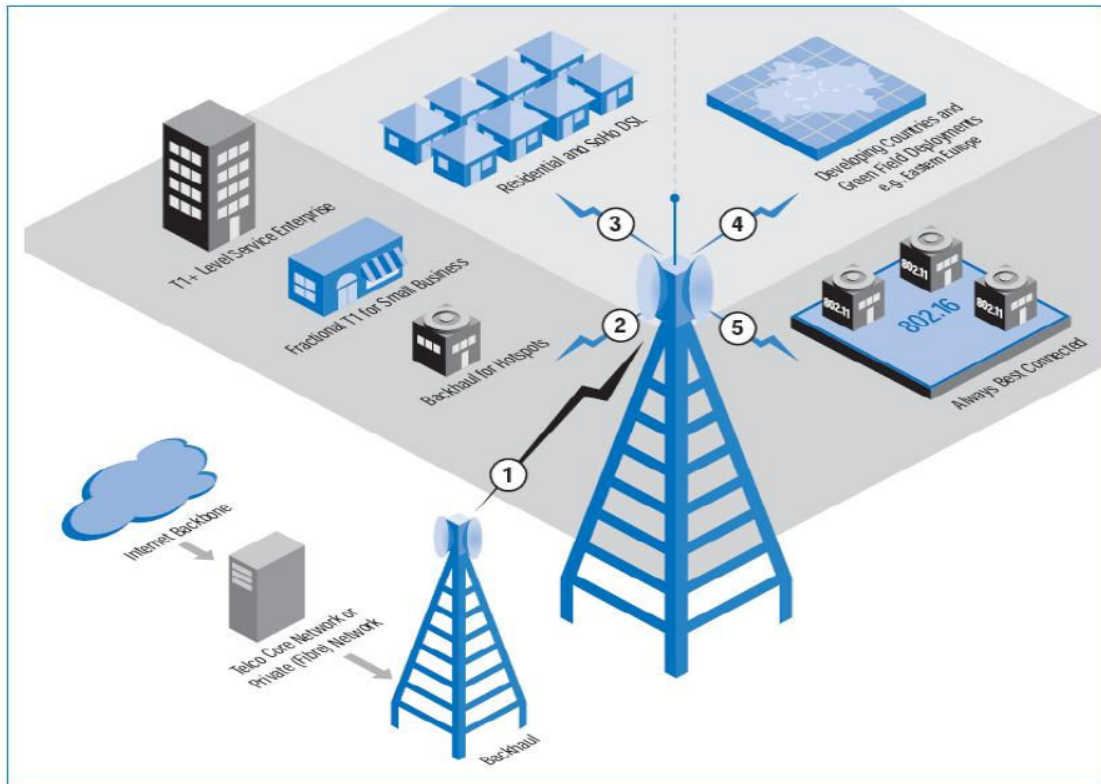
Η δυνατότητα σύνδεσης πομπού-δέκτη χωρίς οπτική επαφή κατέστησε το 802.16a την κατάλληλη τεχνολογία για εφαρμογές τελευταίου μιλίου (last-mile), όπου υπάρχουν συχνά εμπόδια, όπως δέντρα και κτήρια, και όπου οι σταθμοί βάσης πρέπει να τοποθετηθούν στις στέγες σπιτιών ή κτηρίων και όχι σε πύργους ή βουνά. Η περισσότερο συνηθισμένη 802.16a διάταξη αποτελείται από ένα σταθμό βάσης τοποθετημένο σε ένα κτήριο ή πύργο, ο οποίος επικοινωνεί με εταιρικούς ή οικιακούς συνδρομητικούς σταθμούς μέσω σύνδεσης point-to-multipoint (PMP). Το 802.16a έχει πάνω από 48km μέγιστη ακτίνα κάλυψης και τυπική ακτίνα κυψέλης 6.5-9.5 km σε κυψελωτό σύστημα. Μέσα στο πεδίο κάλυψης της κυψέλης η NLOS ρυθμοαπόδοση είναι βέλτιστη. Επιπρόσθετα, το 802.16a αποτελεί ιδανική ασύρματη backhaul

τεχνολογία για να συνδέει δίκτυα WiFi (802.11) και εμπορικές hotspots (νησίδες κάλυψης) με το διαδίκτυο.



Εικόνα 2.7: Τοπολογία πρόσβασης WiMAX

Η 802.16a ασύρματη τεχνολογία καθιστά δυνατό στις επιχειρήσεις να αναπτύξουν νέες hotspots σε περιοχές όπου οι παραδοσιακές ενσύρματες συνδέσεις μπορεί να είναι μη διαθέσιμες ή χρονοβόρες στο να αναπτυχθούν και παρέχει στους παροχείς υπηρεσιών όλου του κόσμου έναν νέο ευέλικτο τρόπο για να κεντρίσουν το ενδιαφέρον του οικιακού ευρυζωνικού τμήματος της αγοράς. Με ρυθμό μετάδοσης έως 75Mbps (που διαμοιράζεται στους χρήστες), ένας τομέας ενός 802.16a σταθμού βάσης παρέχει επαρκές εύρος ζώνης ώστε να υποστηρίζει ταυτόχρονα περισσότερες από 60 επιχειρήσεις με T1 επίπεδο σύνδεσης καθώς και εκατοντάδες σπιτιών με DSL ρυθμούς σύνδεσης, χρησιμοποιώντας 20MHz εύρος καναλιού. Για να υποστηρίξουν ένα επικερδές επιχειρησιακό μοντέλο, οι παροχείς χρειάζεται να διατηρήσουν ένα μείγμα από προσοδοφόρους εταιρικούς πελάτες και οικιακούς συνδρομητές υψηλών απαιτήσεων. Το 802.16a πετυχαίνει αυτές τις απαιτήσεις υποστηρίζοντας διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσιών, τα οποία μπορεί να περιέχουν εγγυημένες υπηρεσίες επιπέδου T1 για εταιρικούς πελάτες ή best effort υπηρεσίες ταχύτητας DSL για οικιακούς πελάτες.



Εικόνα 2.8: Δυνατότητες χρήσης WiMAX

Το 802.16a πρότυπο, επίσης, περιλαμβάνει εύρωστα χαρακτηριστικά ασφάλειας και την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που χρειάζεται για να υποστηριχθούν υπηρεσίες που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση, όπως φωνή και βίντεο. Η 802.16 υπηρεσία φωνής μπορεί να χρησιμοποιεί είτε την παραδοσιακή πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM), είτε φωνή πάνω από πρωτόκολλο IP (Voice over IP). [6]

2.5 Το υποπρότυπο IEEE 802.16-2004

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που πραγματοποιούνται πάνω από ασύρματα δίκτυα ολοένα και αυξάνει, η αντίστοιχη ποιότητα υπηρεσιών γίνεται καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Παράλληλα, η πολύοδη διάδοση επιτάσσει τον έλεγχο της

εκπεμπόμενης ισχύος, για περιορισμό των παρεμβολών και μηχανισμούς διατήρησης της σειράς των πακέτων που καταφθάνουν από διαφορετικές οδεύσεις. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16d.

Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.16a,c,d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπροτύπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66GHz, ενώ διασφαλίζει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 63Mbps στην κάτω ζώνη και 28Mbps στην άνω, για κάθε κανάλι εύρους 10MHz.

Το πρότυπο 802.16-2004 σχεδιάστηκε για σταθερή πρόσβαση (fixed). Είναι βασισμένο στην έκδοση του προτύπου IEEE 802.16 και στο ETSI HiperMAN. Αυτό το πρότυπο αναφέρεται επίσης ως "fixed Wireless" επειδή χρησιμοποιεί μια τοποθετημένη κεραία στον τόπο του συνδρομητή. Η κεραία τοποθετείται σε μια στέγη ή έναν ιστό, παρόμοια με ένα δορυφορικό πιάτο τηλεόρασης. Το 802.16-2004 επίσης εξετάζει τις εσωτερικές εγκαταστάσεις (indoor installations) οπότε σ' αυτή την περίπτωση μπορεί να μην είναι τόσο σταθερό όσο στις υπαίθριες εφαρμογές.

Το 802.16-2004 πρότυπο βελτιώνει τη χρήση του WiMAX σε last-mile εφαρμογές σε διάφορες βασικές πτυχές:

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

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

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

	TDD	FDD
Description	A duplexing technique used in license-exempt solutions and which uses a single channel for both the uplink and downlink.	A duplexing technique utilized in licensed solutions that uses a pair of spectrum channels, one for the uplink and another for the downlink.
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> • Enhanced flexibility because a paired spectrum is not required • Easier to pair with smart antenna technologies • Asymmetrical 	<ul style="list-style-type: none"> • Proven technology for voice • Designed for symmetrical traffic • Does not require guard time
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> • Cannot transmit and receive at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • Cannot be deployed where spectrum is unpaired • Spectrum is usually licensed • Higher cost associated with spectrum purchase
Usage	<ul style="list-style-type: none"> • "Bursty", asymmetrical data applications • Environments with varying traffic patterns • Where RF efficiency is more important than cost 	<ul style="list-style-type: none"> • Environments with predictable traffic patterns • Where equipment costs are more important than RF efficiency

Εικόνα 2.9: Σύγκριση TDD και FDD

Το 802.16-2004 χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDM για τη βελτιστοποίηση των ασύρματων υπηρεσιών. Το σήμα OFDM διαιρείται σε 256 φέροντα αντί των 64 που χρησιμοποιεί το πρότυπο 802.11. Ο μεγαλύτερος αριθμός φερόντων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων οδηγεί σε στενότερα υποφέροντα, το οποίο είναι ισοδύναμο με μεγαλύτερες περιόδους συμβόλων. Το ίδιο ποσοστό του χρόνου φύλαξης ή του κυκλικού προθέματος (CP) παρέχει μεγαλύτερες απόλυτες τιμές στη μεγαλύτερη καθυστέρηση διάδοσης και μεγαλύτερη αντοχή στην παρεμβολή πολλαπλών διαδρομών. Το φυσικό στρώμα (PHY) έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να ανέχεται την καθυστέρηση διάδοσης, και συγκεκριμένα ανέχεται μέχρι 10 nsec, 1000 φορές μεγαλύτερη από το πρότυπο 802.11.

Το 802.16-2004 στηρίζεται σε ένα πρωτόκολλο πρόσβασης αιτήματος-χορήγησης που, σε αντίθεση με την διαμαχοπαγή (contention-based) πρόσβαση που χρησιμοποιείται στο 802.11, δεν επιτρέπει τις συγκρούσεις δεδομένων και, επομένως, χρησιμοποιεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης αποτελεσματικότερα. Καμμία σύγκρουση σημαίνει καμμία απώλεια εύρους ζώνης για αναμετάδοση δεδομένων. Όλη η επικοινωνία συντονίζεται από το σταθμό βάσεως. Άλλα χαρακτηριστικά του προτύπου είναι:

➤ **Βελτιωμένη συνδετικότητα των χρηστών:** Το 802.16-2004 κρατά περισσότερους χρήστες συνδεδεμένους λόγω των εύκαμπτων σε πλάτος καναλιών και της προσαρμοστικής διαμόρφωσής (adaptive modulation) τους. Επειδή χρησιμοποιεί στενότερα κανάλια από αυτά των 20MHz που χρησιμοποιεί το 802.11, το 802.16-2004 μπορεί να εξυπηρετήσει τους συνδρομητές με μικρότερες απαιτήσεις σε ρυθμό μετάδοσης χωρίς σπατάλη εύρους ζώνης. Όταν οι συνδρομητές αντιμετωπίζουν θορυβώδεις καταστάσεις ή χαμηλή ισχύ σημάτων, το προσαρμοστικό σχέδιο

διαμόρφωσης τούς κρατά συνδεδεμένους ενώ σε άλλη περίπτωση ίσως είχαμε διακοπή της σύνδεσης.

➤ **Υψηλότερη ποιότητα υπηρεσίας:** Το πρότυπο εξασφαλίζει QoS για τους πελάτες που την απαιτούν και προσαρμόζει τα επίπεδα υπηρεσιών για να καλύψει τις διαφορετικές απαιτήσεις πελατών. Παραδείγματος χάριν, μπορεί να εγγυηθεί υψηλό εύρος ζώνης στους επαγγελματικούς πελάτες ή χαμηλή καθυστέρηση για εφαρμογές φωνής και βίντεο, ενώ παράλληλα παρέχει μόνο υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best-effort) και χαμηλού κόστους στους οικιακούς χρήστες του διαδικτύου.

➤ **Πλήρης υποστήριξη για υπηρεσίες WMAN:** Είναι σε θέση να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις, σε σύγκριση με τις εφαρμογές last-mile που βασίζονται στο πρότυπα 802.11g.

➤ **Robust carrier-class operation:** Το πρότυπο σχεδιάστηκε για carrier-class λειτουργία. Όσο περισσότεροι χρήστες μπαίνουν στο δίκτυο, πρέπει να μοιραστούν το συνολικό εύρος ζώνης και ο ρυθμός μετάδοσης του καθενός μειώνεται κατά γραμμικό τρόπο. Η μείωση, εντούτοις, είναι πολύ λιγότερο δραματική από ό,τι είναι στο 802.11. Αυτή η ικανότητα καλείται αποδοτική πολλαπλή πρόσβαση.

Οι προμηθευτές αναπτύσσουν εσωτερικό και υπαίθριο εξοπλισμό εγκαταστάσεων πελατών (Customer Premises Equipment-CPE) και lap-top PCMCIA κάρτες. Τα αρχικά προφίλ βρίσκονται στις ζώνες των 3.5GHz και των 5.8GHz. Τα πρώτα επικυρωμένα προϊόντα παρουσιάστηκαν εντός του 2005. [7],[8]

	802.16 2004	802.16 e
Coverage	Near LOS Optimized for Outdoor Fixed Wireless access	NLOS Better Indoor & Cellular coverage Better Outdoor FWA performance
CPE	Outdoor CPE mainly Indoor CPE	Outdoor + Indoor CPEs + PCMCIA + embedded chipset
Power save	No	Idle mode
Mobility	No	Up to 120 Km/h
Duplexing mode	Mainly FDD, TDD (More interoperability cases)	TDD
Modulation	OFDM (Bandwidth waste for small packets)	SOFDMA
Scalability	256 FFT	512FFT/3,5MHz ~2048 FFT/20MHz
Smart antenna	Optional in standard Not included in profile	Optional in BS) Mandatory in CPE (minor impacts on CPE)
Frequency reuse	At least 3	3 or 4 (depending on spectrum), 1

Εικόνα 2.10: Σύγκριση των προτύπων 802.16-2004 και 802.16e

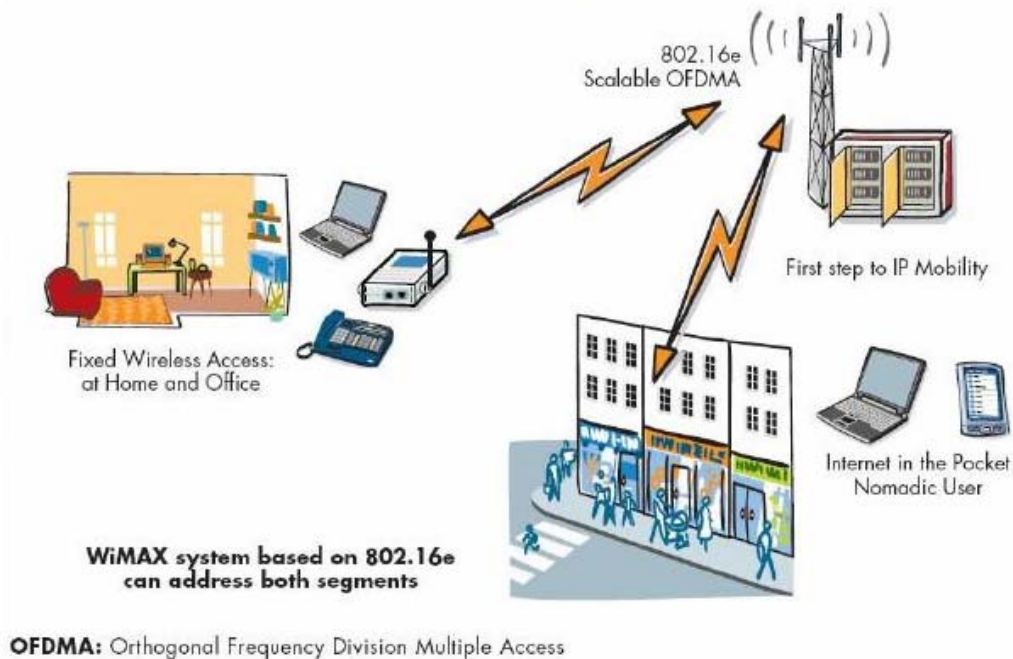
2.6 Το υποπρότυπο IEEE 802.16e

Το Δεκέμβριο του 2005 εκδόθηκε το IEEE 802.16e (ή αλλιώς Mobile WiMAX) που αφορά την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για κινητά συστήματα. Στο υποπρότυπο αυτό καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες που θα πρέπει να ενσωματωθούν στο βασικό πρότυπο 802.16 προκειμένου να υποστηριχθεί η κινητικότητα του χρήστη. Υιοθετείται η χρήση OFDMA για βελτιωμένη απόδοση σε περιβάλλον μη οπτικής επαφής (Non LOS) με πολυδιαδρομική διάδοση, ενώ παρουσιάζεται και η κλιμακωτή OFDMA (SOFDMA – Scalable OFDMA) με στόχο την επιλογή διαφορετικού εύρους ζώνης διαύλου από 1.25 έως 20MHz. Επίσης ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και όταν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120Km/h . Ωστόσο, η παραπάνω τιμή είναι ενδεικτική - πειραματική καθώς μέχρι τη στιγμή αυτή δεν υπάρχει κάποιο διαθέσιμο προϊόν στην αγορά συμβατό με το IEEE 802.16e υποπρότυπο που να πιστοποιεί την προαναφερθείσα τιμή. [7]

Το πρότυπο IEEE 802.16e είναι μια τροποποίηση της βασικής προδιαγραφής 802.16-2004 και στοχεύει στην κινητή αγορά με την προσθήκη της φορητότητας και της δυνατότητας για τους κινητούς πελάτες να συνδέονται άμεσα με το δίκτυο WiMAX. Είναι βελτιστοποιημένη για τα δυναμικά κινητά ραδιοκανάλια και παρέχει υποστήριξη για διαπομπές (handoffs) και περιαγωγή. Η τεχνική Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (SOFDMA), είναι τεχνική διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων που χρησιμοποιεί sub-channelization. Με την SOFDMA ένας μόνο πελάτης ή σταθμός συνδρομητών μπορεί να μεταδώσει χρησιμοποιώντας όλα τα υποκανάλια ή οι πολλαπλοί πελάτες μπορούν να μεταδώσουν με τον κάθε ένα να χρησιμοποιεί ένα μέρος του συνολικού αριθμού υπο-καναλιών ταυτόχρονα. Οι πάροχοι υπηρεσιών που αναπτύσσουν το 802.16e μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο για να παρέχουν σταθερή υπηρεσία. Η πιστοποίηση έχει γίνει μέσα στο 2006 και τα πρώτα επικυρωμένα προϊόντα αναμένεται να είναι διαθέσιμα το πρώτο τρίμηνο του 2007.

Οι δύο εκδόσεις του WiMAX (σταθερό και κινητό) θα συνυπάρξουν και θα καλύψουν την αυξανόμενη ζήτηση για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στις σταθερές και κινητές αγορές. Εκτός από τον προβληματισμό εάν θέλουν να εγκαταστήσουν ένα κινητό ή σταθερό δίκτυο, κατά επιλογή μιας λύσης WiMAX οι πάροχοι πρέπει να αξιολογήσουν πρόσθετους παράγοντες όπως οι αγορές-στόχοι, η διαθεσιμότητα του φάσματος, οποιοδήποτε ρυθμιστικοί περιορισμοί και χρονικοί περιορισμοί της επέκτασης. Τα προϊόντα 802.16-2004 είναι λιγότερο σύνθετα από τα αντίστοιχα 802.16e προϊόντα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύτερο φάσμα των μη αδειοδοτημένων ζωνών και προσφέρουν σε μερικές περιπτώσεις, υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης από τον εξοπλισμό 802.16e. Αφ' ετέρου, καλύτερο περιθώριο συνδέσεων (link margin), υποστήριξη κινητικότητας, βελτιωμένη κάλυψη εσωτερικών χώρων και η εύκαμπτη διαχείριση του φάσματος είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από τα 802.16e προϊόντα.

Οι περισσότεροι πάροχοι θα αναπτύξουν μόνο μια έκδοση WiMAX στα δίκτυά τους. Υπάρχουν όμως διάφορες επιλογές «μετανάστευσης» (migration) διαθέσιμες σε εκείνους τους operators που επιλέγουν να κινηθούν από ένα 802.16-2004 δίκτυο προς ένα 802.16e δίκτυο. Αυτές περιλαμβάνουν τα δίκτυα επικάλυψων (overlay), συσκευές χρηστών διπλής λειτουργίας (dual-mode), σταθμούς βάσεως με λογισμικό που επιδέχεται βελτίωση και σταθμούς βάσεως διπλής λειτουργίας (dual-mode). [9]



Εικόνα 2.11: Τα σενάρια χρήσης του Mobile WiMAX

Μερικά από τα γενικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος Mobile WiMAX είναι:

➤ **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης:** Η χρήση κεραιών MIMO καθώς και ευέλικτων σχημάτων sub-channelization (υποκαναλοποίησης), εξελιγμένης κωδικοποίησης και διαμόρφωσης επιτρέπουν στην τεχνολογία Mobile WiMAX να υποστηρίζει μέγιστους ρυθμούς κάτω ζεύξης έως 63Mbps ανά τομέα και άνω ζεύξης έως 28Mbps ανά τομέα για διάυλο εύρους 10MHz.

➤ **Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS):** Η sub-channelization και τα σχήματα σηματοδοσίας που βασίζονται στο MAC παρέχουν έναν ευέλικτο μηχανισμό για βέλτιστη κατανομή του διατιθέμενου χώρου, χρόνου και φάσματος στη βάση του εκάστοτε πλαισίου για αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών.

➤ **Κλιμάκωση (Scalability):** Το Mobile WiMAX είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε διάφορα εύρη διαύλου (1.25–20MHz) προκειμένου να είναι πάντα σε συμμόρφωση με τις διαφορετικές προδιαγραφές που συναντώνται σε διαφορετικές χώρες του κόσμου.

➤ **Ασφάλεια:** Τα χαρακτηριστικά του Mobile WiMAX που αφορούν τα θέματα της ασφάλειας είναι τα καλύτερα της αγοράς και συμπεριλαμβάνουν:

ι. Πιστοποίηση με βάση το πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol)

ii. Κρυπτογράφηση με χρήση του κώδικα AES-CCM (Advanced Encryption Std–Counter with Cipher-block chaining Message authentication code)

iii. Σχήματα προστασίας μηνυμάτων ελέγχου που βασίζονται στους κώδικες CMAC (Cipher-based Message Authentication Code) και HMAC (Hash Message Authentication Code)

➤ **Κινητικότητα:** Υποστηρίζει βέλτιστα σχήματα διαπομπής με καθυστερήσεις μικρότερες των 50msec για να εξασφαλίσει εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time) όπως VoIP χωρίς μείωση της ποιότητας, ενώ ευέλικτα σχήματα διαχείρισης διασφαλίζουν την ασφάλεια κατά τη διάρκεια της διαπομπής. [1], [10]

2.7 To WiMAX Forum

Το WiMAX Forum είναι μία μη κερδοσκοπική οργάνωση που δημιουργήθηκε από τους κατασκευαστές συστημάτων WiMAX (ολοκληρωμένων ή τμημάτων αυτών) καθώς και από παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών με σκοπό να προάγει και να πιστοποιήσει τη συμβατότητα και τη διαλειτουργικότητα των προϊόντων που προσφέρουν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση και λειτουργούν στη βάση που καθορίζουν τα πρότυπα IEEE 802.16 και ETSI HiperMAN για τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WirelessMAN).

Με έτος έναρξης των λειτουργιών το 2003 και με ιδρυτικά μέλη τις Intel, Alvarion, ATT, Array Com, Nortel, Motorola, Samsung κ.α. σήμερα αριθμεί πάνω από 400 μέλη στη λίστα των οποίων περιλαμβάνονται τα κορυφαία ονόματα στο χώρο των κατασκευαστών-τηλεπικοινωνιών-παρόχων δικτύων όπως Nokia, Vodafone, BellSouth, Cisco Systems, Verizon, China Telecom και πολλοί άλλοι.



Εικόνα 2.12: Το λογότυπο του WiMAX Forum

2.7.1 Στόχος του WiMAX Forum

Στόχος του Forum είναι η επιτάχυνση της εισαγωγής στην αγορά των μητροπολιτικών ευρυζωνικών εφαρμογών για σταθερά, φορητά και κινητά συστήματα. Ο μόνος τρόπος που μπορεί να επιτευχθεί αυτό είναι με τη διεξαγωγή ελέγχων που γίνονται σε ανεξάρτητα εργαστήρια (το εργαστήριο Cetecom στην Ισπανία ήταν το πρώτο που πραγματοποίησε ελέγχους σε εξοπλισμό WiMAX ενώ πρόσφατα το εργαστήριο Telecommunications Technology Association (TTA) στην Κορέα λειτουργεί ως δεύτερο εργαστήριο πιστοποίησης) και την πιστοποίηση από το Forum ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν με βάση τα πρότυπα και ότι είναι εγγυημένη η διαλειτουργικότητα μεταξύ τους.

2.7.2 WiMAX Forum Certified™

Το πρόγραμμα πιστοποίησης WiMAX Forum Certified™ ξεκίνησε στα μέσα του 2005 και εξασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των κατασκευαστών, ενώ τα πρώτα πιστοποιημένα προϊόντα ανακοινώθηκαν τον Ιανουάριο του 2006 και βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802.16-2004 για σταθερά συστήματα WiMAX. Τα πρώτα προϊόντα κινητών συστημάτων WiMAX (πρότυπο IEEE 802.16e) αναμένεται να πιστοποιηθούν μέσα στο 2007. [11]

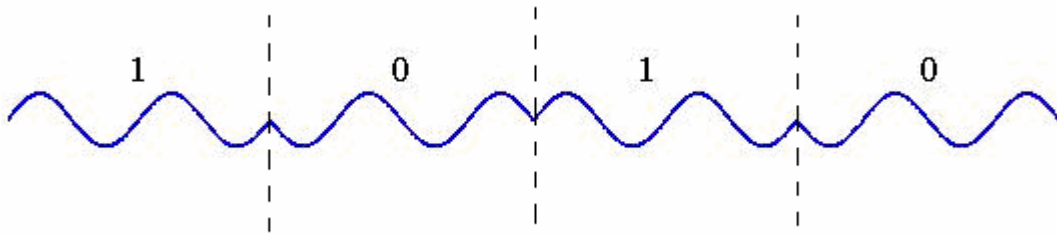
3

Χαρακτηριστικά - καινοτομίες της τεχνολογίας WiMAX

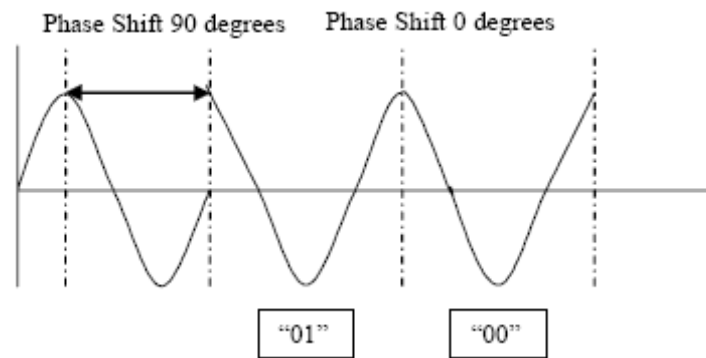
3.1 Προσαρμοστική Διαμόρφωση

Στο WiMAX, όπως και σε κάθε σύστημα επικοινωνίας, χρησιμοποιείται διαμόρφωση για τα σήματα πληροφορίας. Η διαμόρφωση είναι η διαδικασία μέσω της οποίας ένα «φέρον» κύμα τροποποιείται ώστε να μεταφέρει το σήμα πληροφορίας. Για ψηφιακά σήματα επικοινωνίας, υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι διαμόρφωσης, οι ASK, FSK και PSK, από τις οποίες προκύπτουν και όλες οι υπόλοιπες. Στο WiMAX χρησιμοποιείται κατά πρώτον η PSK (Phase Shift Keying) και συγκεκριμένα η BPSK και η QPSK παραλλαγή της. Κατά την BPSK (Binary PSK) μεταβάλλουμε τη φάση του φέροντος σήματος, είτε σε 0° είτε σε 180° , ανάλογα με το αν το bit που θέλουμε να στείλουμε κάθε φορά είναι 0 ή 1 αντίστοιχα. Κατά την QPSK (Quadrature PSK) προστίθενται δύο επιπλέον φάσεις, οι 90° και 270° . Έτσι, τώρα, έχουμε τέσσερις διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος σήματος, πράγμα το οποίο μάς βολεύει στο να κωδικοποιήσουμε 2 bits πληροφορίας σε κάθε «εμφάνιση», δηλαδή σε κάθε διαφορετική φάση ($4=2^2$). Δηλαδή, αν η φάση του φέροντος είναι 0° , σημαίνει ότι έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 00. Αν η φάση είναι 90° , έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 01.

Αν η φάση είναι 180° έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 11. Και, τέλος, αν η φάση είναι 270° , έχουν κωδικοποιηθεί τα bits 10. Τα παραπάνω φαίνονται παραστατικά στις εικόνες που ακολουθούν:



Εικόνα 3.1: Binary Phase Shift Keying (BPSK)



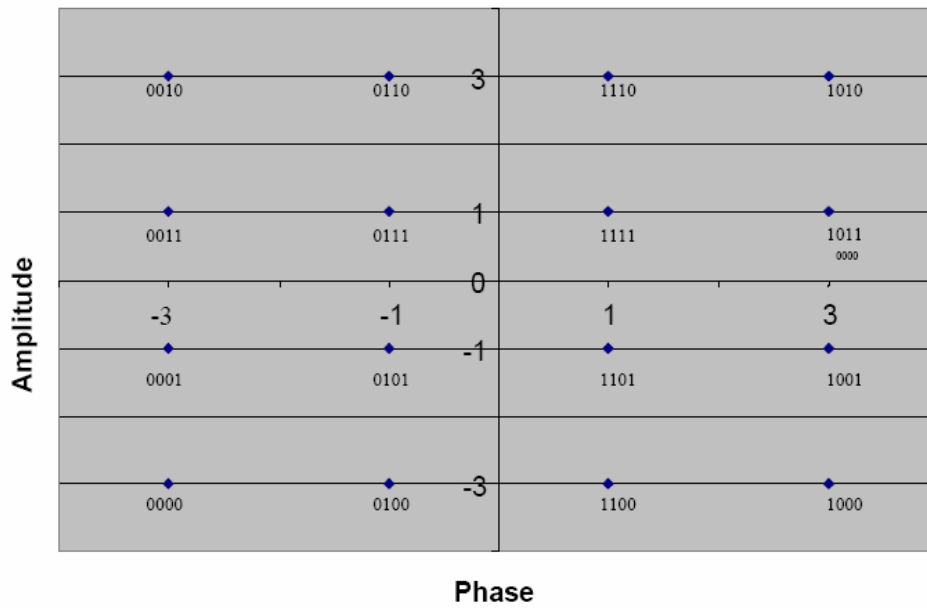
(ΠΗΓΗ [1])

Εικόνα 3.2: Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Η επόμενη διαμόρφωση που χρησιμοποιούμε στο WiMAX είναι η QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Αυτή η διαμόρφωση προέρχεται από το συνδυασμό της ASK και της PSK. Σημειώνουμε εδώ ότι η ASK (Amplitude Shift Keying) περιλαμβάνει μεταβολή του πλάτους (ή αλλιώς της ισχύος) του φέροντος σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας. Συγκεκριμένα το μικρό πλάτος αντιστοιχεί στο 0 και το μεγάλο πλάτος στο 1.

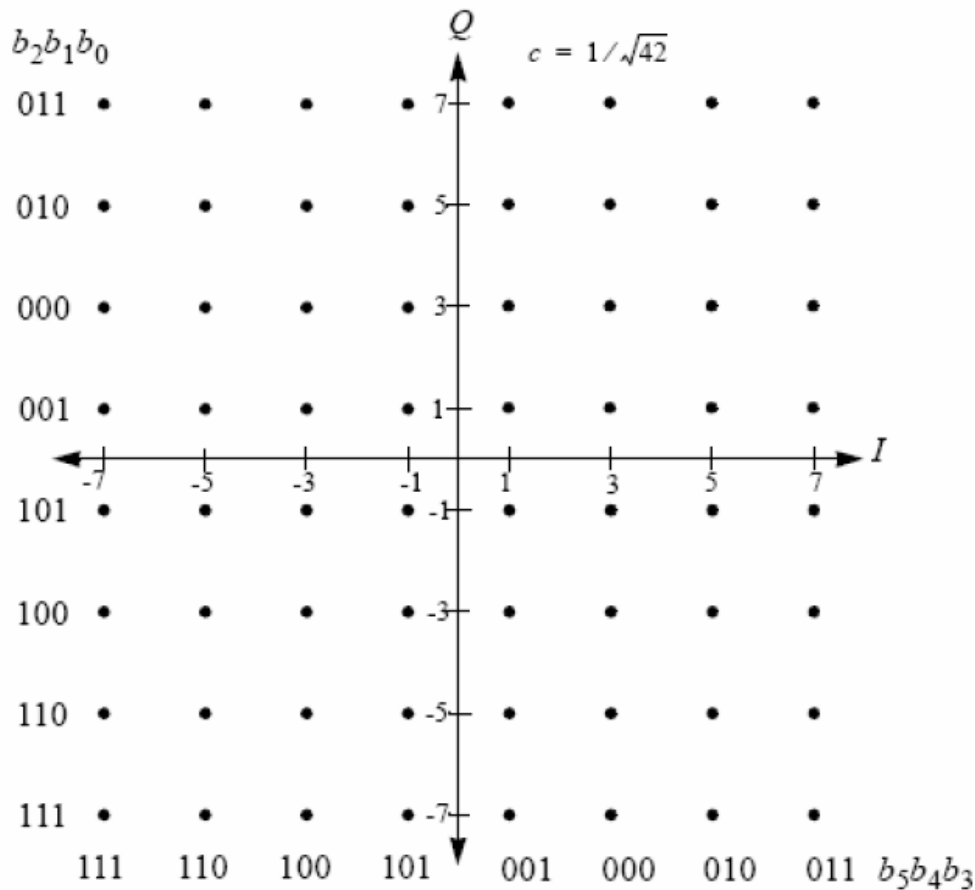
Στην QAM μεταβάλλεται τόσο το πλάτος όσο και η φάση του φέροντος. Ανάλογα με το πόσες διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος έχουμε, χαρακτηρίζεται και η διαμόρφωση (M-QAM). Το M μπορεί να πάρει τιμές 16, 32, 64, κλπ. Στο WiMAX χρησιμοποιούμε την 16-QAM και την 64-QAM. Στην 16-QAM υπάρχουν 16 διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος που διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά στη

φάση και στο πλάτος (4 διαφορετικές φάσεις x 4 διαφορετικά πλάτη = 16 «εμφανίσεις»). Επομένως μπορούμε να αναπαραστήσουμε ταυτόχρονα 4 bits πληροφορίας ($16=2^4$) σε κάθε «εμφάνιση» του φέροντος. Οι «εμφανίσεις» αυτές και οι αντίστοιχες κωδικοποιήσεις των bits φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα, που ονομάζεται «διάγραμμα αστερισμού».



Εικόνα 3.3: Διάγραμμα αστερισμού για 16-QAM

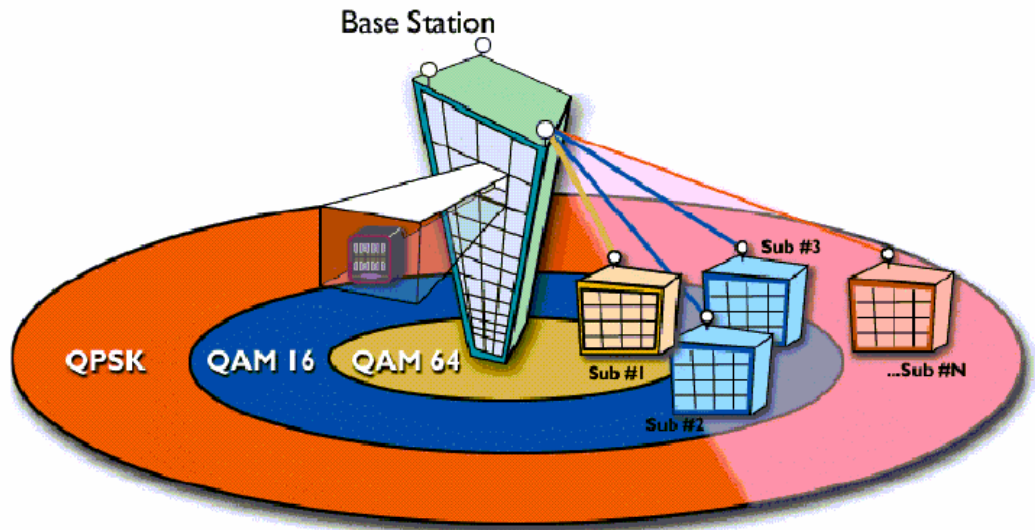
Τα αντίστοιχα ισχύουν και για την 64-QAM. Συγκεκριμένα, κωδικοποιούνται 6 bits ταυτόχρονα σε κάθε σύμβολο (αφού υπάρχουν $64=2^6$ «εμφανίσεις» του φέροντος). Το διάγραμμα αστερισμού φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 3.4: Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM.

Όπως είδαμε από την προηγούμενη περιγραφή, σε κάθε σχήμα διαμόρφωσης στο κάθε σύμβολο κωδικοποιείται διαφορετικός αριθμός από bits (1,2,4,6). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των bits/symbol, τόσο υψηλότερη είναι προφανώς και η ρυθμοαπόδοση (throughput), αλλά και η απόδοση φάσματος που πετυχαίνεται στο κανάλι. Όμως, όσο περισσότερες διαφορετικές «εμφανίσεις» του φέροντος έχουμε, τόσο δυσκολότερο είναι ο δέκτης να αποφασίσει για ποια συγκεκριμένη «εμφάνιση» πρόκειται. Αυτό συμβαίνει γιατί η διαφορά μεταξύ των «εμφανίσεων» είναι μικρή και δεδομένων των παρεμβολών και των μη ιδανικών συνθηκών διάδοσης, υπάρχει περίπτωση ο δέκτης να λάβει διαφορετική από την πεμφθείσα «εμφάνιση» του φέροντος. Αυτή η πιθανότητα λάνθασμένης λήψης μπορεί να μειωθεί αν οι συνθήκες διάδοσης στο κανάλι προσεγγίζουν περισσότερο τις ιδανικές, δηλαδή αν αυξηθεί ο σηματοθορυβικός λόγος (SNR) στο δέκτη. Οπότε συμφέρει να χρησιμοποιούμε διαφορετική διαμόρφωση ανάλογα με το σηματοθορυβικό λόγο στο δέκτη. Αυτό ακριβώς καλείται Προσαρμοστική Διαμόρφωση (Adaptive Modulation). Με άλλα

λόγια, με αύξοντα σηματοθορυβικό λόγο χρησιμοποιούμε κατά σειρά τις εξής διαμορφώσεις: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM. Ένα παράδειγμα προσαρμοστικής διαμόρφωσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.5: Προσαρμοστική διαμόρφωση

Όσο αυξάνεται η απόσταση από το σταθμό βάσης μεταβαίνουμε σε χαμηλότερες διαμορφώσεις (BPSK) – αφού ο SNR στο δέκτη είναι χαμηλός και η BPSK έχει χαμηλότερες απαιτήσεις σε SNR – ενώ όσο πλησιάζουμε στο σταθμό βάσης τόσο υψηλότερες τεχνικές διαμόρφωσης χρησιμοποιούμε (QAM) – αφού ο SNR στο δέκτη είναι υψηλός και η QAM έχει υψηλότερες απαιτήσεις σε SNR. Έτσι, στις μακρύτερες αποστάσεις πετυχαίνουμε ικανοποιητική λήψη του σήματος, ενώ στις κοντινότερες αποστάσεις πετυχαίνουμε αύξηση της ρυθμοαπόδοσης και της χρησιμοποίησης φάσματος.

Τέλος, θα αναφερθούμε στο ρυθμό κωδικοποίησης. Κάθε διαμόρφωση χωρίζεται σε υποδιαμορφώσεις που διαφέρουν ως προς το ρυθμό κωδικοποίησης. Για παράδειγμα, έχουμε την QPSK 3/4 και την QPSK 1/2. Τα κλάσματα υποδηλώνουν το ποσοστό των bits χρήσιμης πληροφορίας που υπάρχουν στο εκπεμπόμενο σήμα. Τα υπόλοιπα bits χρησιμοποιούνται για διόρθωση λαθών. [1]

3.2 OFDM

3.2.1 Εισαγωγή – Ιστορία του OFDM

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας θα δώσουμε βάση στη διαμόρφωση ή καλύτερα, την πολυπλεξία που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο 802.16™, το OFDM (orthogonal frequency division multiplexing). Από τα ωραία παράδοξα της επιστήμης, και γενικότερα, είναι ότι η ιστορία επαναλαμβάνεται και αυτό δεν αποκλείει την ιστορία της υιοθέτησης προτύπων στις τηλεπικοινωνίες και φυσικά, των σχημάτων διαμόρφωσης που θα ακολουθηθούν αντίστοιχα. Μια μικρή ιστορική αναδρομή κατά την εξέλιξη της τεχνολογίας θα δείξει αυτό το παράδοξο. [2]

Στις συζητήσεις για τα συστήματα 2G στη δεκαετία του 1980, 2 υποψήφιες τεχνικές υπήρχαν, η TDMA (time division multiple access) και η καινοτόμα CDMA (code division multiple access). Τελικά, μετά από συζητήσεις υιοθετήθηκε το σχήμα της TDMA τεχνικής ως πιο δοκιμασμένης.

Το έργο αυτό επαναλήφθηκε στη δεκαετία του 1990 κατά τις συζητήσεις για την υιοθέτηση κάποιας τεχνικής για τα 3G τεχνολογικά συστήματα. Εκεί υπήρχαν επίσης 2 τεχνολογικοί υποψήφιοι, το δοκιμασμένο πλέον CDMA και η καινούρια τεχνική διαμόρφωσης και πολυπλεξίας, OFDM. Η τελευταία, αν και ήταν καινοτόμα και πολλά υποσχόμενη, δεν υιοθετήθηκε τελικά, καθώς μάλλον ήταν η σειρά του CDMA.

Μια δεκαετία αργότερα, όμως, όταν τα πρώτα ασύρματα δίκτυα έγιναν οι αδιαφιλονίκητοι πρωτοπόροι της επικοινωνίας και η ανάγκη για δημιουργία 4G συστημάτων ήταν επιτακτική, η ιστορία επαναλήφθηκε για άλλη μια φορά και το ώριμο πλέον πρωτόκολλο OFDM επικράτησε του νέου συστήματος MIMO-SCM (multiple input multiple output-single carrier modulation) και υιοθετήθηκε αυτό σαν η βάση των πρωτοκόλλων της IEEE 802.11™ και 802.16™.

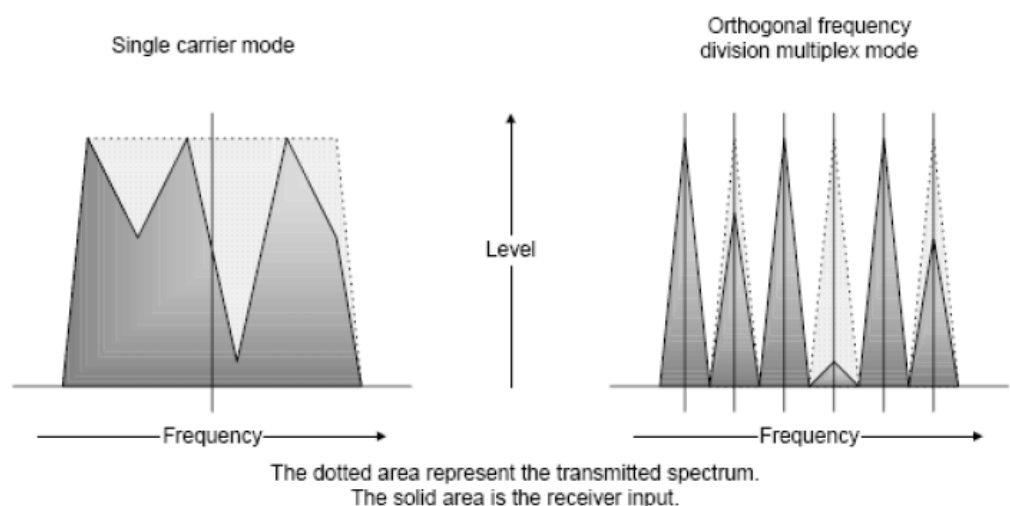
3.2.2 Ανάλυση του OFDM

Η διαμόρφωση OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) προέκυψε από την ανάγκη αποτελεσματικής αντιμετώπισης του προβλήματος διάδοσης μέσα από κανάλια επιλεκτικής εξασθένησης ως προς τη συχνότητα. Σε αντίθεση με το κανάλι επίπεδης εξασθένησης (flat fading), ένα κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης (frequency-selective fading) είναι εκείνο που επηρεάζει διαφορετικά την κάθε συχνότητα του εύρους του σήματος που μεταφέρει. Αποτέλεσμα αυτού είναι η φασματική αλλοίωση

του ψηφιακά διαμορφωμένου σήματος καθώς διέρχεται από κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης, γεγονός που οδηγεί στο φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, υπάρχουν δύο λύσεις. Η πρώτη, έγκειται στη χρησιμοποίηση ενός σύνθετου κυκλώματος εξισωτή, που έχει ως στόχο τη μετατροπή του καναλιού σε επίπεδης εξασθένησης στη ζώνη συχνοτήτων που μας ενδιαφέρει. Όμως, κάτι τέτοιο είναι αρκετά ακριβό και πολύπλοκο στην κατασκευή του, ακριβώς προσαρμοσμένο στο συγκεκριμένο κανάλι και στη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων για την οποία έχει κατασκευαστεί. Είναι επόμενο, ότι μια τέτοια λύση, στερείται ευελιξίας και καθολικότητας.

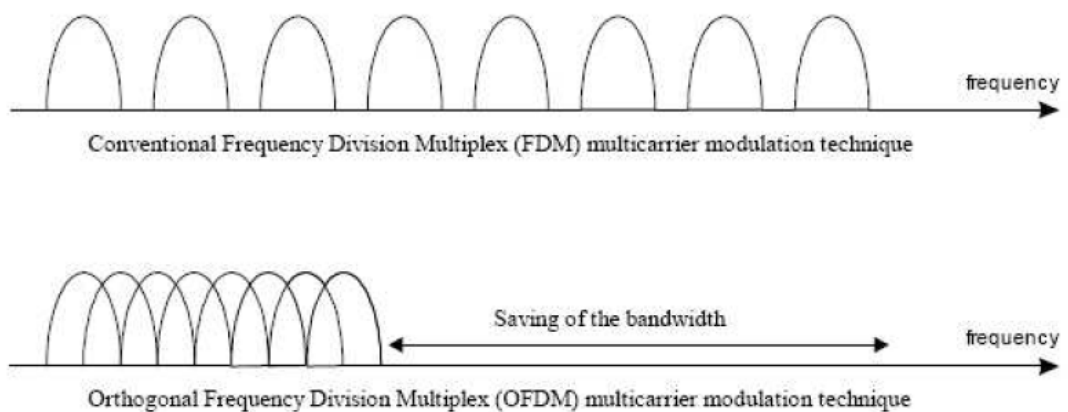
Η δεύτερη λύση είναι να χρησιμοποιηθεί μεγάλη διάρκεια συμβόλου, ώστε να γίνει αμελητέο το ποσοστό της διασυμβολικής παρεμβολής. Μεγάλη διάρκεια συμβόλου, δηλαδή διεύρυνση στο πεδίο του χρόνου, οδηγεί σε σύμπτυξη του φάσματος στο πεδίο της συχνότητας, δηλαδή, στην εκπομπή ενός σήματος στενής ζώνης, τόσο στενής ώστε η συμπεριφορά του καναλιού δεν προλαβαίνει να αλλάξει. Με αυτή τη νέα θεώρηση εκπομπής σημάτων στενής ζώνης, το διαθέσιμο φάσμα μπορεί να χωριστεί σε πολλά υποκανάλια στα οποία αντιστοιχεί διαφορετική φέρουσα συχνότητα και τα οποία μεταφέρουν ταυτόχρονα ξεχωριστά σήματα πληροφορίας. Μεταφέρουν δηλαδή πολυπλεγμένα σήματα στο πεδίο της συχνότητας. Αυτή ακριβώς είναι η βασική ιδέα Πολύπλεξης Διάρθρωσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing, FDM).



Εικόνα 3.6: Σήματα που λαμβάνει ο δέκτης από κανάλι επιλεκτικής εξασθένησης ως προς τη συχνότητα, στις περιπτώσεις μετάδοσης μονού φέροντος και πολλαπλών φερόντων.

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, όταν μεταδίδεται ένα μόνο φέρον ευρείας ζώνης, η επιλεκτική εξασθένηση ως προς τη συχνότητα το μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό κι έτσι ο δέκτης δεν μπορεί να το αποδιαμορφώσει σωστά. Στην περίπτωση όμως που έχουμε διαίρεση του συνολικού φάσματος σε στενότερα υπο-φέροντα σήματα, η ίδια επιλεκτική εξασθένηση ως προς τη συχνότητα μεταβάλλει πολύ λιγότερο κάθε υπο-φέρον, με αποτέλεσμα ο δέκτης να μπορεί πολύ ευκολότερα να αποδιαμορφώσει τα σήματα.

Στην κλασική FDM τα γειτονικά υπο-φέροντα πρέπει να έχουν μεταξύ τους μία ζώνη φύλαξης, ώστε να αποφεύγεται η διασυμβολική παρεμβολή. Στην OFDM όμως αυτό δε χρειάζεται, γιατί τα υπο-φέροντα είναι μεταξύ τους ορθογώνια και έτσι δεν κινδυνεύει η φασματική ακεραιότητα κανενός εκ των δύο σημάτων, με αποτέλεσμα να μπορούν να επικαλύπτονται. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται οικονομία εύρους ζώνης το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σταλούν περισσότερα υπο-φέροντα. Αυτό φαίνεται παραστατικά στην παρακάτω εικόνα.



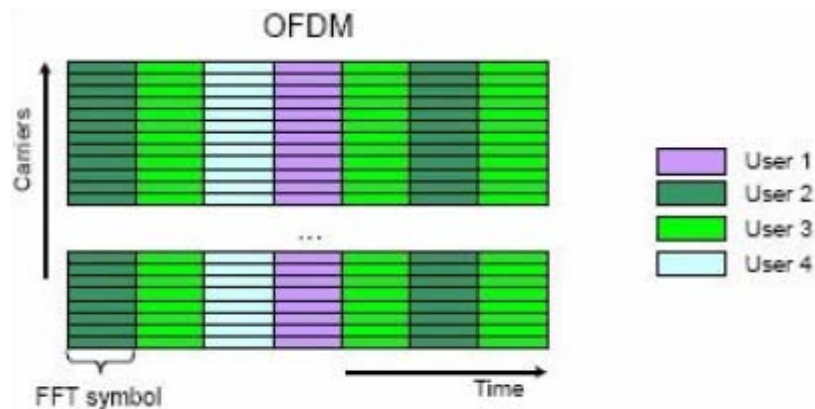
Εικόνα 3.7: Σύγκριση του διατιθέμενου εύρους ζώνης στις δύο πολυπλεξίες FDM και OFDM.

Η απαίτηση για ορθογωνιότητα εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση

$$\int_a^b \Psi_p(t) \Psi_q^*(t) dt = \begin{cases} K & \text{για } p = q \\ 0 & \text{για } p \neq q \end{cases}$$

όπου το Ψ αναφέρεται σε ένα σύνολο από σήματα, και το Ψ_p αναφέρεται στο p -οστό στοιχείο του συνόλου.

Πού έγκειται όμως η έννοια «πολυπλεξία» στην OFDM; Στην κλασσική FDM πολυπλέκονται μεμονωμένα σήματα που παράγονται από διαφορετικές πηγές και δημιουργούν ένα συνολικό σήμα που εκπέμπεται στο κανάλι. Στην OFDM, αντίθετα, αυτά τα μεμονωμένα σήματα είναι υποσύνολο του κυρίως σήματος που παράγεται από μία πηγή. Δηλαδή το ίδιο το αρχικό σήμα χωρίζεται σε ανεξάρτητα κανάλια, διαμορφώνει τα υπο-φέροντα τα οποία και πολυπλέκονται για να δημιουργήσουν το φέρον της OFDM. Για να επικοινωνήσουν όμως περισσότεροι από ένας χρήστες με το σταθμό βάσης, ο χρόνος διαιρείται σε χρονοσχιμές και κάθε μία εκχωρείται σε διαφορετικό χρήστη, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Πρέπει, όμως, να πούμε ότι το ποσοστό χρονοσχιμών που εκχωρείται σε κάθε χρήστη ποικίλλει ανάλογα με την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που έχει συμφωνήσει η εταιρεία να του παρέχει.

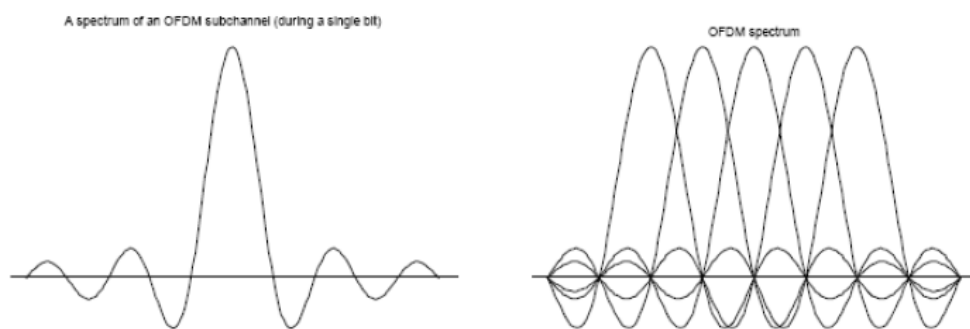


Εικόνα 3.8: Εξυπηρέτηση πολλών χρηστών με OFDM.

Ένας από τους κύριους λόγους που το OFDM είναι χρήσιμο είναι γιατί επηρεάζει την αντοχή απέναντι στην επιλεκτική εξασθένιση ως προς τη συχνότητα και την παρεμβολή στενής ζώνης. Σε ένα σύστημα με ένα φέρον μία μόνο διάλειψη μπορεί να προκαλέσει την ολική κατάρρευση της ζεύξης, αλλά σε ένα σύστημα με πολλά υπο-

φέροντα, μόνο ένα μικρό ποσοστό των υπο-φερόντων θα επηρεαστεί. Τότε μπορεί να εφαρμοστεί η κωδικοποίηση διόρθωσης λαθών για να διορθώσει τα λίγα λανθασμένα υπο-φέροντα. [3], [4], [5]

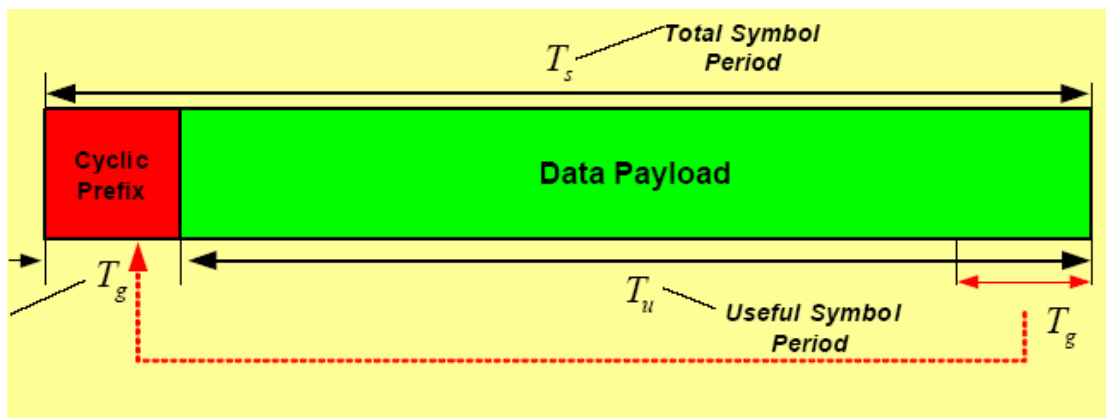
Για τη δημιουργία του OFDM σήματος χρησιμοποιείται ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier (Fast Fourier Transform - FFT). Συγκεκριμένα, τα εισερχόμενα σειριακά δεδομένα πρώτα μετατρέπονται από σειριακά σε παράλληλα και ομαδοποιούνται σε x bits. Κάθε ομάδα από τα x bits δημιουργεί ένα μιγαδικό αριθμό $d_n = a_n + jb_n$. ($a_n, b_n = \pm 1$ για QPSK, $a_n, b_n = \pm 1, \pm 3$ για 16QAM, κ.ο.κ.). Ο αριθμός x καθορίζει το σηματικό αστερισμό του αντίστοιχου υπο-φέροντος, όπως η QPSK ή η 16-QAM. Οι μιγαδικοί αριθμοί διαμορφώνονται στη βασική ζώνη από τον αντίστροφο ταχύ M/Σ Fourier (IFFT) και ξαναμετατρέπονται σε σειριακά δεδομένα για εκπομπή. Ένα διάστημα φύλαξης (κυκλικό πρόθεμα), όπως θα δούμε και παρακάτω, εισάγεται ανάμεσα στα σύμβολα για την αποφυγή διασυμβολικής παρεμβολής που προκαλείται από παραμόρφωση λόγω πολυδιάδευσης. Τα διακριτά σύμβολα μετατρέπονται σε αναλογικά και φιλτράρονται με βαθυπερατά φίλτρα για RF μετατροπή στο uplink. Ο δέκτης εφαρμόζει την αντίστροφη διαδικασία από ό,τι ο πομπός. Ένας one-tap εξισωτής χρησιμοποιείται για να διορθώσει την παραμόρφωση του καναλιού. Οι συντελεστές tap του φίλτρου υπολογίζονται βασισμένοι στην πληροφορία του καναλιού.



Εικόνα 3.9: Παράδειγμα OFDM φάσματος. (α) ένα υπο-φέρον, (β) πέντε υπο-φέροντα

Η αριστερή εικόνα δείχνει το φάσμα ενός υπο-φέροντος OFDM και η δεξιά εικόνα δείχνει το σύνθετο φάσμα του OFDM (φαίνονται 5 υπο-φέροντα). Με την προσεκτική επιλογή του διαστήματος μεταξύ των υπο-φερόντων, το φάσμα του OFDM σήματος μπορεί να γίνει επίπεδο και η ορθογωνιότητα μεταξύ των υπο-φερόντων μπορεί να εγγυηθεί. Δηλ. στην κεντρική συχνότητα κάθε υπο-φέροντος, όλα τα άλλα υπο-φέροντα, έχουν μηδενικό πλάτος. [6]

Όπως είπαμε και προηγουμένως, στο πεδίο του χρόνου, η κυματομορφή OFDM προκύπτει από τον Αντίστροφο Ταχύ Μετασχηματισμό Fourier. Η διάρκειά της αντιστοιχεί στο χρόνο T_u , που είναι ο χρόνος μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου. Τα τελευταία T_g μs , ονομάζονται κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix, CP) και αντίγραφο τους τοποθετείται στην αρχή του συμβόλου. Αυτό συμβαίνει για να σχηματιστεί μια αρχική περίοδος μη ωφέλιμης πληροφορίας στην αρχή της χρονοθυρίδας, η οποία θα συγκεντρώνει τα διάφορα αντίγραφα προηγούμενων συμβόλων που, λόγω της πολυόδης διάδοσης, έχουν εισχωρήσει στη χρονοθυρίδα του επόμενου συμβόλου. Παράλληλα, συντελεί στην εξασφάλιση της ορθογωνιότητας των καναλιών. Το άθροισμα των δύο περιόδων T_g+T_u αποτελεί την περίοδο T_s που αντιστοιχεί στη διάρκεια του συμβόλου.



Πηγή: [7]

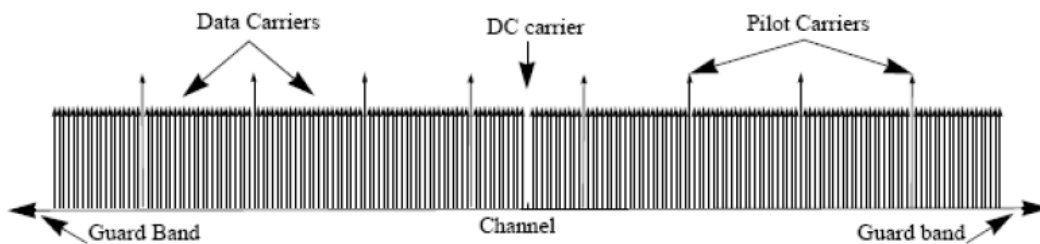
Εικόνα 3.10: Δομή πλαισίου OFDM με κυκλικό πρόθεμα

Μελετώντας το πεδίο της συχνότητας, προκύπτει ένα σύνολο από φέροντα κύματα, το πλήθος των οποίων αντιστοιχεί στο πλήθος των δειγμάτων Γρήγορου

Μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Τα φέροντα κύματα που συναντώνται μπορεί να είναι:

- Φέροντα δεδομένων: Διαμορφώνουν τη ροή δεδομένων.
- Πιλοτικά φέροντα: Μεταφέρουν πληροφορίες άσχετες με τη ροή της καθαρής πληροφορίας. Αυτό περιλαμβάνει τις ροές δεδομένων διαχείρισης και άλλες πληροφορίες.
- Κενά φέροντα: Δεν επιτελούν κανενός είδους μετάδοση, είναι τα φέροντα που εκπέμπονται κατά τα κενά διαστήματα φύλαξης (guard band) ή κατά τη μεταφορά του φέροντος DC. Τα κενά διαστήματα φύλαξης είναι απαραίτητα για την αποφυγή της παρεμβολής μεταξύ γειτονικών φερόντων (Inter-Carrier-Interference, ICI).



Εικόνα 3.11: Φασματική περιγραφή OFDM

Μπορούμε να γράψουμε τον FFT σε ημίτονα ως:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)$$

Εδώ, το $x(n)$ είναι οι συντελεστές των ημιτόνων και συνημιτόνων της συχνότητας $2\pi k/N$, όπου k είναι ο δείκτης των συχνοτήτων από τις N συχνότητες και n είναι ο δείκτης του χρόνου, $x(k)$ είναι η τιμή του φάσματος για την k -οστή συχνότητα και $x(n)$ είναι η τιμή του σήματος τη χρονική στιγμή n .

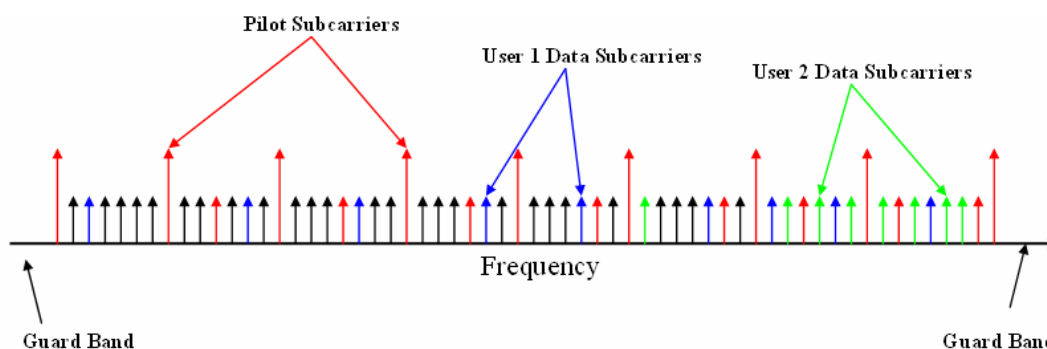
Ο αντίστροφος Μ/Σ FFT παίρνει το φάσμα και το μετατρέπει πίσω στο πεδίο του χρόνου με διαδοχικούς πολλαπλασιασμούς με ένα εύρος ημιτόνων.

Η εξίσωση για τον IFFT είναι:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)$$

3.3 OFDMA – SOFDMA

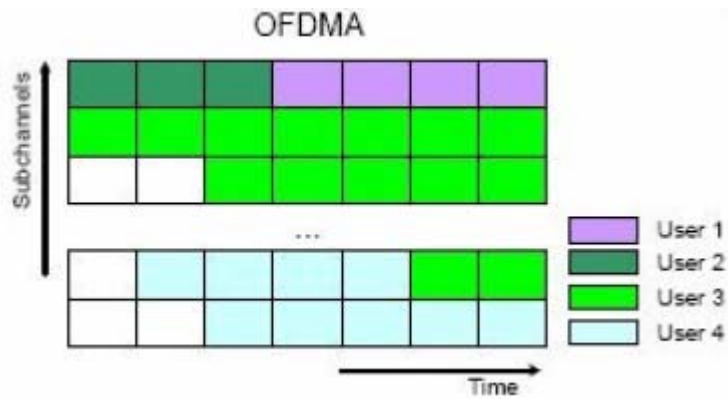
Η Πολλαπλή Πρόσβαση Ορθογωνικής Διαίρεσης Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - OFDMA) είναι παρόμοια με την OFDM. Η διαφορά τους είναι ότι τα υπο-φέροντα χωρίζονται σε ομάδες ίδιου αριθμού υπο-φερόντων. Η κάθε ομάδα εκχωρείται σε ένα χρήστη. Σε κάθε χρήστη όμως μπορεί να ανατεθεί περισσότερες από μία ομάδες υπο-φερόντων. Πρέπει να τονίσουμε ότι τα υπο-φέροντα που αντιστοιχούν σε κάποιον χρήστη δεν είναι αναγκαστικά γειτονικά μεταξύ τους, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



(Πηγή: [11])

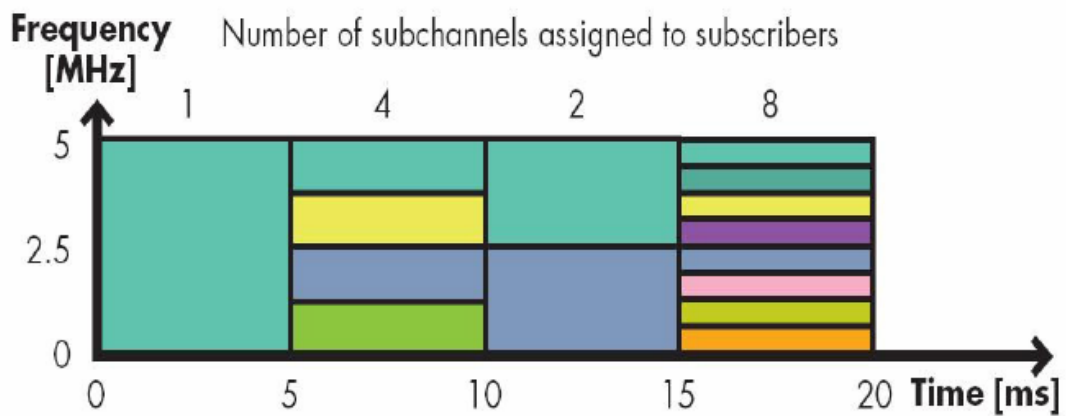
Εικόνα 3.12: OFDMA

Έτσι, λοιπόν, σε κάθε χρονοσχιμή μεταδίδουν πολλοί χρήστες (όχι όλοι όσοι είναι εγγεγραμμένοι στο σύστημα). Στην επόμενη χρονοσχιμή αλλάζει ο αριθμός των χρηστών και/ή ο αριθμός των υποφερόντων που εκχωρούνται στον καθένα:



Εικόνα 3.13: Εξυπηρέτηση πολλών χρηστών με OFDMA

Μία εξέλιξη της OFDMA είναι η κλιμακωτή OFDMA (Scalable OFDMA - SOFDMA). Εδώ, η διαφορά είναι ότι σε κάθε χρονοσχισμή αλλάζει το μέγεθος των ομάδων υποφερόντων, άρα και ο αριθμός τους (δεδομένου του σταθερού συνολικού αριθμού υπο-φερόντων). Αυτό φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.14: Scalable OFDMA

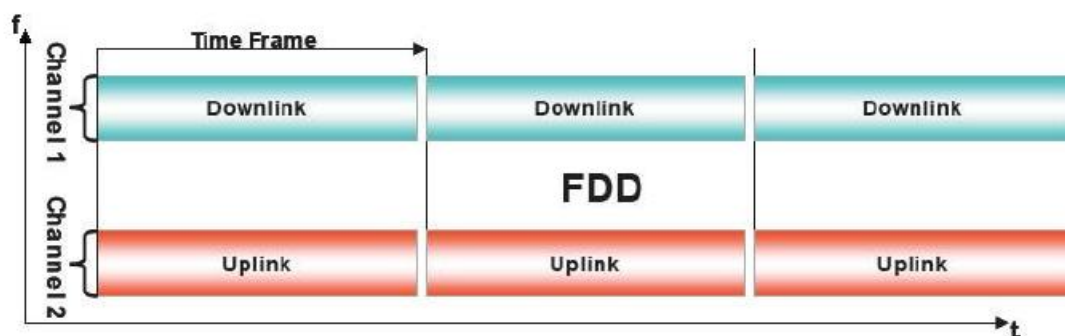
3.4 FDD-TDD

3.4.1 Γενικά

Στο WiMAX, όπως και στα περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, έχουμε σταθμούς βάσης και σταθμούς συνδρομητών που εναλλάσσουν τους ρόλους του πομπού και του δέκτη κατά την επικοινωνία. Όταν εκπέμπει ο σταθμός βάσης και λαμβάνει ο σταθμός συνδρομητή τότε μιλάμε για downlink μετάδοση (κατερχόμενη ροή), ενώ στην αντίθετη περίπτωση αναφερόμαστε στην uplink μετάδοση (ανερχόμενη ροή). Με κάποιον τρόπο όμως πρέπει να ρυθμίζεται η μετάδοση των πληροφοριών μεταξύ των δύο σταθμών. Έχουμε για αυτό το σκοπό, δύο είδη τεχνικών αμφίδρομης εκπομπής, την FDD (Frequency Division Duplex), που είναι τεχνική διαχωρισμού στη συχνότητα και την TDD (Time Division Duplex), που είναι τεχνική διαχωρισμού στο χρόνο.

3.4.2 FDD

Στην FDD λειτουργία, τα uplink και downlink κανάλια βρίσκονται σε διαφορετικές συχνότητες. Οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν στην downlink συχνότητα φέροντος ενώ οι συνδρομητικοί σταθμοί μεταδίδουν στην uplink συχνότητα φέροντος. Στα συστήματα FDD, οι δομές των πλαισίων ανοδικής και κατερχόμενης ροής είναι όμοιες εκτός από το ότι κάθε ροή εκπέμπεται σε διαφορετικά κανάλια. Η τεχνική FDD φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



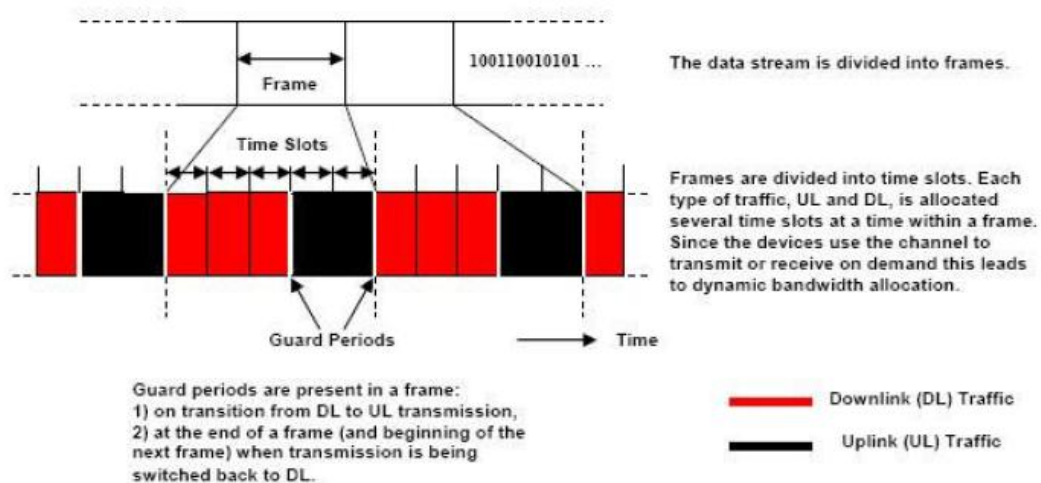
Εικόνα 3.15: Η τεχνική FDD

Όπως βλέπουμε και στην παραπάνω εικόνα, μεταξύ της υπο-ζώνης κατερχόμενης και ανερχόμενης ροής πρέπει να παρεμβάλλεται ένα συχνοτικό διάστημα, προς αποφυγή πιθανών παρεμβολών μεταξύ των δύο ροών. Το συχνοτικό αυτό διάστημα φύλαξης κυμαίνεται από 50 έως 100 MHz. [8]

3.4.3 TDD

Η τεχνική TDD είναι νεώτερη από την FDD και χρησιμοποιεί έναν μόνο δίαυλο, τον οποίο διαμοιράζει στο πεδίο του χρόνου, χρησιμοποιώντας κάποιες χρονοσχισμές για τη μία κατεύθυνση μετάδοσης και τις υπόλοιπες για την άλλη. Για να μη συμβεί σύγκρουση δεδομένων διαφορετικών κατευθύνσεων μεσολαβεί ένας χρονικός διαχωρισμός ασφαλείας, το Transmit Transition Gap (TTG). Αυτό το κενό παρέχει χρόνο στο σταθμό βάσης ώστε να μεταπέσει από τη διαμόρφωση πομπού στην αντίστοιχη του δέκτη και στους συνδρομητικούς σταθμούς να μεταπέσουν από τη διαμόρφωση του δέκτη σε αυτή του πομπού. Κατά τη διάρκειά του, ο σταθμός βάσης και οι συνδρομητικοί σταθμοί δεν εκπέμπουν διαμορφωμένα δεδομένα αλλά απλώς επιτρέπουν στις κεραιές πομπού/δέκτη (Tx/Rx) και στον τομέα λήψης του σταθμού βάσης να ενεργοποιηθούν. Μετά το κενό, ο δέκτης-σταθμός βάσης πρέπει να κοιτάξει για τα πρώτα σύμβολα της uplink ριπής. Το χάσμα έχει διάρκεια ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας των χρονοσχισμών, και αρχίζει στην έναρξη μίας χρονοσχισμής. Κατά αντιστοιχία, υπάρχει το RTG (Receive Transition Gap) που είναι το κενό μεταξύ της uplink και της downlink ριπής που ακολουθεί. [9]

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η τεχνική TDD:



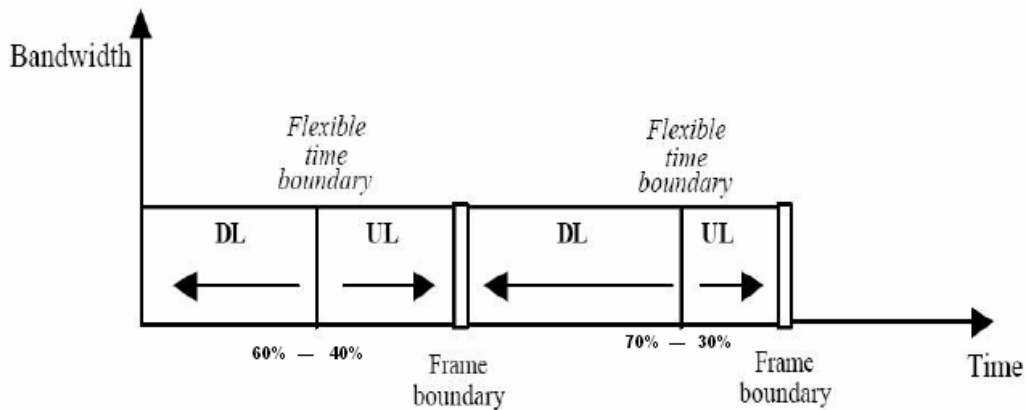
Εικόνα 3.16: Η τεχνική TDD

3.4.4 Σύγκριση TDD-FDD

Από φασματικής απόψεως, τουλάχιστον, η TDD φαίνεται να είναι πιο αποδοτική, αφού χρησιμοποιεί το μισό φάσμα για εκπομπή και λήψη σε σχέση με την FDD. Από την άλλη βέβαια η FDD έχει επί μακρόν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές και τεχνολογίες φωνής παρέχοντας αξιόπιστη και σταθερή υπηρεσία. Ο κάθε πάροχος πρέπει να επιλέξει είτε τη μία τεχνική είτε την άλλη διότι επί του παρόντος δεν υπάρχει τεκμηριωμένη διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων FDD και TDD.

Ένα σημαντικό κριτήριο επιλογής είναι το μέγεθος του φάσματος που κατέχει ή μπορεί να εκπέμψει ο εκάστοτε πάροχος. Εάν το φάσμα είναι περιορισμένο, τότε η σχεδίαση κυψελωτού δικτύου σε περιοχή με πολλούς χρήστες είναι δυσχερής, δεδομένης της αποδεδειγμένης τεχνικά ανάγκης για ύπαρξη σε κυψελωτό δίκτυο άνω των έξι διαύλων για πρόσβαση και διασύνδεση. Επομένως η τεχνική που εξυπηρετεί σε αυτή την περίπτωση είναι η TDD, εφόσον η FDD χρειάζεται διπλάσιο φάσμα.

Ένα άλλο κριτήριο είναι η συμμετρική ή ασύμμετρη μετάδοση δεδομένων μεταξύ σταθμού βάσης και σταθμού συνδρομητή. Στις περισσότερες εφαρμογές, εκτός ίσως από τη μετάδοση φωνής, η μετάδοση είναι ασύμμετρη, δηλαδή το μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων μεταδίδεται από την downlink ροή (π.χ. Internet, Video & Audio Streaming, IPTV κλπ.). Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν συμφέρει η χρήση της FDD επειδή χαρακτηρίζεται από εγγενή συμμετρία στη μετάδοση δεδομένων και επομένως θα υπάρχει σπατάλη εύρους ζώνης κατά τις παραπάνω ασύμμετρες εφαρμογές. Αντίθετα, στην TDD υπάρχει ευελιξία ως προς το ποσοστό των χρονοσχισμών που θα μεταδίδει ο δίαυλος προς την κάθε κατεύθυνση (π.χ. 70%-30%, 50%-50% κλπ). Επομένως, για περιοχές χρηστών που η κυριότερη χρήση του WiMAX θα είναι για τηλεφωνία (VoIP), ο πάροχος μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνική FDD, ενώ σε περιοχές που θα υπάρχει σημαντική ασύμμετρη κίνηση, η ενδεδειγμένη λύση είναι η TDD.



Εικόνα 3.17: Ευέλικτη κατανομή χρονικής διάρκειας Downlink και Uplink κατά την TDD

Θα πρέπει να προσθέσουμε επίσης, ότι τα συστήματα TDD εμφανίζουν υψηλότερη καθυστέρηση (latency) εξαιτίας του μεγαλύτερου χρόνου επεξεργασίας του σήματος, οπότε αν ο πάροχος σε μία υλοποίηση έχει ανάγκη αναμετάδοσης με πολλά ενδιάμεσα βήματα (hops) θα πρέπει να προτιμήσει FDD.

Όσον αφορά τώρα στην υλοποίηση, τα συστήματα FDD απαιτούν ειδικά φίλτρα (αμφιπλέκτες), ειδική ηλεκτρομαγνητική θωράκιση για αποφυγή παρεμβολών (ειδικά όσο περισσότερο μικραίνει το συχνοτικό διάστημα απομόνωσης), καθώς και μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ για τον καταμερισμό των πόρων του συστήματος. Αντίθετα, τα συστήματα TDD είναι περισσότερο απλοποιημένα ως σύνολο υλοποίησης, αλλά απαιτούν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στην υλοποίηση των συστημάτων χρονισμού και μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ για τον καταμερισμό των πόρων του συστήματος, ενώ υιοθετούν πιο προχωρημένες τεχνικές και σε άλλους τομείς, όπως επεξεργασία σημάτων, έξυπνο έλεγχο κεραιών και ισχύος και είναι ευκολότερο να προσαρμοστούν σε δυναμικές τοπολογίες δικτύων (π.χ. MESH). [10], [11]

3.5 Έξυπνες κεραιές

3.5.1 Γενικά

Όπως είδαμε παραπάνω, η τεχνική OFDM βοηθάει πολύ στην εξοικονόμηση φάσματος. Οι απαιτήσεις όμως είναι μεγαλύτερες και ιδιαίτερα στην περίπτωση του προτύπου IEEE 802.16e, που αναφέρεται σε κινητά συστήματα WiMAX. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί και θα χρησιμοποιηθούν καινούριες τεχνολογίες κεραιών οι οποίες θα συντείνουν στην αποδοτικότερη εξυπηρέτηση των κινητών χρηστών και ταυτόχρονα στην αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

Οι νέου τύπου κεραιές ονομάζονται «έξυπνες κεραιές» (smart antennas) και βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι οδηγούν σε διαχωρισμό των σημάτων και στο πεδίο του χώρου, γεγονός που μπορεί να κάνει δυνατή τη λήψη σημάτων που χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα, την ίδια χρονική στιγμή, με αμελητέα παρεμβολή μεταξύ τους. Μια πρώτη μέθοδος για να πραγματοποιήσουμε το χωρικό διαχωρισμό, είναι κεραιές που παράγουν έναν αριθμό από σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας και με βάση διαφορετικούς αλγόριθμους επιλογής λοβού επιλέγουμε κάθε φορά το λοβό ακτινοβολίας που βελτιστοποιεί το σήμα του εκάστοτε χρήστη. Η τεχνική αυτή «μεταγωγής λοβών» (switched beams) αποτελεί μια σχετικά απλή μέθοδο υλοποίησης συστήματος έξυπνων κεραιών. Άλλες τεχνικές έξυπνων κεραιών βασίζονται σε προσαρμοστικές μεθόδους (adaptive solutions) και αποτελούν πιο προηγμένες τεχνικές υλοποίησης.

Στην πραγματικότητα δεν είναι έξυπνες οι κεραιές αλλά τα συστήματα κεραιών. Συνήθως τα συστήματα αυτά εγκαθίστανται στο σταθμό βάσης, κυρίως λόγω όγκου. Τα τελευταία χρόνια, όμως αρχίζουν να γίνονται προσπάθειες για χρήση των έξυπνων κεραιών και σε τερματικά, κινητά ή μη. Βασικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας τους είναι ότι συνδυάζουν την απλή διάταξη κεραίας με τη διαδικασία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος καθώς και της προσαρμοζόμενης και με μεγάλη ευαισθησία ικανότητας εκπομπής και λήψης. Με απλά λόγια, ένα σύστημα έξυπνης κεραίας μπορεί αυτόματα να αλλάξει την κατευθυντικότητα του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας του για βελτίωση του εκπεμπόμενου ή λαμβανόμενου σήματος.

Αποτελούν, επομένως, είδος στοιχειοκεραίας με έναν συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων, συνήθως από 4 με 12, που κατανέμονται στο χώρο με τρόπο γραμμικό, κυκλικό ή πολικό. Ο συνδυασμός των διαγραμμάτων ακτινοβολίας των επιμέρους

κεραιών δημιουργούν αυτό της έξυπνης κεραίας που μπορεί να επεξεργαστεί στη συνέχεια με πολύπλοκους αλγόριθμους και να πάρουμε το επιθυμητό διάγραμμα.

Για την καλύτερη κατανόηση των έξυπνων κεραιών θα αναφέρουμε ένα απλό παράδειγμα: Ας φανταστούμε, λοιπόν, ότι είμαστε σε ένα δωμάτιο με κλειστά μάτια και υπάρχει και κάποιος άλλος που κινείται στο δωμάτιο και μας μιλάει. Τότε χωρίς να βλέπουμε το συνομιλητή μας μπορούμε κάθε στιγμή να καταλάβουμε τη θέση του στο δωμάτιο. Οι λόγοι που οδηγούν σε αυτό είναι η ένταση που φθάνει η φωνή του στα αυτιά μας, η χρονική διαφορά άφιξης της φωνής στα δύο αυτιά μας αλλά και η γωνία άφιξης του σήματος της φωνής στο αυτί. Τα δεδομένα αυτά, στη συνέχεια εισέρχονται σε έναν τέλειο επεξεργαστή σήματος, που ονομάζεται εγκέφαλος, και δίνει σαν έξοδο την τελική θέση του συνομιλητή μας στο δωμάτιο. Με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και η έξυπνη κεραία, λαμβάνοντας το σήμα με τους δέκτες της, τη συστοιχία κεραιών, και το στέλνει στα επόμενα μέρη του συστήματός της, βασικό των οποίων είναι η μονάδα ελέγχου, ο εγκέφαλος ουσιαστικά του συστήματος.

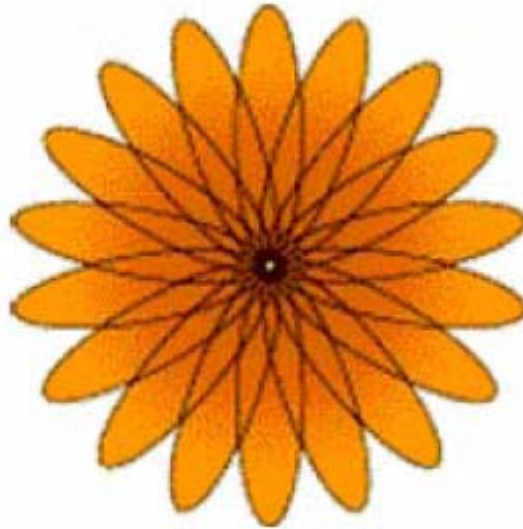
3.5.2 Είδη έξυπνων κεραιών

Μια έξυπνη κεραία αποτελείται από διάφορα στοιχεία, τα οποία συνδυάζονται μέσω ενός συστήματος ελέγχου ώστε να παράγουν κάθε φορά το επιθυμητό διάγραμμα ακτινοβολίας. Οι έξυπνες κεραίες γενικά, όπως αναφέραμε και παραπάνω, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τις κεραίες μεταγωγής λοβών (*switched beam*), που αποτελούνται από ένα συγκεκριμένο αριθμό λοβών οριζόμενο από το σχεδιαστή, και σε αυτές με προσαρμοζόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας (*adaptive array*), που αποτελούνται από ένα απεριόριστο αριθμό μερών προσαρμοζόμενα σε πραγματικό χρόνο.

- ***Κεραίες μεταγωγής λοβών (switched beam antennas)***

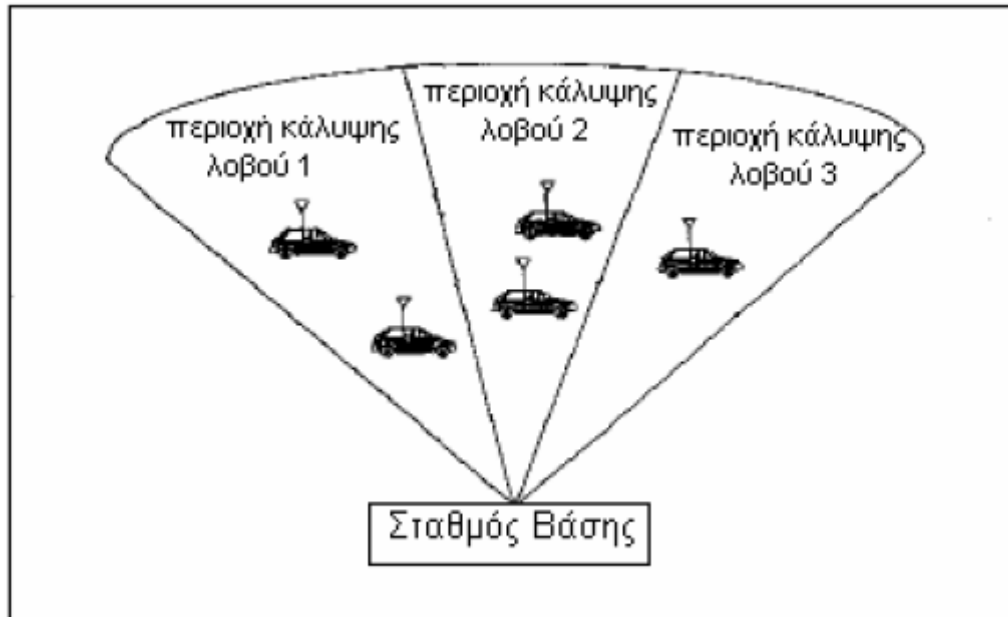
Το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας τέτοιας κεραίας αποτελείται από σταθερούς λοβούς ευαίσθητους σε εκπομπή και λήψη μόνο σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Όταν, για παράδειγμα, το σύστημα της έξυπνης κεραίας έχει εγκατασταθεί στο σταθμό βάσης, ο κινούμενος χρήστης διαπέμπεται από τον ένα λοβό στον άλλο ανάλογα με τη γωνία άφιξης του σήματος, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή στάθμη ισχύος. Με τον τρόπο αυτό και εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητα του χωρικού διαχωρισμού (*spatial diversity*) πετυχαίνουμε το συνδυασμό πολλών κεραιών με μεγάλη

κατευθυντικότητα σε μια έξυπνη κεραία που χωρίζει το χώρο σε πολλούς τομείς ανεξάρτητους μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα τέτοιου διαγράμματος ακτινοβολίας εικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3.18: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας switched beams.

Η ιδέα της μεταγωγής λοβών γίνεται φανερή και από την παρακάτω εικόνα. Σε αυτήν έχουμε την περίπτωση ενός τομέα 120° στον οποίο έχουμε τοποθετήσει μια έξυπνη κεραία με τρεις σταθερούς λοβούς ακτινοβολίας. Κάθε λοβός έχει εύρος 40° και εξυπηρετεί τους χρήστες που βρίσκονται εντός της περιοχής κάλυψής του. Αν υποθέσουμε ότι οι χρήστες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι στον τομέα, τότε θα πρέπει οι παρεμβολές να μειωθούν κατά ένα παράγοντα ίσο με τρία, σε σχέση με την περίπτωση που χρησιμοποιούσαμε μια συμβατική sector κεραία, η οποία θα εξέπεμπε με το ίδιο κέρδος στο αζιμουθιακό εύρος των 120° .



Εικόνα 3.19: Τρεις σταθεροί λοβοί ακτινοβολίας για κάλυψη τομέα εύρους 120° .

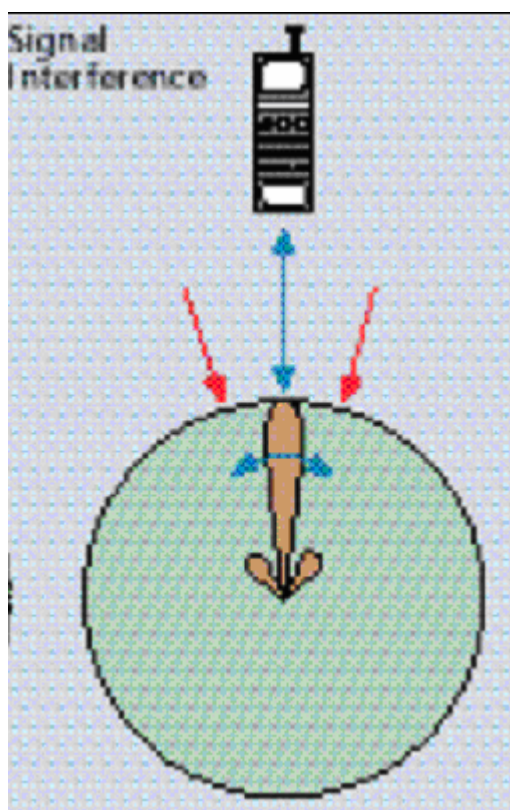
Η ταχύτητα δεν αποτελεί πρόβλημα για την υλοποίηση κεραιών μεταγωγής λοβών και ο λόγος είναι ότι γενικά, η επιλογή διαγραμμάτων μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να γίνει αρκετά γρήγορα. Δηλαδή το σύστημα είναι σε θέση να προσδιορίσει σε ποια ακτίνα ο συνδρομητής στόχων ανήκει, πριν από τις κινήσεις συνδρομητών στόχων σε μια διαφορετική ακτίνα και επομένως να διαπέμψει το χρήστη από έναν λοβό σε κάποιον άλλο. Το βασικό πρόβλημα της μεθόδου αυτής εντοπίζεται, όταν η παρεμβολή είναι ισχυρότερη από το επιθυμητό σήμα. Τότε η μέθοδος αυτή μπορεί να μην αποδώσει σωστά και να προκύψουν εσφαλμένα συμπεράσματα για την θέση του στόχου, οδηγώντας στην διακοπή της επικοινωνίας ανάμεσα στο σταθμό και στο χρήστη.

- **Κεραίες με στροφή φάσης (phased array)**

Στην μέθοδο αυτή παράγεται μια ψηφιακή ακτίνα οι οποία στρέφεται προς το ισχυρότερο σήμα παρακολουθώντας τις κινήσεις του τερματικού. Βασικό ρόλο παίζει το περιβάλλον και η κινητικότητα του χρήστη καθώς και η ταχύτητα με την οποία υπολογίζεται η εκάστοτε θέση του, σύμφωνα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται. Με την εισαγωγή ενός αλγορίθμου DoA (Direction of Arrival) για το λαμβανόμενο από τον χρήστη σήμα, μπορεί να επιτευχθεί συνεχής παρακολούθηση. Αυτό μπορεί να

ιδωθεί σαν μια γενίκευση της έννοιας “switched lobe”. Σε αυτή την περίπτωση μεγιστοποιείται η λαμβανόμενη ισχύς.

Ένα τέτοιο παράδειγμα εικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα, όπου με μπλε γραμμή είναι το επιθυμητό σήμα και παρακολουθείται ανά πάσα στιγμή από τον κύριο λοβό, ενώ με την κόκκινη γραμμή είναι η παρεμβολή από κάποιον άλλο χρήστη.

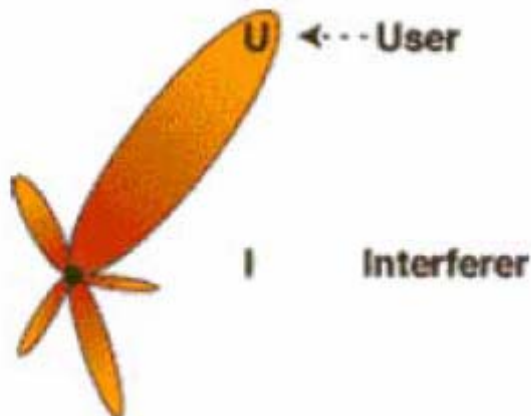


Εικόνα 3.20: Κεραία phased array.

- **Κεραίες με προσαρμοζόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας (adaptive array).**

Αποτελεί το πιο προηγμένο τεχνολογικά σύστημα έξυπνης κεραίας χρησιμοποιώντας πολλούς και πολύπλοκους αλγορίθμους. Βασική αρχή των προσαρμοζόμενων κεραιών είναι η ανίχνευση του σήματος στον περιβάλλοντα χώρο της κεραίας και μέσα από πολύπλοκες διαδικασίες η ενίσχυση του επιθυμητού καθώς και η απόσβεση του παρεμβάλλοντος σήματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τη στροφή των λοβών ακτινοβολίας, ώστε ο κύριος λοβός να λαμβάνει το επιθυμητό σήμα και οι πλευρικοί, που προφανώς έχουν πολύ μικρότερο κέρδος, να δέχονται και να εξασθενούν το ανεπιθύμητο, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Ουσιαστικά

είναι η μόνη τεχνική που πετυχαίνει αύξηση του κέρδους ανάλογα με την εκάστοτε θέση των χρηστών.



Εικόνα 3.21: Κεραία adaptive array

Σε αυτή την περίπτωση προστίθεται ένας αλγόριθμος DoA (Direction of Arrival) για να υπολογιστεί η κατεύθυνση προς τις πηγές παρεμβολής. Το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να προσαρμοστεί για να αποκλείσει τις παρεμβολές. Επιπροσθέτως, με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων και τεχνικών διαφορικότητας χώρου (SDMA), το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να προσαρμοστεί έτσι ώστε να λαμβάνει σήματα πολλαπλών διαδρομών που μπορούν να συνδυαστούν. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να μεγιστοποιήσουν τον λόγο σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio SIR) ή τον λόγο σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο (Signal to Noise and Interference Ratio SINR). Στην παρακάτω εικόνα εικονίζεται το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας τέτοιας κεραίας που προσαρμόζει τον κύριο λοβό στον επιθυμητό χρήστη και το δευτερεύοντα λοβό στον παρεμβάλλοντα χρήστη. [12]



Εικόνα 3.22: Λειτουργία κεραίας *adaptive array* όταν υπάρχει και παρεμβάλλον χρήστης.

4

Μοντέλα διάδοσης και εφαρμογή τους στην περίπτωση ραδιοκάλυψης WiMAX συστημάτων

4.1 Εισαγωγή

Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) αποτελεί τεχνολογία ασύρματης ευρυζωνικότητας. Είναι ένα εξελισσόμενο πρότυπο για point-to-multipoint ραδιοζεύξεις. Καθοριστικότερο παράγοντα για τη βέλτιστη ραδιοκάλυψη και επίδοση του συστήματος αποτελεί ο ορθός σχεδιασμός του.

Θεμελιώδη εργαλεία της διαδικασίας αυτής αποτελούν τα μοντέλα διάδοσης. Έχουν την ικανότητα να προβλέπουν τι θα συμβεί στο εκπεμπόμενο σήμα καθώς οδεύει μέσω ορισμένου ραδιοδιαύλου προς το δέκτη. Το αποτέλεσμα της επίδρασης του διαύλου στο σήμα καθορίζει την επίδοση του συστήματος. Έτσι, μπορούμε να αποφανθούμε, πριν ακόμη αυτό υλοποιηθεί, για το αν υπό δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος μπορεί το σύστημά μας να ικανοποιήσει τον αντικειμενικό σκοπό λειτουργίας του και ιδιαίτερα τους συγκεκριμένους στόχους του ως προς την επίδοση. Σε περίπτωση που μία τέτοια εκτίμηση δεν έχει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα, ο

σχεδιασμός του συστήματος μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα πριν την τελική του υλοποίηση.

Η πρόβλεψη της περιοχής ραδιοκάλυψης από ένα σταθμό βάσης είναι ένα πολύπλοκο πρόβλημα που απαιτεί γνώσεις πάνω στη συχνότητα διάδοσης του σήματος, τη φυσιολογία του εδάφους, την έκταση των κατοικημένων περιοχών, τα ύψη των κεραιών καθώς και πολλών άλλων παραγόντων. Η πρόβλεψη της έντασης του σήματος μάς επιτρέπει να κάνουμε εκτιμήσεις για το ποσοστό των περιοχών μιας ευρύτερης περιφέρειας στις οποίες το σήμα θα υπερβαίνει μία συγκεκριμένη τιμή (κατώφλι). Η πληροφορία αυτή μπορεί στη συνέχεια να αξιοποιηθεί για την παροχή συγκεκριμένης ποιότητας υπηρεσιών ανά περιοχή.

Ο μηχανικός που σχεδιάζει τη ραδιοζεύξη οφείλει να κάνει κατάλληλη επιλογή μοντέλου, ώστε η απεικόνιση της επίδρασης του περιβάλλοντος διάδοσης στο σήμα να είναι η ακριβέστερη δυνατή. Πιθανή αστοχία οδηγεί σε φτωχά αποτελέσματα όσον αφορά θέματα κάλυψης της περιοχής, επιδόσεων του συστήματος και ικανοποίησης των πελατών. Εύκολα αντιλαμβανόμαστε πόσο κρίσιμη είναι η επιλογή και εφαρμογή των μοντέλων διάδοσης, προκειμένου να υπάρξει εγγυημένο επίπεδο ποιότητας στη λειτουργία του συστήματος. [1], [2]

4.1.1 Μηχανισμοί Διάδοσης

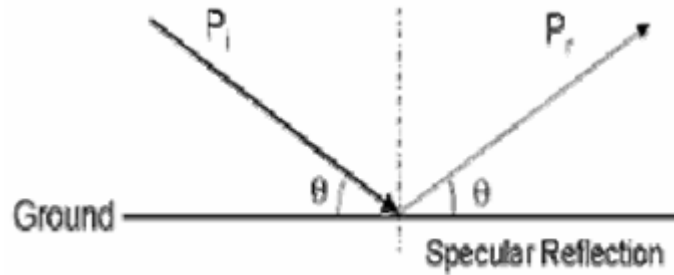
Απώλειες πολλαπλών διόδευσεων

Στην περίπτωση που το μέσο διάδοσης δεν είναι ο ελεύθερος χώρος, εμφανίζεται το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Το σήμα που καταφθάνει στο δέκτη είναι το διανυσματικό άθροισμα των πολλαπλών αντιγράφων του σήματος. Αυτό συμβαίνει διότι το σήμα κατά τη μετάδοσή του συναντά εμπόδια, που προκαλούν πολλαπλές ανακλάσεις. Το αποτέλεσμα είναι να φτάνουν στο δέκτη περισσότερα του ενός αντίγραφα του σήματος, τα οποία έχουν διανύσει διαφορετικές διαδρομές και έτσι φτάνουν στο δέκτη σε διαφορετικές, τυχαίες, χρονικές στιγμές. Κάθε συνιστώσα έχει τυχαία διακύμανση στο πλάτος και στη φάση, για αυτό και η διανυσματική τους άθροιση έχει σαν αποτέλεσμα την αθροιστική ή την αφαιρετική συμβολή των ραδιοκυμάτων ανάλογα με την κατανομή των φάσεων στα επιμέρους κύματα.

Έτσι, στο δέκτη εκτός από την απευθείας συνιστώσα φτάνουν σήματα που έχουν προκύψει από τους παρακάτω μηχανισμούς διάδοσης του ραδιοδιαύλου:

- **Ανάκλαση (Reflection)**

Συμβαίνει όταν ένα εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε μια λεία επιφάνεια με πολύ μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος (λ) του σήματος.

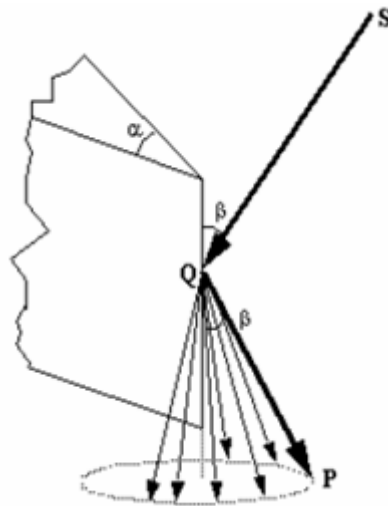


Εικόνα 4.1: Κατοπτρική ανάκλαση σε διδιάστατη γεωμετρία

- **Περίθλαση (Diffraction)**

Συμβαίνει όταν ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη υπάρχει φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο με μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος λ , το οποίο προκαλεί την εμφάνιση δευτερευόντων κυμάτων πίσω από το εμπόδιο σύμφωνα με την αρχή του Huygens. Η περίθλαση είναι ένα φαινόμενο που ερμηνεύει τη μεταφορά RF ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη χωρίς απευθείας μονοπάτι μεταξύ τους.

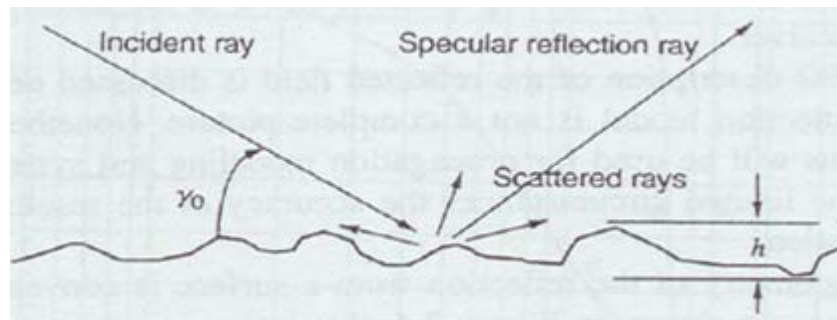
Συχνά αποκαλείται σκίαση, γιατί το σήμα φθάνει στον δέκτη ακόμα και όταν «σκιάζεται» από ένα αδιαπέραστο εμπόδιο.



Εικόνα 4.2: Περιτεθλασμένο κύμα με χρήση του Wedge μοντέλου

- **Σκέδαση (Scattering)**

Συμβαίνει όταν ένα σήμα προσκρούει είτε σε μια μεγάλη τραχιά επιφάνεια ή σε επιφάνεια της οποίας οι διαστάσεις είναι της τάξης του λ ή μικρότερες, με αποτέλεσμα η ανακλώμενη ενέργεια να διασκορπίζεται σε όλες τις κατευθύνσεις. Σε αστικό περιβάλλον συνηθισμένοι σκεδαστές είναι οι προβολείς των δρόμων, οι σηματοδότες και το φύλλωμα των δέντρων.



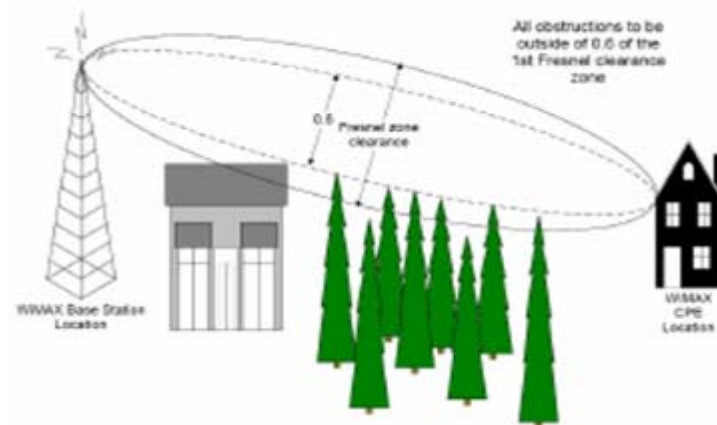
Εικόνα 4.3: Ανάκλαση και σκέδαση σε τραχεία επιφάνεια

Ζώνες Fresnel

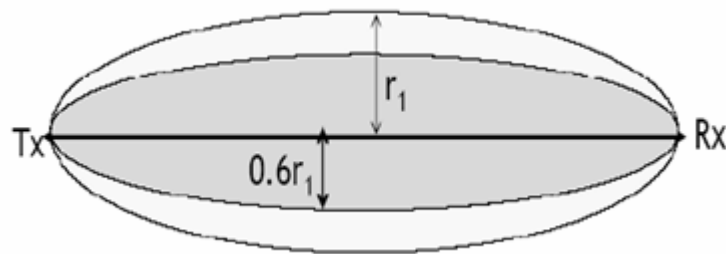
Ανάμεσα στους παραπάνω μηχανισμούς διάδοσης γίνεται να ελεγχθεί και να περιοριστεί αυτός της περίθλασης, φροντίζοντας στη σχεδίαση του συστήματος να εξασφαλίζεται η καθαρότητα της πρώτης ζώνης Fresnel (έλλειψη παρεμβαλλόμενων εμποδίων). Οι ζώνες Fresnel αναφέρονται σε ελλειψοειδείς περιοχές με εστίες τον πομπό και το δέκτη στις οποίες η παρεμβολή εμποδίων οδηγεί σε εμφάνιση περίθλασης κατά τη μετάδοση σημάτων. Η απουσία εμποδίων στην πρώτη ζώνη Fresnel είναι ικανή να εξασφαλίσει ασφαλή μετάδοση και η ακτίνα της ορίζεται από τη σχέση:

$$h_1 = \left[\frac{\lambda}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

όπου d_1 , d_2 είναι οι αποστάσεις του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα, από το αμέσως κοντινότερο εμπόδιο στην ευθεία μετάδοσης.



Εικόνα 4.4: 1^η Ζώνη Fresnel



Εικόνα 4.5: Απαιτούμενη καθαρότητα 1^{ης} ζώνης Fresnel

Στο σχεδιασμό της ζεύξης για σύστημα WiMAX για να έχουμε συνθήκες οπτικής επαφής πομπού - δέκτη (LOS) θα πρέπει τουλάχιστον το 60% της 1^{ης} ζώνης Fresnel να είναι καθαρό από παρεμβαλλόμενα εμπόδια.

4.1.2 Κατηγορίες Μοντέλων

Τα μοντέλα διάδοσης πρωταρχικά διακρίνονται σε :

- indoor
- outdoor

4.1.2.1 Indoor μοντέλα

Καθώς το κύμα οδεύει από το εξωτερικό περιβάλλον διάδοσης προς το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτηρίου, περνά σίγουρα από κάποιο κατασκευαστικό υλικό, γεγονός που επιφυλάσσει για το σήμα σημαντική μείωση της ισχύος του. Τα επικρατέστερα υλικά που συναντά το σήμα στη διέλευσή του αυτή είναι: γυαλί και τσιμέντο. Η κατηγορία των μοντέλων διάδοσης που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των απωλειών στο σήμα καθώς αυτό οδεύει από το εξωτερικό ενός κτηρίου στο εσωτερικό του, δεν αποτελεί άμεσο αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας, γι' αυτό και στη συνέχεια δίνεται έμφαση στη μελέτη των outdoor μοντέλων.

Ενδεικτικά αναφέρουμε απώλειες που παρουσιάζουν υλικά που συναντώνται συχνά.

Γυψοσανίδες	3 – 5 dB
Υαλοπίνακες με μεταλλικά πλαίσια	6 dB
Τζάμια	3 dB
Μεταλλικές πόρτες	6 – 10 dB
Τοίχοι από σκυρόδεμα	6 – 15 dB

4.1.2.2 Outdoor μοντέλα

Περιγράφουν τις απώλειες διάδοσης στο ηλεκτρομαγνητικό κύμα καθώς οδεύει ανάμεσα στην κεραία του σταθμού βάσης και στην κεραία του χρήστη. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 3 τύπους:

1. τα εμπειρικά

→ προτιμώνται στη μηχανική κινητών ραδιοεπικοινωνιών και κυβελωτών συστημάτων

2. τα φυσικά ή αναλυτικά ή ντετερμινιστικά

→ προτιμώνται στο σχεδιασμό συστημάτων Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης.

3. τα θεωρητικά ή στατιστικά ή στοχαστικά

4.1.2.3 Εμπειρικά Μοντέλα

Είναι τα μοντέλα που βασίζονται μόνο σε παρατηρήσεις και μετρήσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτίμηση των απωλειών διάδοσης, παρά το γεγονός ότι εμπειρικά μοντέλα έχουν προταθεί για εκτίμηση απωλειών είτε λόγω βροχής, είτε πολυδιαδρομικής διάδοσης του σήματος.

Αποτελούν προσαρμογές σε δεδομένα μετρήσεων και συνήθως περιγράφουν τις στατιστικές κατανομές των διαλείψεων με βάση κάποιες παραμέτρους των πειραματικών μετρήσεων, καθώς επίσης δίνουν και την εξασθένηση του σήματος σε διάφορους τύπους περιβάλλοντος. Οι μετρήσεις που συνήθως πραγματοποιούνται στο πεδίο αναφέρονται στις απώλειες διάδοσης (path loss), στην εξάπλωση καθυστέρησης (delay spread) ή σε άλλα χαρακτηριστικά του διαύλου.

Χρησιμοποιούνται ευρέως στη μηχανική κινητών ραδιοεπικοινωνιών και κυψελωτών συστημάτων.

4.1.2.4 Φυσικά Μοντέλα

Τα φυσικά μοντέλα αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως **αναλυτικά** ή **ντετερμινιστικά**. Κάνουν χρήση των νόμων που διέπουν τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για να καθορίσουν την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος σε συγκεκριμένη θέση. Συχνά απαιτούν πλήρη τρισδιάστατο χάρτη του περιβάλλοντος διάδοσης. Χρησιμοποιούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθώς και τη θεωρία ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης. Λαμβάνουν υπόψη τους τη Γεωμετρική οπτική (GO), την ομοιόμορφη Θεωρία της Περίθλασης (UTD), τη Φυσική Οπτική (PO) για τον υπολογισμό και τη μελέτη των επιπτώσεων στο λαμβανόμενο σήμα από την παρουσία σκεδαστών στην περιοχή του χρήστη. Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου εξαρτάται άμεσα από την εκάστοτε εφαρμογή. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ενώ τα εμπειρικά μοντέλα εξαρτώνται από σημαντικές παραμέτρους, δεν παρέχουν καμία ένδειξη για τη φυσική της διαδικασίας διάδοσης. Τα θεωρητικά μοντέλα συνήθως στηρίζονται σε παραδοχές που απλοποιούν τις συνθήκες διάδοσης, ενώ τα φυσικά παρέχουν μια ντετερμινιστική εκτίμηση κάτω από συγκεκριμένες γεωμετρικές συνθήκες.

Βασίζονται περισσότερο σε αρχές της Φυσικής παρά σε στατιστικά συμπεράσματα πειραμάτων για να βρουν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε μία θέση. Στη σχεδιαστική διαδικασία λαμβάνονται υπόψη υπάρχουσες βάσεις δεδομένων για το

υψόμετρο του εδάφους, τα ύψη των εμποδίων, τις συνθήκες ατμοσφαιρικής διαθλαστικότητας και των ρυθμών βροχόπτωσης. Φυσικά μοντέλα μπορεί να κατασκευάζονται είτε με βάση μια συγκεκριμένη περιοχή είτε όχι. Όσα δε βασίζονται σε συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιούν αρχές της Φυσικής για τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προκειμένου να προβλέψουν το σήμα μέσα σε ένα γενικό περιβάλλον. Σκοπός τους είναι η ανάπτυξη ορισμένων απλών σχέσεων ανάμεσα σε χαρακτηριστικά αυτού του περιβάλλοντος. Από την άλλη πλευρά, όταν συγκεκριμένα στοιχεία του περιβάλλοντος διάδοσης ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη λαμβάνονται υπόψη, το μοντέλο θεωρείται εξαρτώμενο από την τοποθεσία.

Χρησιμοποιούνται ευρέως στο σχεδιασμό συστημάτων Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης.

4.1.2.5 Θεωρητικά Μοντέλα

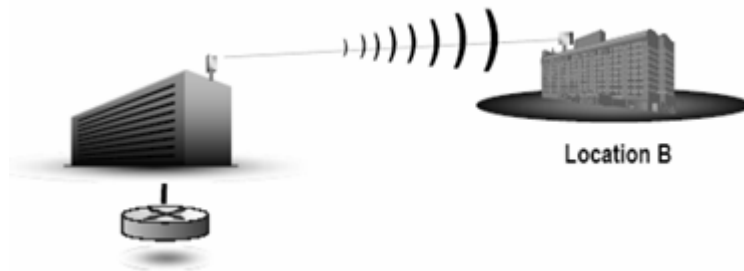
Τα μοντέλα αυτά μοντελοποιούν το περιβάλλον ως σειρά τυχαίων μεταβλητών. Είναι ελάχιστα ακριβή, αλλά απαιτούν ελάχιστη πληροφορία για το περιβάλλον διάδοσης και χρησιμοποιούν πολύ μικρότερη υπολογιστική ισχύ για να κατασκευάσουν τις εκτιμήσεις τους.

Βασίζονται σε θεωρητικές υποθέσεις-συμβάσεις για το περιβάλλον διάδοσης. Κρίνονται ακατάλληλα για το σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που θα καλύπτουν συγκεκριμένη περιοχή, διότι δεν υπάρχει μέθοδος συσχέτισης των παραμέτρων του μοντέλου με τις παραμέτρους του εκάστοτε συγκεκριμένου περιβάλλοντος διάδοσης. Παρ' όλα αυτά είναι χρήσιμα για αναλυτική μελέτη της συμπεριφοράς συστημάτων επικοινωνίας κάτω από μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών απόκρισης του διαύλου.

Τα θεωρητικά μοντέλα βασίζονται σε συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας που συνήθως χρησιμοποιούνται στη διάδοση ραδιοκυμάτων, όπως η Rayleigh, η Rician και η Lognormal. [1], [3], [4]

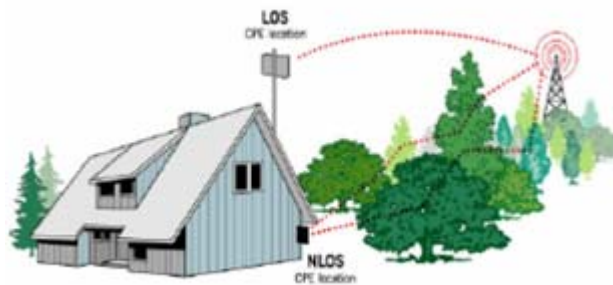
4.2 Μοντέλα Διάδοσης για WiMAX συστήματα

Σε συνθήκες μη οπτικής επαφής (NLOS) το σήμα υφίσταται αλλοιώσεις λόγω φαινομένων σκέδασης, περίθλασης, αποπόλωσης και εξασθενήσεις λόγω ανακλάσεων, που δε θα υπήρχαν υπό συνθήκες οπτικής επαφής (LOS). Οι παράγοντες αυτοί επιδρούν τελικά στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος.

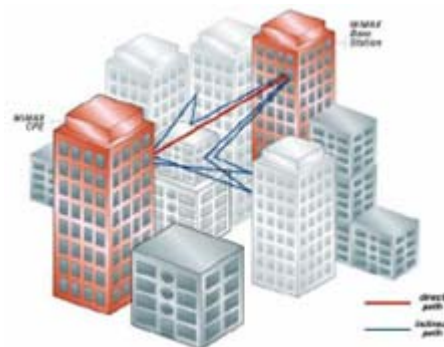


Εικόνα 4.6: LOS διάδοση

NLOS (Non Line of Sight)



Εικόνα 4.7: NLOS διάδοση σε αγροτική περιβάλλον



Εικόνα 4.8: NLOS διάδοση σε αστικό περιβάλλον

Ακολουθούν μοντέλα διάδοσης με τη μεγαλύτερη απήχηση διεθνώς, που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό συστημάτων σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης (Fixed Wireless Access, FWA) συμπεριλαμβανομένου του WiMAX.

4.2.1 Μοντέλο Διάδοσης Ελευθέρου Χώρου

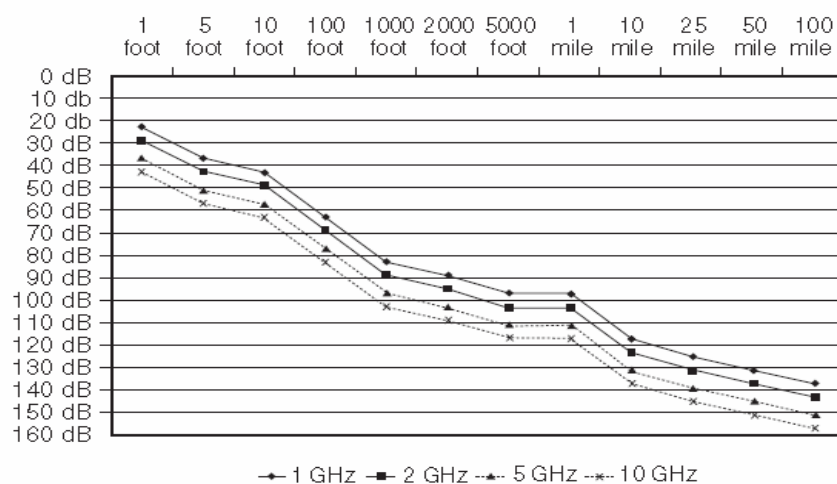
Η ισχύς των Η/Μ κυμάτων μειώνεται με την απόσταση. Η απόσβεση που σχετίζεται με την απόσταση σε μία διαδρομή του σήματος χωρίς εμπόδια καλείται Απώλειες Ελευθέρου Χώρου (Free Space Loss).

$$P_R = P_T G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (\text{εξίσωση του Friis})$$

Οι απώλειες διάδοσης ελευθέρου χώρου δίνονται από τη σχέση:

$$L(\text{dB}) = 10 \log G_T + 10 \log G_R - 20 \log f - 20 \log d + 147.6$$

Όπως φαίνεται από τον ακόλουθο πίνακα, δεκαπλασιασμός της συχνότητας ή της απόστασης προκαλεί μείωση της ισχύς του σήματος κατά 20dB, ενώ διπλασιασμός της συχνότητας ή της απόστασης θα επιφέρει μείωση κατά 6dB.



Εικόνα 4.9: Εξάρτηση της ισχύος του σήματος με την απόσταση και τη συχνότητα

Πρόκειται για αναπόφευκτες απώλειες που οφείλονται αποκλειστικά στην απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και ο μόνος τρόπος περιορισμού τους είναι μεταβάλλοντας το κέρδος των κεραιών. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια, η τιμή τους

και η συνεισφορά τους στην εξασθένηση του σήματος είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές απόσβεσης. Αναφέρονται στην ιδανική κατάσταση ζεύξης. [5],[6]

4.2.2 Μοντέλο *Free Space+RMD*

Το ακρωνύμιο “RMD” αποτελεί συντόμευση του “Reflection plus Multiple Diffraction loss”(: απώλειες ανάκλασης και πολλαπλής περίθλασης). Όπως αναλύεται στη συνέχεια, πρόκειται για μοντέλο εκτίμησης απωλειών λόγω διάδοσης ελευθέρου χώρου, λόγω ανάκλασης και λόγω πολλαπλής περίθλασης. Το μοντέλο θεωρείται κατάλληλο για σήματα συχνότητας 30-60000 MHz.

Η εφαρμογή του μοντέλου είναι περισσότερο κατάλληλη για σχεδιασμό μικροκυματικών δικτύων, στα οποία οι θέσεις λήψης δεν είναι τυχαίες (κινητές), ενώ είναι εφοδιασμένες με κατευθυντικές κεραίες.

Στην περίπτωση οπτικής επαφής (LOS), όπου κανένα εμπόδιο δεν διακόπτει την άμεση ακτίνα του σήματος από τον πομπό στον δέκτη, οι απώλειες διάδοσης καθορίζονται συνυπολογίζοντας τη συνεισφορά μιας ακτίνας ανακλώμενης στο έδαφος που προστίθεται διανυσματικά στην άμεσα λαμβανόμενη ακτίνα.

Για διαδρομές του σήματος όπου ένα εμπόδιο είναι αρκετά υψηλό ώστε να εμποδίζεται μερικώς η καθαρότητα του 60% της 1^{ης} ζώνης Fresnel, η μέθοδος RMD περιλαμβάνει μια πρόσθετη απώλεια που κυμαίνεται από 0 έως 6 dB ανάλογα με το βαθμό στον οποίο η ζώνη Fresnel εμποδίζεται (η απώλεια είναι 6 dB όταν η άμεση ακτίνα σχεδόν εφάπτεται του εμποδίου).

Στην περίπτωση μη ύπαρξης οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη, οι απώλειες διάδοσης του σήματος υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση Epstein-Peterson για συνδυασμό των απωλειών περίθλασης έως και 10 διαδοχικών εμποδίων λόγω του ανάγλυφου του εδάφους.

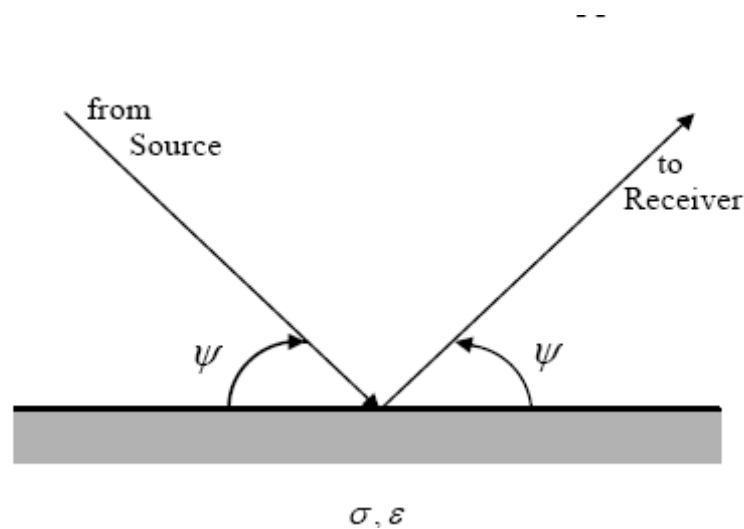
Στο μοντέλο εκτιμάται η εξασθένηση που προκαλεί κάθε εμπόδιο ξεχωριστά, ενώ η συνολική απώλεια προκύπτει από το άθροισμά τους. Οι συγκεκριμένες τεχνικές και οι εξισώσεις για τον υπολογισμό των συνεισφορών της ανάκλασης και της πολλαπλής περίθλασης στις απώλειες δίνονται ακολούθως.

Υπολογισμός συντελεστή ανάκλασης

Η ανάκλαση χρησιμοποιείται στο μοντέλο όταν υπάρχει οπτική επαφή πομπού-δέκτη. Στην υλοποίηση του μοντέλου συνήθως το λογισμικό ραδιοκάλυψης ορίζει ως σημείο ανάκλασης το σημείο της διαδρομής στο οποίο η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης. Όταν βρεθεί το σημείο ανάκλασης, το λογισμικό υπολογίζει τους μιγαδικούς συντελεστές ανάκλασης για οριζόντια ή κατακόρυφη πόλωση μέσω των τύπων:

$$R_{s,\perp} = \frac{\sin \psi - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \psi}}{\sin \psi + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \psi}}$$

$$R_{s,\parallel} = \frac{\varepsilon \sin \psi - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \psi}}{\varepsilon \sin \psi + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \psi}}$$



Εικόνα 4.10: Ανάκλαση σήματος

Οι συντελεστές αυτοί είναι για λείες επιφάνειες ανάκλασης. Η μιγαδική διηλεκτρική σταθερά ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda$$

όπου ε_r είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά της επιφάνειας ανάκλασης, σ είναι η αγωγιμότητά της σε Siemens/m και λ το μήκος κύματος.

Ο συντελεστής ανάκλασης μπορεί να τροποποιηθεί για να συμπεριλάβει την περίπτωση της ανώμαλης επιφάνειας ανάκλασης, χρησιμοποιώντας τον παράγοντα εξασθένησης λόγω ανωμαλιών ρ .

$$\rho = e^{-2\delta}$$

$$\delta = \frac{4\pi\Delta h}{\lambda} \sin \psi$$

όπου Δh είναι η απόκλιση από την κανονική κατανομή της τραχύτητας της επιφάνειας.

Υπολογισμός εξασθένησης λόγω περίθλασης

Τα εμπόδια του περιβάλλοντος μοντελοποιούνται ως απομονωμένα σφαιρικά εμπόδια. Η εξασθένηση είναι συνάρτηση της παραμέτρου ν , η οποία σχετίζεται με την καθαρότητα της διαδρομής πάνω από το εμπόδιο. Η συνολική εξασθένηση $A(\nu, \rho)$ σε dB είναι το άθροισμα 3 όρων: $A(\nu, 0)$, $A(0, \rho)$ και $U(\nu, \rho)$, όπου:

$$A(\nu, \rho) = A(\nu, 0) + A(0, \rho) + U(\nu, \rho)$$

$$A(\nu, 0) = 6.02 + 9.0\nu + 1.65\nu^2 \quad \text{για } -0.8 \leq \nu \leq 0$$

$$A(\nu, 0) = 6.02 + 9.11\nu - 1.27\nu^2 \quad \text{για } 0 < \nu \leq 2.4$$

$$A(\nu, 0) = 12.953 + 20 \log \nu \quad \text{για } \nu > 2.4$$

$$A(0, \rho) = 6.02 + 5.556\rho + 3.418\rho^2 + 0.256\rho^3$$

$$U(\nu, \rho) = 11.45\nu\rho + 2.19(\nu\rho)^2 - 0.206(\nu\rho)^3 - 6.02 \quad \text{για } \nu\rho \leq 3$$

$$U(\nu, \rho) = 13.47\nu\rho + 1.058(\nu\rho)^2 - 0.048(\nu\rho)^3 - 6.02 \quad \text{για } 3 < \nu\rho \leq 5$$

$$U(\nu, \rho) = 20\nu\rho - 18.2 \quad \text{για } \nu\rho > 5$$

όπου ο παράγοντας καμπυλότητας είναι :

$$\rho = 0.676R^{0.333} f^{-0.1667} \sqrt{\frac{d}{d_1 d_2}}$$

R : η ακτίνα του εμποδίου σε km

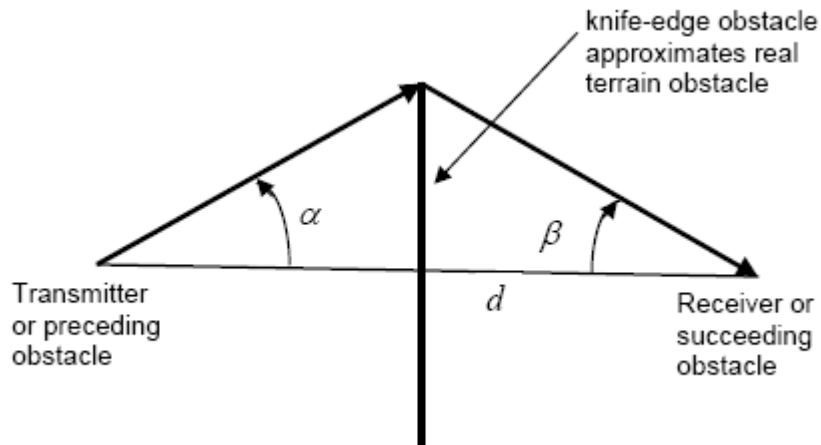
f : η συχνότητα σε MHz

d : το μήκος της διαδρομής από τον πομπό (ή το προηγούμενο εμπόδιο) έως το δέκτη (ή το επόμενο εμπόδιο)

d_1 : η απόσταση από τον πομπό (ή το προηγούμενο εμπόδιο) έως το εμπόδιο.

d_2 : η απόσταση από το εμπόδιο μέχρι το δέκτη (ή το επόμενο εμπόδιο)

Όταν η ακτίνα είναι μηδενική το εμπόδιο είναι αιχμηρού τύπου (knife-edge) και $A(v, \rho) = A(v, 0)$.



Εικόνα 4.11: Περιθλώμενη ακτίνα

Η παράμετρος v στις παραπάνω εξισώσεις εκφράζει τη γεωμετρία του μονοπατιού και δίνεται από τον τύπο:

$$v = \sqrt{\frac{2d \tan \alpha \tan \beta}{\lambda}}$$

όπου d : το μήκος της διαδρομής από τον πομπό (ή το προηγούμενο εμπόδιο) έως το δέκτη (ή το επόμενο εμπόδιο)

α : η γωνία που σχηματίζει η ευθεία που ενώνει τον πομπό (ή το προηγούμενο εμπόδιο) με τον δέκτη (ή το επόμενο εμπόδιο), όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα

β : η γωνία που σχηματίζει η ευθεία που ενώνει τον δέκτη (ή το επόμενο εμπόδιο), με τον πομπό (ή το προηγούμενο εμπόδιο), όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα
 λ : το μήκος κύματος

Στην περίπτωση πολλαπλών εμποδίων η παράμετρος ν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απωλειών περίθλασης σε κάθε εμπόδιο. Οι συνολικές απώλειες περίθλασης προκύπτουν ως το άθροισμα των επιμέρους (για κάθε εμπόδιο)-μέθοδος Epstein-Peterson.

4.2.3 Μοντέλα SUI

Πρόκειται για ακρωνύμιο που περιγράφει τα μοντέλα διάδοσης που αναπτύχθηκαν από το πανεπιστήμιο του Stanford (Stanford University Interim) και προτείνονται από την ομάδα εργασίας της IEEE που ασχολείται με την οικογένεια πρωτοκόλλων 802.16.

Ανήκουν στην κατηγορία των εμπειρικών μοντέλων και έχουν ως βάση προγενέστερη εργασία που πραγματοποιήθηκε από την AT&T Wireless και Erceg et al. Η AT&T Wireless συνέλεξε εκτεταμένα δεδομένα πεδίου από διάφορες περιοχές των Η.Π.Α. για ακριβέστερη εκτίμηση του σταθερού ασύρματου RF περιβάλλοντος. Το μοντέλο που ανέπτυξε υιοθετήθηκε από την IEEE 802.16 και αναφέρεται ως IEEE 802.16.3c-01/29r4. [7]

Ο προορισμός τους στις Η.Π.Α. είναι για συστήματα τη ζώνη συχνοτήτων των MMDS (Multipoint Microwave Distribution System), η οποία κυμαίνεται από τα 2.5 GHz έως τα 2.7 GHz. Στο σημείο όμως αυτό οφείλουμε να αναφέρουμε ότι η καταλληλότητά τους για τη ζώνη συχνοτήτων στα 3.5 GHz (στην οποία θα αναπτυχθούν τα πρώτα συστήματα WiMAX στην Ελλάδα) δεν έχει ακόμη γίνει ξεκάθαρη. Ωστόσο, υπάρχουν πειραματικά δεδομένα για τις απώλειες του πεδίου στα 3.5GHz από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στη Μ.Βρετανία, με τα οποία θα ασχοληθούμε στην πορεία της εργασίας.



Εικόνα 4.12: Παγκόσμιος χάρτης αδειών συστημάτων ασύρματης πρόσβασης

Τα SUI μοντέλα διαιρούνται σε 3 τύπους (A, B και C) ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους.

Τύπος A : σχετίζεται με την περίπτωση μέγιστης απώλειας διάδοσης και είναι κατάλληλος για λοφώδεις περιοχές με μέτρια έως μεγάλη πυκνότητα δένδρων.

Τύπος B : κατάλληλος για εδάφη επίπεδα, μέτριας έως μεγάλης πυκνότητας δένδρων ή για λοφώδεις περιοχές μικρής πυκνότητας δένδρων.

Τύπος C : σχετίζεται με την περίπτωση ελάχιστης απώλειας διάδοσης και είναι κατάλληλος για επίπεδα εδάφη με μικρή πυκνότητα δένδρων. [4]

Η βασική εξίσωση απώλειας διάδοσης με παραμέτρους διόρθωσης έχει ως εξής:

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + s$$

όπου d είναι η απόσταση μεταξύ της κεραίας του σταθμού πρόσβασης (AP) και της κεραίας του χρήστη (CPE) σε m, $d_0 = 100\text{m}$ και s είναι μία παράμετρος

λογαριθμοκανονικά κατανομημένη, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας σκίασης λόγω των δένδρων και άλλων διαταραχών. Η τιμή του s κυμαίνεται μεταξύ 8.2 dB και 10.6 dB. Οι υπόλοιπες παράμετροι ορίζονται ως εξής:

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right)$$

$$\gamma = \alpha - bh_b + \frac{c}{h_b}$$

όπου h_b είναι του ύψος (σε m) του σταθμού βάσης πάνω από το έδαφος. Το h_b πρέπει να ισχύει : $10\text{m} < h_b < 80\text{m}$. Οι τιμές για τις σταθερές a , b , c δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Παράμετρος	Έδαφος A	Έδαφος B	Έδαφος C
a	4.6	4.0	3.6
b (m^{-1})	0.0075	0.0065	0.005
c (m)	12.6	17.1	20

Η παράμετρος γ ισούται με τον εκθέτη στον υπολογισμό της απώλειας διάδοσης. Για δεδομένο τύπο εδάφους ο εκθέτης στην απώλεια διάδοσης καθορίζεται από το h_b .

Οι διορθωτικοί παράγοντες για τη συχνότητα λειτουργίας και για το ύψος της κεραίας του χρήστη (CPE) στο μοντέλο αυτό είναι:

$$X_f = 6.0 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \text{ και}$$

$$X_h = -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_r}{2000} \right), \text{ για τύπους εδάφους A και B}$$

$$\text{είτε } X_h = -20.0 \log_{10} \left(\frac{h_r}{2000} \right), \text{ για τύπο εδάφους C}$$

όπου f είναι η συχνότητα σε MHz και h_r το ύψος της κεραίας του χρήστη πάνω από το έδαφος σε m.

Τα μοντέλα SUI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη των απωλειών διάδοσης, σε περιβάλλοντα: αγροτικά, προαστιακά και αστικά.

Παρουσιάζουμε τα (τροποποιημένα) Μοντέλα SUI, τα οποία κατατέθηκαν στην IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group στις 17-7-2001 σε εργασία με τον τίτλο: “Channel Models for Fixed Wireless Applications”. [7]

Τροποποιημένα SUI μοντέλα

Πρόκειται για ένα σύνολο από 6 επιμέρους μοντέλα, τα οποία σχετίζονται με τους 3 χαρακτηριστικούς τύπους εδαφών στις Η.Π.Α. Ο όρος τροποποιημένα προσδιορίζει το γεγονός ότι οι απώλειες διάδοσης αναφέρονται στην περίπτωση χρήσης

κατευθυντικών κεραιών με γωνιακό εύρος 30° . Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κατάλληλα SUI μοντέλα ανά τύπο εδάφους.

Terrain Type	SUI Channels
C	SUI-1, SUI-2
B	SUI-3, SUI-4
A	SUI-5, SUI-6

K-Factor: Low

Doppler	Low delay spread	Moderate delay spread	High delay spread
Low	SUI-3		SUI-5
High		SUI-4	SUI-6

K-Factor: High

Doppler	Low delay spread	Moderate delay spread	High delay spread
Low	SUI-1,2		
High			

Οι διαλείψεις στο σήμα λόγω του φαινομένου πολλαπλών διόδευσεων μοντελοποιούνται σύμφωνα με το SUI μοντέλο θεωρώντας το σήμα ως μια συνισταμένη 3 εκδοχών (tapped-delay line), από τις οποίες η κάθε μία παρουσιάζει διαφορετική καθυστέρηση. Το κέρδος που συνδέεται με κάθε εκδοχή του σήματος χαρακτηρίζεται από μια κατανομή (Ricean με έναν παράγοντα $K > 0$ ή Rayleigh με παράγοντα $K=0$) και από τη μέγιστη συχνότητα Doppler.

Χρησιμοποιώντας την πιο πάνω σύνθεση των SUI μοντέλων και υποθέτοντας το ακόλουθο σενάριο προκύπτουν 6 μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τους πραγματικούς ραδιοδιαύλους.

Σενάριο για τα τροποποιημένα μοντέλα SUI

- Ακτίνα κυψέλης: 7 km
- Ύψος κεραιάς στο σταθμό βάσης: 30 m
- Ύψος της κεραιάς του χρήστη: 6 m
- Γωνιακό εύρος της κεραιάς σταθμού βάσης: 120°
- Γωνιακό εύρος κεραιάς του δέκτη: ισοτροπική (360°) και κατευθυντική (30°).

Μία κατευθυντική κεραία με γωνιακό εύρος 30° έχει 2.3 φορές μικρότερο RMS delay spread σε σχέση με μία ομοιοκατευθυντική κεραία. Η 2^η συνιστώσα ισχύος έχει μια πρόσθετη εξασθένηση της τάξης των 6 dB και η 3^η της τάξης των 12 dB. Για την περίπτωση ομοιοκατευθυντικών κεραιών λήψης των χρηστών, οι καθυστερήσεις των συνιστωσών και οι ισχείς τους είναι σύμφωνες με το μοντέλο COST 207.

Για το σενάριο κατά το οποίο έχουμε:

- κάθετη (vertical) πόλωση και
- 90% κάλυψη στην κυψέλη με αξιοπιστία 99.9% σε κάθε σημείο κάλυψης,

προκύπτουν τα ακόλουθα 6 SUI μοντέλα.

SUI – 1 Channel				
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units
Delay	0	0.4	0.9	μs
Power (omni ant.)	0	-15	-20	dB
90% K-fact. (omni)	4	0	0	
75% K-fact. (omni)	20	0	0	
Power (30° ant.)	0	-21	-32	dB
90% K-fact. (30°)	16	0	0	
75% K-fact. (30°)	72	0	0	
Doppler	0.4	0.3	0.5	Hz
Antenna Correlation:		$\rho_{ENV} = 0.7$		Terrain Type: C
Gain Reduction Factor:		GRF = 0 dB		Omni antenna: $\tau_{RMS} = 0.111 \mu s$,
Normalization Factor:		$F_{omni} = -0.1771 \text{ dB}$, $F_{30^{\circ}} = -0.0371 \text{ dB}$		overall K: K = 3.3 (90%); K = 10.4 (75%)
				30° antenna: $\tau_{RMS} = 0.042 \mu s$,
				overall K: K = 14.0 (90%); K = 44.2 (75%)

SUI – 2 Channel				
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units
Delay	0	0.4	1.1	μs
Power (omni ant.)	0	-12	-15	dB
90% K-fact. (omni)	2	0	0	
75% K-fact. (omni)	11	0	0	
Power (30° ant.)	0	-18	-27	dB
90% K-fact. (30°)	8	0	0	
75% K-fact. (30°)	36	0	0	
Doppler	0.2	0.15	0.25	Hz
Antenna Correlation:		$\rho_{ENV} = 0.5$	Terrain Type: C	
Gain Reduction Factor:		GRF = 2 dB	Omni antenna: $\tau_{RMS} = 0.202 \mu s$,	
Normalization Factor:		$F_{omni} = -0.3930 \text{ dB}$, $F_{30^\circ} = -0.0768 \text{ dB}$	overall K: K = 1.6 (90%); K = 5.1 (75%)	
			30° antenna: $\tau_{RMS} = 0.069 \mu s$,	
			overall K: K = 6.9 (90%); K = 21.8 (75%)	

SUI – 3 Channel				
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units
Delay	0	0.4	0.9	μs
Power (omni ant.)	0	-5	-10	dB
90% K-fact. (omni)	1	0	0	
75% K-fact. (omni)	7	0	0	
Power (30° ant.)	0	-11	-22	dB
90% K-fact. (30°)	3	0	0	
75% K-fact. (30°)	19	0	0	
Doppler	0.4	0.3	0.5	Hz
Antenna Correlation:		$\rho_{ENV} = 0.4$	Terrain Type: B	
Gain Reduction Factor:		GRF = 3 dB	Omni antenna: $\tau_{RMS} = 0.264 \mu s$,	
Normalization Factor:		$F_{omni} = -1.5113 \text{ dB}$, $F_{30^\circ} = -0.3573 \text{ dB}$	overall K: K = 0.5 (90%); K = 1.6 (75%)	
			30° antenna: $\tau_{RMS} = 0.123 \mu s$,	
			overall K: K = 2.2 (90%); K = 7.0 (75%)	

SUI – 4 Channel				
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units
Delay	0	1.5	4	μs
Power (omni ant.)	0	-4	-8	dB
90% K-fact. (omni)	0	0	0	
75% K-fact. (omni)	1	0	0	
Power (30° ant.)	0	-10	-20	dB
90% K-fact. (30°)	1	0	0	
75% K-fact. (30°)	5	0	0	
Doppler	0.2	0.15	0.25	Hz
Antenna Correlation:		$\rho_{ENV} = 0.3$	Terrain Type: B	
Gain Reduction Factor:		GRF = 4 dB	Omni antenna: $\tau_{RMS} = 1.257 \mu s$	
Normalization Factor:		$F_{omni} = -1.9218 \text{ dB}$, $F_{30^\circ} = -0.4532 \text{ dB}$	overall K: K = 0.2 (90%); K = 0.6 (75%)	
			30° antenna: $\tau_{RMS} = 0.563 \mu s$	
			overall K: K = 1.0 (90%); K = 3.2 (75%)	

SUI – 5 Channel				
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units
Delay	0	4	10	μs
Power (omni ant.)	0	-5	-10	dB
90% K-fact. (omni)	0	0	0	
75% K-fact. (omni)	0	0	0	
50% K-fact (omni)	2	0	0	
Power (30° ant.)	0	-11	-22	dB
90% K-fact. (30°)	0	0	0	
75% K-fact. (30°)	2	0	0	
50% K-fact. (30°)	7	0	0	
Doppler	2	1.5	2.5	Hz
Antenna Correlation:		$\rho_{ENV} = 0.3$	Terrain Type: A	
Gain Reduction Factor:		GRF = 4 dB	Omni antenna: $\tau_{RMS} = 2.842 \mu s$	
Normalization Factor:		$F_{omni} = -1.5113 \text{ dB}$, $F_{30^\circ} = -0.3573 \text{ dB}$	overall K: K = 0.1 (90%); K = 0.3 (75%); K = 1.0 (50%)	
			30° antenna: $\tau_{RMS} = 1.276 \mu s$	
			overall K: K = 0.4 (90%); K = 1.3 (75%); K = 4.2 (50%)	

SUI – 6 Channel					
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units	
Delay	0	14	20	μs	
Power (omni ant.)	0	-10	-14	dB	
90% K-fact. (omni)	0	0	0		
75% K-fact. (omni)	0	0	0		
50% K-fact. (omni)	1	0	0		
Power (30° ant.)	0	-16	-26	dB	
90% K-fact. (30°)	0	0	0		
75% K-fact. (30°)	2	0	0		
50% K-fact. (30°)	5	0	0		
Doppler	0.4	0.3	0.5	Hz	
Antenna Correlation:		ρ _{ENV} = 0.3		Terrain Type:	A
Gain Reduction Factor:		GRF = 4 dB		Omni antenna:	τ _{RMS} = 5.240 μs
Normalization Factor:		F _{omni} = -0.5683 dB, F _{30°} = -0.1184 dB		overall K:	K = 0.1 (90%); K = 0.3 (75%); K = 1.0 (50%)
				30° antenna:	τ _{RMS} = 2.370 μs
				overall K:	K = 0.4 (90%); K = 1.3 (75%); K = 4.2 (50%)

Η εξάπλωση καθυστέρησης λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης (**Multipath Delay Spread**) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε μια μελέτη ραδιοκάλυψης. Έπεται ως αποτέλεσμα της σκέδασης του σήματος κατά τη διάρκεια διάδοσης στο περιβάλλον. Τυπικές τιμές για το RMS delay spread κυμαίνονται μεταξύ 0.1 και 5 μs.

Ο παράγοντας **K** ορίζονται ως ο λόγος της ισχύος που αποτελεί τη σταθερή συνιστώσα του σήματος προς τη μεταβλητή συνιστώσα. Αν είναι ίσος με 0, τότε ο ραδιοδιάυλος ακολουθεί κατανομή Rayleigh. Για μεγαλύτερες τιμές, ο ραδιοδιάυλος θεωρείται ότι ακολουθεί Ricean κατανομή. [8]

Επέκταση των μοντέλων σε άλλες συχνότητες

Αναμένεται ότι τα προτεινόμενα στατιστικά μοντέλα για την εξάπλωση καθυστέρησης (delay spread), για τον παράγοντα K και για το GRF μπορούν με ασφάλεια να χρησιμοποιηθούν στη ζώνη συχνοτήτων 1 GHz έως 4 GHz. Με κατάλληλους διορθωτικούς παράγοντες για τη συχνότητα τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των απωλειών διάδοσης στις συχνότητες αυτές. Παρ' όλα αυτά το φάσμα Doppler είναι συνάρτηση της κεντρικής συχνότητας και απαιτείται για το συγκεκριμένο ζήτημα περαιτέρω διερεύνηση.

4.2.4 Μοντέλο COST-231 Hata

Η χρήση του μοντέλου διάδοσης COST-231 Hata είναι ευρεία στην πρόβλεψη των απωλειών διάδοσης στα συστήματα κινητών ασύρματων επικοινωνιών. Προτάθηκε ως επέκταση του μοντέλου Hata-Okumura. Έχει σχεδιαστεί για χρήση στη ζώνη συχνοτήτων 500 MHz έως 2000 MHz . Επίσης, περιλαμβάνει διορθώσεις για αστικά, προαστιακά και αγροτικά (επίπεδα) περιβάλλοντα. Παρ' ότι η ζώνη συχνοτήτων στην οποία λειτουργεί το μοντέλο διαφέρει της ζώνης των 3.5 GHz, η απλότητά του και η καταλληλότητα των διορθωτικών παραγόντων το έχουν καταστήσει ευρέως χρησιμοποιούμενο στην εκτίμηση των απωλειών διάδοσης και σε αυτή τη ζώνη συχνοτήτων. Η βασική εξίσωση για τις απώλειες διάδοσης σε dB είναι:

$$PL = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_b - ah_m + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d + c_m \quad (1)$$

όπου f είναι η συχνότητα σε MHz , d είναι η απόσταση ανάμεσα στην κεραία του σταθμού πρόσβασης (AP) και την κεραία του χρήστη (CPE) σε km και h_b είναι το ύψος της κεραίας σταθμού πρόσβασης (AP) από το έδαφος σε m. Η παράμετρος c_m ορίζεται ως 0 dB για προαστιακές περιοχές ή ανοιχτές περιοχές και 3 dB για αστικά περιβάλλοντα. Η παράμετρος ah_m ορίζεται για αστικά περιβάλλοντα ως:

$$ah_m = 3.20(\log(11.75h_r))^2 - 4.97 \quad \text{για } f > 400\text{MHz}$$

και για προαστιακά ή αγροτικά (επίπεδα) περιβάλλοντα:

$$ah_m = (1.1 \log f - 0.7)h_r - (1.56 \log f - 0.8) \quad (2)$$

όπου h_r είναι το ύψος της κεραίας του συστήματος του χρήστη (CPE) πάνω από το έδαφος. Η παρατήρηση των (1) και (2) μας δίνει τον εκθέτη των απωλειών διάδοσης που εκτιμώνται από το μοντέλο COST-231 Hata ο οποίος είναι:

$$n_{COST} = (44.9 - 6.55 \log h_b) / 10$$

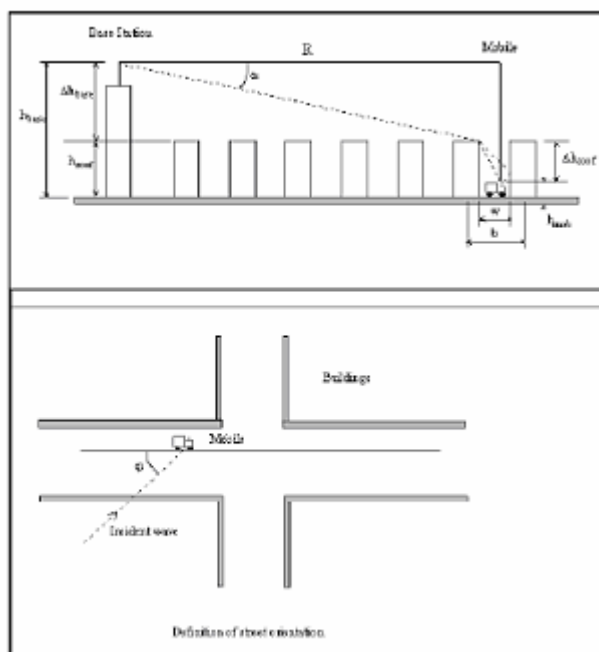
Για διερεύνηση της καταλληλότητας του COST-231 μοντέλου για τη ζώνη των 3.5 GHz, οι εκτιμήσεις του μοντέλου συγκρίνονται με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης : αγροτικό (επίπεδο), προαστιακό και αστικό, στη Μ.Βρετανία. [4]

4.2.5 Μοντέλο COST-231 Walfisch-Ikegami

Το μοντέλο COST-231 Walfisch-Ikegami (W-I) θεωρείται κατάλληλο για την εκτίμηση των απωλειών διάδοσης σε αστικές περιοχές ή εναλλακτικά για επίπεδες προαστιακές. Οι προϋποθέσεις του είναι οι ακόλουθες:

- $800 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$
- $4 \text{ m} < h_t < 50 \text{ m}$
- $1 \text{ m} < h_r < 3 \text{ m}$
- $20 \text{ m} < d < 5 \text{ Km}$

Ταιριάζει με τα εκτεταμένα πειραματικά δεδομένα για επίπεδες προαστιακές περιοχές και αστικές περιοχές με ομοιόμορφο ύψος κτιρίων. Το Cost 231 W-I βρέθηκε ότι είναι σε συμφωνία με το μοντέλο που παρουσιάστηκε για τον τύπο εδάφους C (επίπεδη περιοχή με μικρή πυκνότητα δένδρων) για προαστιακές περιοχές, παρέχοντας συνέχεια ανάμεσα στα 2 προτεινόμενα μοντέλα.



The parameters used in the COST 231 W-I model are as shown in the illustrations on the left

(Πηγή: [9])

Εικόνα 4.13: Παρασταστική απεικόνιση των παραμέτρων του COST 321 W-I μοντέλου

Είναι ημι-εμπειρικό μοντέλο διότι εκτός από εκτεταμένες μετρήσεις που λαμβάνει υπόψη του από αντίστοιχα περιβάλλοντα διάδοσης, χρησιμοποιεί ως

παραμέτρους το ύψος των παρεμβαλλόμενων κτηρίων ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη, το πλάτος των δρόμων καθώς και τη γωνία που σχηματίζουν οι δρόμοι σε σχέση με τη δέση ακτινοβολίας από τον πομπό. Βασίζεται στα μοντέλα COST 231 και Walfisch-Bertoni.

Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται και για αστικά και για ημι-αστικά περιβάλλοντα. Υπάρχουν τρεις όροι οι οποίοι συνθέτουν τη βασική εξίσωση απωλειών διάδοσης.

$$L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$$

L_0 = απώλειες ελευθέρου χώρου (free space loss)

L_{rts} = απώλειες λόγω περίθλασης στις οροφές των κτηρίων και σκέδασης του σήματος (roof top to street diffraction)

L_{msd} = απώλειες λόγω πολλαπλών ανακλάσεων (multi-screen loss)

όπου

$$L_0 = 32.4 + 20 \log \frac{R}{km} + 20 \log \frac{f}{MHz}$$

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log \frac{w}{m} + 10 \log \frac{f}{MHz} + 20 \log \frac{\Delta h_{mobile}}{m} + L_{ori} \quad \text{για } h_{roof} > h_{mobile}$$

$$= 0 \quad \text{για } L_{rts} < 0$$

$$\text{όπου } L_{ori} = -10 + 0.354 \frac{\phi}{deg} \quad \text{για } 0 \leq \phi \leq 35 \text{ deg}$$

$$= 2.5 + 0.075 \left(\frac{\phi}{deg} - 35 \right) \quad \text{για } 35 \leq \phi \leq 55 \text{ deg}$$

$$= 4.0 + 0.114 \left(\frac{\phi}{deg} - 55 \right) \quad \text{για } 55 \leq \phi \leq 90 \text{ deg}$$

$$\text{και } \Delta h_{mobile} = h_{roof} - h_{mobile}$$

$$L_{msd} = L_{beh} + k_a + k_d \log \frac{R}{km} + k_f \log \frac{f}{MHz} - 9 \log \frac{b}{m}$$

$$= 0 \quad \text{για } L_{msd} < 0$$

όπου

$$L_{beh} = -18 \log \left(1 + \frac{\Delta h_{base}}{m} \right) \quad \text{για } h_{base} > h_{roof}$$

$$= 0 \quad \text{για } h_{base} \leq h_{roof}$$

$$\begin{aligned}
k_a &= 54 && \text{για } h_{\text{base}} > h_{\text{roof}} \\
&= 54 - 0.8 \frac{\Delta h_{\text{base}}}{m} && \text{για } R \geq 0.5 \text{ km και } h_{\text{base}} \leq h_{\text{roof}} \\
&= 54 - 0.8 \frac{\Delta h_{\text{base}}}{m} \frac{R / \text{km}}{0.5} && \text{για } R < 0.5 \text{ km και } h_{\text{base}} \leq h_{\text{roof}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_d &= 18 && \text{για } h_{\text{base}} > h_{\text{roof}} \\
&= 18 - 15 \frac{\Delta h_{\text{base}}}{h_{\text{roof}}} && \text{για } h_{\text{base}} \leq h_{\text{roof}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
k_f &= -4 + 0.7 \left(\frac{f / \text{MHz}}{925} - 1 \right) && \text{για μεσαίου μεγέθους πόλεις} \\
&&& \text{και ημιαστικά κέντρα με μέτρια πυκνότητα δένδρων} \\
&= -4 + 1.5 \left(\frac{f / \text{MHz}}{925} - 1 \right) && \text{για μητροπολιτικά κέντρα}
\end{aligned}$$

Σημειώνουμε ότι $\Delta h_{\text{base}} = h_{\text{base}} - h_{\text{roof}}$

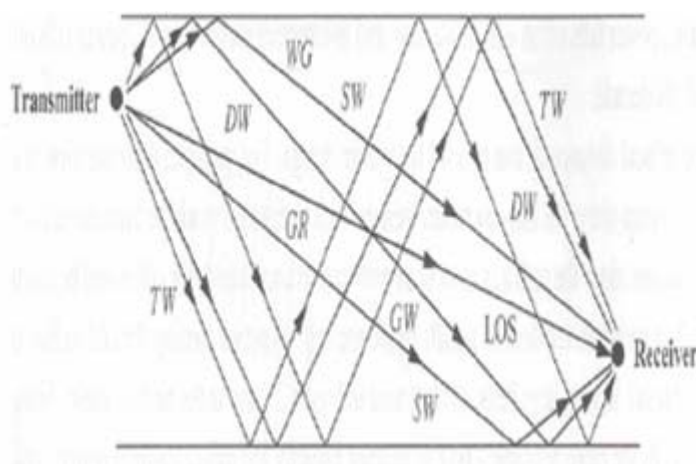
Το μοντέλο είναι περιορισμένο από τα ακόλουθα πεδία παραμέτρων:

f : 800....2000 MHz
 h_{base} : 4....50 m
 h_{mobile} : 1....3 m
 R : 0.02....5 km

4.2.6 Ray-Tracing Μοντέλο

Ανήκει στην κατηγορία των φυσικών μοντέλων. Δεν είναι μια συνεκτική μαθηματική τεχνική, αλλά μια συλλογή μεθόδων. Βασίζεται σε Γεωμετρική Οπτική (GO), στην Ενιαία Θεωρία Περίθλασης (UTD) και άλλους μηχανισμούς σκέδασης που μπορούν να προβλέψουν την ηλεκτρομαγνητική σκέδαση στα διάφορα αντικείμενα του περιβάλλοντος διάδοσης. Οι τελικές τροχιές των ακτίνων μπορούν να βρεθούν, χρησιμοποιώντας την εξίσωση του πεδίου και μια βάση δεδομένων που περιγράφει το περιβάλλον διάδοσης. Παρ' όλα αυτά αν υπάρχει μία ελλιπής ή μία ανεπαρκής ως προς την ακρίβεια περιγραφή του περιβάλλοντος διάδοσης, το μοντέλο Ray-tracing δεν εξασφαλίζει πλήρη και ακριβή υπολογισμό του πεδίου σε όλες τις θέσεις.

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει για να ελέγξουν την αξιοπιστία του ray-tracing μοντέλου. Οι προβλέψεις του μοντέλου θεωρούνται ικανοποιητικές όταν συγκριθούν με τις τιμές του σήματος όπως αυτές μετρώνται στην πραγματικότητα. Το κύριο μειονέκτημα των ray-tracing μοντέλων είναι ότι οι υπολογισμοί είναι αρκετά απαιτητικοί χρονικά, ωστόσο η αυξανόμενη ταχύτητα των επεξεργαστών έχει βοηθήσει την κατάσταση σε κάποιο βαθμό.



Εικόνα 4.14: Συνολική άποψη του μοντέλου δέκα ακτίνων

Πιθανά φαινόμενα στη διάδοση μιας ακτίνας είναι:

- Διάδοση ελευθέρου χώρου
- Κατοπτρική ανάκλαση
- Περίθλαση
- Διάχυση λόγω σκέδασης σε εξωτερική επιφάνεια
- Μετάδοση σε εξωτερική επιφάνεια

Ray-tracing μοντέλα είναι τα two-dimensional (2D) και three-dimensional (3D). Το 2D λαμβάνει υπόψη το περιβάλλον διάδοσης σε δύο μόνο διαστάσεις (δηλ. υλοποιείται για συγκεκριμένο ύψος), ενώ το 3D συνυπολογίζει τις απώλειες διάδοσης σε περιβάλλον όπου οι ακτίνες μπορούν να οδεύουν και στις 3 διαστάσεις.

4.2.7 Μοντέλο ECC-33

Από την αρχή υπήρξε η ανάγκη ανάπτυξης Σταθερών Ασύρματων Ευρυζωνικών Ζεύξεων (FWB) εντός αστικών περιοχών. Ως πρώτη προσπάθεια συλλογής πειραματικών δεδομένων για το πεδίο, με σκοπό την ανάπτυξη ραδιοζεύξεων, αναφέρουμε τις μετρήσεις του Okumura σε προάστια του Τόκιο.

Αναφερόμενοι στις αστικές περιοχές θα κάνουμε διαχωρισμό των περιοχών σε 2 κατηγορίες. Την κατηγορία των πόλεων μεγάλης έκτασης και την κατηγορία των πόλεων των μεσαίας έκτασης. Επειδή τα χαρακτηριστικά μιας πολύ πυκνά οικοδομημένης περιοχής όπως είναι το Τόκιο είναι αρκετά διαφορετικά από αυτά που συναντούμε σε τυπικά ευρωπαϊκά προάστια συστήνεται η χρήση του μοντέλου για πόλη μεσαίας έκτασης.

Σχετικά με τα μοντέλα διάδοσης σε αυτό τον τύπο περιοχής παρατηρούμε ότι ενώ το Hata-Okumura μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως στη UHF ζώνη συχνοτήτων, η ορθότητά του αμφισβητείται για ζώνη μεγαλύτερων συχνοτήτων. Το COST-231 μοντέλου επέκτεινε τη χρήση του έως τα 2 GHz, αλλά προτάθηκε για κινητά συστήματα έχοντας στον εξοπλισμό των χρηστών ισοτροπικές κεραίες σε ύψος μικρότερο των 3 m από την επιφάνεια του εδάφους. Υπήρξε η ανάγκη υιοθέτησης ενός μοντέλου το οποίο να αντιπροσωπεύει σε πληρέστερο βαθμό ένα FWA σύστημα. Μοντέλο αυτών των προσδοκιών παρουσιάστηκε από την Electronic Communication Committee (ECC) και αναφέρεται ως ECC-33 μοντέλο. Παρέχονται διορθωτικοί παράγοντες για προαστιακό και ανοιχτό τύπο περιοχών. Στο εν λόγω μοντέλο οι απώλειες διάδοσης καθορίζονται ως εξής:

$$PL = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r$$

όπου A_{fs} , A_{bm} , G_b , G_r είναι οι απώλειες διάδοσης ελευθέρου χώρου, η βασική μέση απώλεια διάδοσης, το κέρδος της κεραίας του σταθμού βάσης και το κέρδος της κεραίας του χρήστη, τα οποία ορίζονται ως

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log d + 7.894 \log f + 9.56(\log f)^2$$

$$G_b = \log(h_b / 200) \{13.958 + 5.8(\log d)^2\}$$

και για περιβάλλοντα πόλεων μέσης έκτασης:

$$G_r = [42.57 + 13.7 \log f][\log h_r - 0.585]$$

όπου f είναι η συχνότητα σε GHz, d είναι η απόσταση ανάμεσα στην κεραία του σταθμού πρόσβασης (AP) και την κεραία του χρήστη (CPE) σε km, h_b είναι το ύψος της κεραίας σταθμού πρόσβασης (AP) σε m και h_r είναι το ύψος της κεραίας του χρήστη σε m.

Το μοντέλο μεσαίας πόλης είναι περισσότερο κατάλληλο για ευρωπαϊκές πόλεις δεδομένου ότι το μοντέλο μεγάλων πόλεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για πόλεις με ψηλά κτήρια. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι οι εκτιμήσεις του μοντέλου ECC-33 δεν συνθέτουν ευθείες γραμμές όταν απεικονίζονται σε σχέση με την απόσταση και αυτή αναφέρεται σε λογαριθμική κλίμακα.

4.3 Σύγκριση Μοντέλων Διάδοσης

Ένας διαχωρισμός των παραπάνω μοντέλων θα μπορούσε να είναι ο εξής:

Εμπειρικά μοντέλα

COST 231-Hata

COST 231 Walfisch-Ikegami (ημι-εμπειρικό)

ECC-33

Στατιστικά μοντέλα

SUI (εμπειρικό-στατιστικό)

Φυσικά

2D

3D

Free Space + RMD

Έχοντας απορρίψει τα θεωρητικά μοντέλα ως ελάχιστα αξιόπιστα στο σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών δικτύων θα συγκρίνουμε εμπειρικά και φυσικά μοντέλα.

Τα εμπειρικά μοντέλα χρησιμοποιούν εκτενείς μετρήσεις για την παραγωγή μιας μέσης περιγραφής του περιβάλλοντος για να προβλέψουν τη μέση τιμή των απωλειών διάδοσης. Λόγω της απλότητάς τους, χρησιμοποιούνται ευρέως. Ωστόσο, παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα. Σε αυτά συγκαταλέγεται ο περιορισμός της

εφαρμογής τους σε συγκεκριμένο φάσμα συχνοτήτων. Οφείλεται στο γεγονός ότι οι εκτενείς μετρήσεις έγιναν στις πιο δημοφιλείς περιοχές του φάσματος (800 έως 2000 MHz). Σε αυτές τις φασματικές περιοχές θεωρούνται αποτελεσματικά. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι δισδιάστατα, δηλ. οι απώλειες διάδοσης περιγράφονται χρησιμοποιώντας μια ενιαία εξίσωση ως συνάρτηση της απόστασης από τον πομπό. Συνεπώς, κατά την εφαρμογή τους αναμένονται αντίστοιχες απώλειες προς όλες τις κατευθύνσεις από τον πομπό προβλέποντας έτσι μια κυκλική περιοχή κάλυψης. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα πραγματικά συστήματα στα ανομοιογενή περιβάλλοντα διάδοσης, όπου η περιοχή κάλυψης από ένα σταθμό βάσης δεν είναι σχεδόν ποτέ κυκλική, ενώ πολλές φορές μπορεί να είναι και ασυνεχής.

Σχετικά με την εφαρμογή των φυσικών μοντέλων (π.χ. 3D) αναφέρουμε ότι γενικά προϋποθέτουν την ύπαρξη κτηριακής βάσης δεδομένων για την περιοχή ραδιοκάλυψης, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη ακρίβεια στην αντίστοιχη εκτίμηση κάλυψης. Ωστόσο, η εφαρμογή τους για μια μελέτη ραδιοκάλυψης σε μια έκταση της τάξης μεγέθους του λεκανοπεδίου της Αττικής θεωρείται μη αποδοτική μέθοδος σχεδιασμού, τουλάχιστον από πλευράς απαιτούμενου χρόνου υπολογισμού και επεξεργασίας του τεράστιου όγκου δεδομένων. Έτσι, συνήθως προτιμάται η χρήση τους σε indoor μελέτες ραδιοκάλυψης.

Στο σημείο αυτό, πριν προχωρήσουμε σε αποτελέσματα μετρήσεων και συγκρίσεις μοντέλων που έχουν δημοσιευθεί, αναφέρουμε συγκεκριμένα στοιχεία που μπορεί να χαρακτηρίζουν μια περιοχή ως αστική (urban), προαστιακή (suburban) ή αγροτική (rural).

Area type	Urban	Suburban	Rural
Area size (km ²)	10 ... 50	100 ... 500	2500 ... 10000
Household density (1/km ²)	5000 ... 1000	500 ... 100	20 ... 5
Business density (1/km ²)	500 ... 100	100 ... 20	2 ... 0.5
Competition level	2	1.5 *	1 *
DSL availability	100%	95%	75%

* only in areas with DSL coverage, no competition in residual markets

Πίνακας 4.1: Κατηγοριοποίηση περιοχών

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι προϋποθέσεις-περιορισμοί για την αποδοτική εφαρμογή των κυριότερων μοντέλων διάδοσης που αναφέραμε.

TABELA 2: OPSEZI PARAMETARA ZA KOJE SU DEFINISANI MODELI

Model	Osnovna namena	Tip sredine	Opseg (GHz)	d (km)	h_1 (m)	h_2 (m)
SUI	Mobilna telefonija	Urbana suburbana ruralna	1.9	10	10-80	2-10
231 Cost Hata	Mobilna telefonija	Urbana suburbana ruralna	0.5– 2	1-20	30-200	1-10
231 Cost W-I	Mobilna telefonija	Urbana suburbana	0.8-2	0.02-5	4-50	1-3
ECC Report	Mobilna telefonija	Urbana suburbana	1.9	10	10-80	2-10
	P-P veze	Ruralna				
ITU-R P.1546	P-MP veze	Urbana suburbana ruralna	0.03-3	1-1000	10-1200	>10

(Πηγή [10])

Πίνακας 4.2: Προϋποθέσεις-περιορισμοί για αποδοτική εφαρμογή των μοντέλων

Σχέση COST 231-Hata και COST 231 W-I

Μετά από σύντομη αναθεώρηση του λάθους που εμφανίστηκε στο COST 231 W-I, έγινε σύγκριση των COST 231 Hata και COST 231 W-I για μια ποσοτική κατανόηση του περιβάλλοντος διάδοσης στο οποίο μέτρησε ο Okumura τις απώλειες διάδοσης κοντά στο Τόκιο.[11] Η μελέτη των παραμέτρων έδειξε ότι το μοντέλο Okumura-Hata (συμπεριλαμβανομένου του COST 231-Hata) προσεγγίζει το μοντέλο COST 231 W-I στην περίπτωση που τα ύψη των παρεμβαλλόμενων κτηρίων ανάμεσα στο πομπό και το δέκτη είναι ίσα με το μισό του πλάτους των δρόμων της περιοχής.

Μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί

Ένα εμπορικής κλίμακας δίκτυο σταθερής ασύρματης πρόσβασης (FWA) εγκαταστάθηκε στο Cambridge, UK το 2003 υπό την επίβλεψη του Ofcom, UK. [4] Το δοκιμαστικό δίκτυο περιελάμβανε σταθμούς βάσης σε 5 sites και περίπου 65 συνδρομητές με εγκατεστημένα CPEs. Η λειτουργία του ήταν στη περιοχή των 3.5 GHz. Το εύρος ζώνης των καναλιών ήταν 3.5 MHz, ενώ τα CPEs τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις μετρήσεις είχαν 3 dB άνοιγμα ίσο με 23^0 . Οι θέσεις μέτρησης ήταν συγκεντρωμένες κυρίως σε μια περιοχή από 250m έως 2 Km από τους σταθμούς βάσης και βρίσκονταν πάνω σε ομόκεντρους κύκλους με ακτινωτές αυξήσεις των 250m. Στο σύνολο πραγματοποιήθηκαν πάνω των 550 μετρήσεις σε περισσότερες από 300 θέσεις. Κάθε μέτρηση αντιστοιχούσε σε 100 μεμονωμένα στιγμιότυπα τα οποία ελήφθησαν ανά 0.3 s. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις που έγιναν με CPEs σε ύψη 10m και 6m. Επισημαίνεται ότι γενικά οι καμπύλες ελαχίστων τετραγώνων (Least Square-LS) των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε ύψη των CPEs ίσα με 10m και 6m ακολουθούν την καμπύλη FSL (Free Space Loss). Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και γίνεται σύγκριση των χρησιμοποιούμενων μοντέλων διάδοσης.

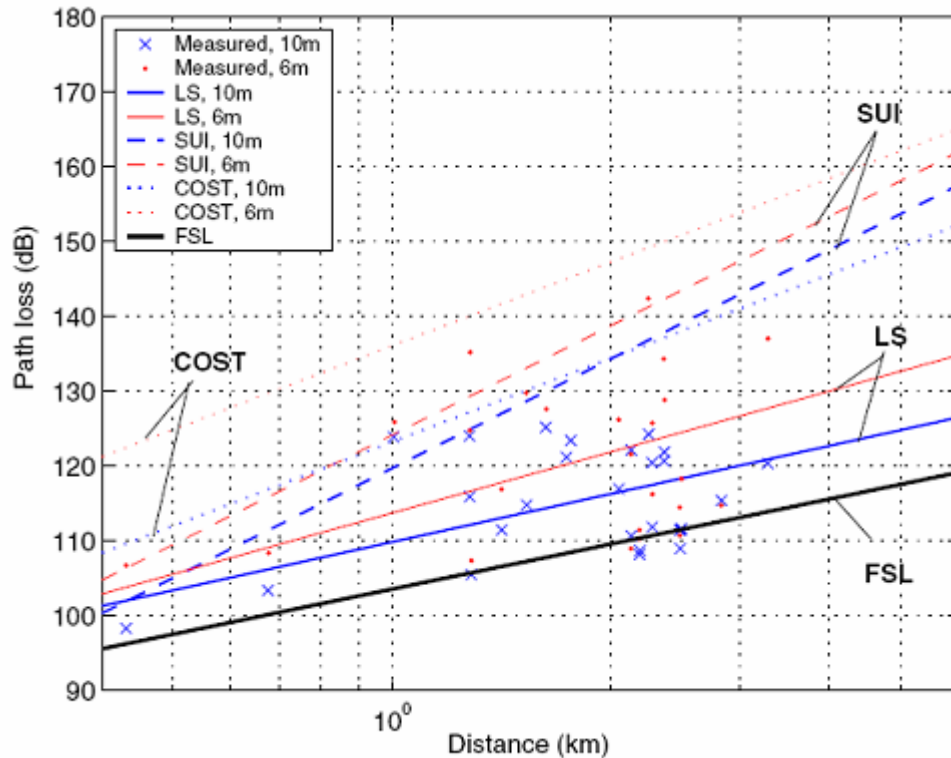
Για τον προσδιορισμό των απωλειών διάδοσης που αντιστοιχούν σε κάθε σημείο μέτρησης χρησιμοποιήθηκε η μετρούμενη στάθμη της ισχύος λήψης. Η εξίσωση που περιγράφει τις απώλειες διάδοσης σε dB σε σχέση με την απόσταση d :

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

όπου d_0 είναι η απόσταση του σημείου αναφοράς από το σταθμό βάσης (ισούται με 1 km), ενώ το n είναι γνωστό ως εκθέτης απωλειών διάδοσης. Σημειώνεται ότι στη διάδοση ελευθέρου χώρου (FSL) ο εκθέτης απωλειών διάδοσης ισούται με $n = 2$. Εκφράζει το ρυθμό αύξησης των απωλειών σε σχέση με την απόσταση.

Στην Εικόνα 4.15 φαίνονται οι προβλέψεις των μοντέλων SUI και COST 231-Hata για ύψος κεραίας AP ίσο με 15m. Σημειώνεται ότι το ECC-33 μοντέλο δεν είναι κατάλληλο για αγροτικές περιοχές. Το σφάλμα πρόβλεψης υπολογίζεται ως η διαφορά

μεταξύ πρόβλεψης και μέτρησης. Οι παράμετροι μ_e , σ_e είναι το μέσο σφάλμα πρόβλεψης και η τυπική απόκλιση του σφάλματος πρόβλεψης αντίστοιχα (μηδενικό μέσο σφάλμα θεωρούμε ότι έχει η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων).



Εικόνα 4.15: Σύγκριση των εμπειρικών μοντέλων με τις μετρήσεις από ένα τυπικό αγροτικό περιβάλλον

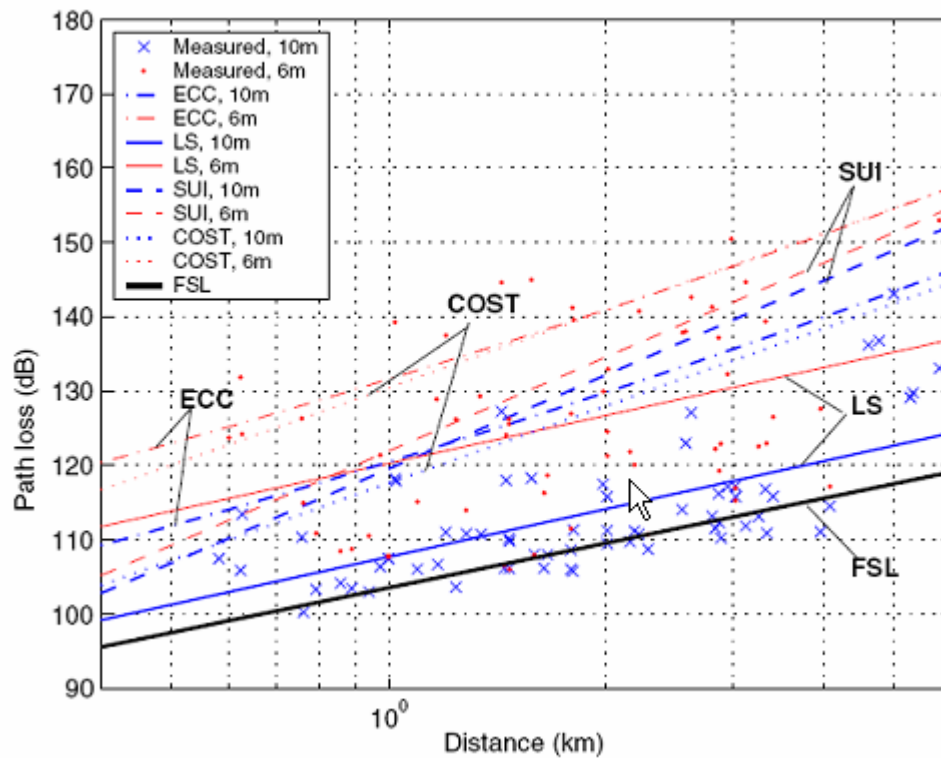
CPE (m)	LS (dB)		SUI (dB)		COST (dB)	
	σ_e	μ_e	σ_e	μ_e	σ_e	μ_e
10	6.7	14.8	10.6	16.3	8.2	
6	10.0	14.2	12.0	24.1	10.5	

Πίνακας 4.3: Στατιστική λαθών μοντέλου προβλέψεων συγκρινόμενο με παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για αγροτικό περιβάλλον

Στην περίπτωση των αγροτικών περιοχών, τόσο το αντίστοιχο μοντέλο SUI όσο και το COST 231-Hata υπερεκτιμούν τις απώλειες διάδοσης σε σχέση με τις μετρούμενες τιμές, ειδικά σε απόσταση πέραν των 5 km.

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι προβλέψεις των 3 μοντέλων. Για το SUI μοντέλο επιλέχθηκε τύπος εδάφους B, ενώ για το COST 231-Hata επιλέχθηκε τύπος

περιβάλλοντος suburban. Το ύψος της κεραίας του AP ήταν 38m. Παρατηρούμε ότι γενικά και τα 3 μοντέλα υπερεκτιμούν τις απώλειες σε προαστιακό περιβάλλον διάδοσης. Ωστόσο, το ECC-33 και το COST 231-Hata εμφανίζουν μικρότερα σφάλματα.



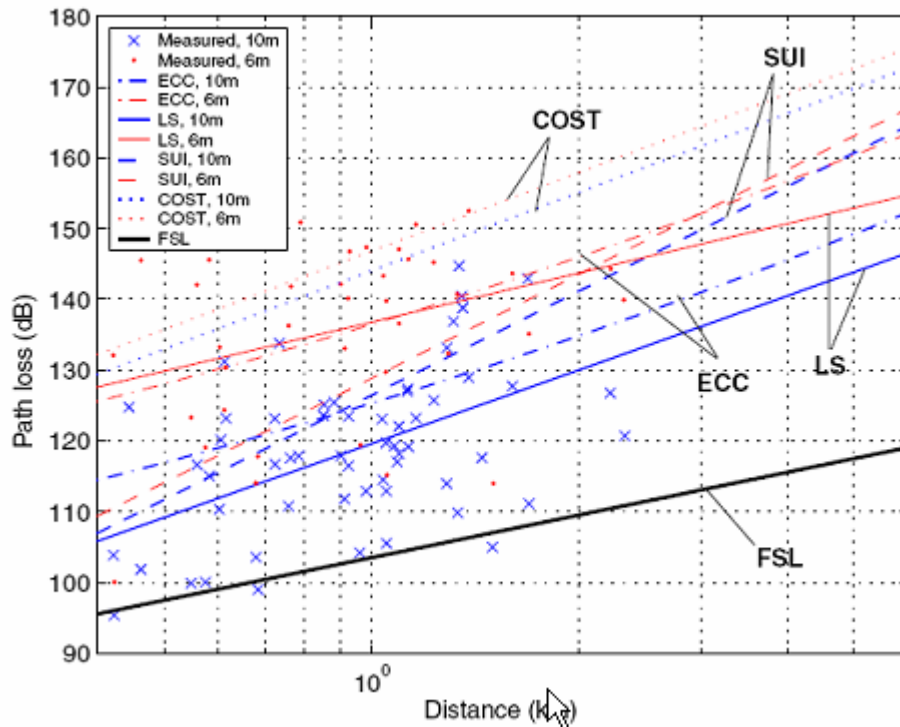
Εικόνα 4.16: Σύγκριση των εμπειρικών μοντέλων με τις μετρήσεις από ένα τυπικό ημιαστικό περιβάλλον

CPE (m)	LS(dB)	SUI (dB)		COST (dB)		ECC (dB)	
	σ_e	μ_e	σ_e	μ_e	σ_e	μ_e	σ_e
10	6.5	16.9	8.8	13.1	7.5	15.4	6.9
6	11.1	6.1	12.4	13.0	11.7	13.6	11.4

Πίνακας 4.4: Στατιστική λαθών μοντέλου προβλέψεων συγκρινόμενο με παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για αγροτικό περιβάλλον

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αστικό περιβάλλον διάδοσης το ύψος της κεραίας του AP ήταν 17m. Σημειώνεται ότι τα SUI μοντέλα δεν έχουν ειδική

παραμετροποίηση για αστικά περιβάλλοντα. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης προσομοίωσης ραδιοκάλυψης επιλέχθηκε ως πλέον κατάλληλος ο τύπος εδάφους B. Για την εφαρμογή του COST-231 Hata και ECC-33 επιλέχθηκε ως καταλληλότερος ο τύπος εδάφους urban και medium city, αντίστοιχα.



Εικόνα 4.17: Σύγκριση των εμπειρικών μοντέλων με τις μετρήσεις από ένα τυπικό αστικό περιβάλλον

CPE (m)	LS(dB)	SUI (dB)		COST (dB)		ECC (dB)	
	σ_e	μ_e	σ_e	μ_e	σ_e	μ_e	σ_e
10	9.6	4.2	10.1	24.2	9.7	6.4	9.8
6	11.7	-12.3	13.3	8.4	12.1	-0.7	11.8

(Πηγή [4])

Πίνακας 4.5: Στατιστική λαθών μοντέλου προβλέψεων συγκρινόμενο με παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για αγροτικό περιβάλλον

Παρατηρούμε ότι οι καλύτερες προβλέψεις δίνονται από το ECC-33 μοντέλο, ειδικά στην περίπτωση τοποθέτησης των CPEs στα 6m. Η τυπική απόκλιση σ_e των σφαλμάτων του ECC-33 είναι συγκρίσιμη με την τυπική απόκλιση των μετρήσεων από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.

Model	Rural		Suburban		Urban	
	10m	6m	10m	6m	10m	6m
LS	2.13	2.70	2.13	2.13	3.46	2.30
SUI	4.85	4.85	4.20	4.20	4.89	4.89
COST	3.71	3.71	3.45	3.45	3.68	3.68
ECC	-	-	3.24	3.24	3.37	3.37

Πίνακας 4.6: Εκθέτες απωλειών διαδρομής

Στον παραπάνω πίνακα συγκρίνονται οι εκθέτες των απωλειών διαδρομής των διαφόρων μοντέλων διάδοσης σε σχέση με τους αντίστοιχους που προκύπτουν από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων των μετρήσεων.

Τα SUI μοντέλα εμφανίζουν τη μικρότερη μέση τιμή σφάλματος των προβλέψεων σε σχέση με τις μετρήσεις όταν το ύψος των CPEs είναι 10m. Ωστόσο, στην περίπτωση που το ύψος των CPEs μειωθεί στα 6m παρατηρείται υποτίμηση των απωλειών διάδοσης από το μοντέλο SUI. Αυτό δικαιολογείται λόγω του ducting effect – φαινόμενο σωλήνωσης κατά το οποίο το σήμα “κυματοδηγείται” κατά μήκος των δρόμων ενός αστικού περιβάλλοντος.

Το COST 231-Hata υπερεκτιμά πάρα πολύ τις απώλειες διάδοσης για θέσεις των CPEs στα 10m, ενώ οι προβλέψεις για τα 6 m είναι αρκετά καλύτερες. Οι εκθέτες των απωλειών διάδοσης δείχνουν να συμφωνούν περισσότερο με τους αντίστοιχους των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων (LS) παρά με αυτούς των SUI μοντέλων.

Οι καλύτερες προβλέψεις δίνονται από το ECC-33 μοντέλο, τόσο σε προαστικό όσο και σε αστικό περιβάλλον. Οι εκθέτες των απωλειών διαδρομής είναι οι πιο κοντινοί στους αντίστοιχους εκθέτες που προκύπτουν από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων των μετρήσεων.

Πρόβλεψη ραδιοκάλυψης με χρήση 3D μοντέλου

Στην πόλη του Cambridge (UK) πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πεδίου για διαφορετικά σενάρια (συνθήκες διάδοσης, ύψη κεραιών, απόσταση από τον AP κλπ.) σε ένα εμπορικό δίκτυο Ευρωζωνικής Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης (BFWA) [12].

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 3D ray-tracing, με αλγόριθμο βελτιστοποιημένο για τη ζώνη συχνοτήτων στα 3.5 GHz. Αν και οι αρχικές συγκρίσεις μεταξύ των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης είναι ενθαρρυντικές, προκειμένου να αποφευχθούν παραπλανητικά συμπεράσματα προτείνεται περαιτέρω εργασία για τη βελτιστοποίηση του μοντέλου. Μακροπρόθεσμα, αναμένεται η ray-trace προσέγγιση να είναι η πλέον αξιόλογη για την πρόβλεψη της απόδοσης του συστήματος.

4.4 Συμπεράσματα

Τα εμπειρικά μοντέλα διάδοσης έχουν βρει μεγάλη ανταπόκριση τόσο στην ερευνητική κοινότητα όσο και στη βιομηχανία των Τηλεπικοινωνιών, λόγω της γρήγορης εκτέλεσης και της περιορισμένης εξάρτησης από τη λεπτομερή γνώση του περιβάλλοντος διάδοσης. Παρά το γεγονός ότι η μελέτη των εμπειρικών μοντέλων διάδοσης για κινητές τηλεπικοινωνίες είναι εξαντλητική, η καταλληλότητα-αξιοπιστία τους για FWA συστήματα μένει να επιβεβαιωθεί.

Έγινε αναφορά στο πολυπληθές σύνολο μετρήσεων στα 3.5 GHz στο Cambridge της Αγγλίας που έγιναν προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία των 3 μοντέλων που αναφέρθηκαν, για περιβάλλοντα διάδοσης αστικά, προαστιακά και αγροτικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν γενικά ότι τα μοντέλα SUI και το COST-231 Hata μοντέλο υπερεκτιμούσαν τις απώλειες διάδοσης σε όλους τους τύπους περιβάλλοντος. Το μοντέλο ECC-33 παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα ειδικά στην περίπτωση του αστικού περιβάλλοντος.

Στο σχεδιασμό Ευρυζωνικών Σταθερών Ασύρματων Δικτύων Πρόσβασης (BFWA) στα 3.5 GHz τα μοντέλα διάδοσης που προτιμώνται προς το παρόν είναι:

1. Το μοντέλο COST 231- Walfisch Ikegami (όντας εμπειρικό μοντέλο που λαμβάνει ωστόσο υπόψη του συγκεκριμένες παραμέτρους του περιβάλλοντος στο οποίο εφαρμόζεται π.χ. πλάτος δρόμων)
2. Το μοντέλο ECC-33 (συστήνεται ισχυρά για αστικά περιβάλλοντα του ευρωπαϊκού χώρου)

3. Το μοντέλο COST 231-Hata (προτιμότερο στην περίπτωση ραδιοκάλυψης κινητών συστημάτων με μικρά ύψη κεραιών)
4. Τα μοντέλα SUI (με επιφύλαξη ως προς την εφαρμογή τους σε αστικά περιβάλλοντα διάδοσης)

Η απόκλιση ανάμεσα στη στάθμη ισχύος που εκτιμά το μοντέλο ραδιοκάλυψης και στη μετρούμενη στην ίδια θέση δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8 dB προκειμένου το χρησιμοποιούμενο μοντέλο να θεωρείται αντιπροσωπευτικό του πραγματικού περιβάλλοντος διάδοσης. Στο σημείο αυτό αναφέρουμε ότι έχει γίνει αρκετή δουλειά σχετικά με μοντέλα διάδοσης για εφαρμογή σε ζώνη συχνοτήτων 900MHz και 1800 MHz. Για τη ζώνη των 3.5 GHz απαιτείται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να βρεθούν κατάλληλα μοντέλα διάδοσης που θα έχουν αξιόπιστα αποτελέσματα στο σχεδιασμό Ευρυζωνικών Δικτύων Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης (BFWA). Στην κατεύθυνση αυτή θα μπορούσε να συμβάλει σειρά μετρήσεων π.χ. στο λεκανοπέδιο της Αττικής, ώστε να διαπιστωθούν οι διορθωτικές παρεμβάσεις που απαιτούνται στα ήδη υπάρχοντα μοντέλα διάδοσης προκειμένου να αντιπροσωπεύουν πιο πιστά το περιβάλλον διάδοσης στη χώρας μας.

5

Πρωτόκολλα ποιότητας υπηρεσιών

5.1 Εισαγωγή

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

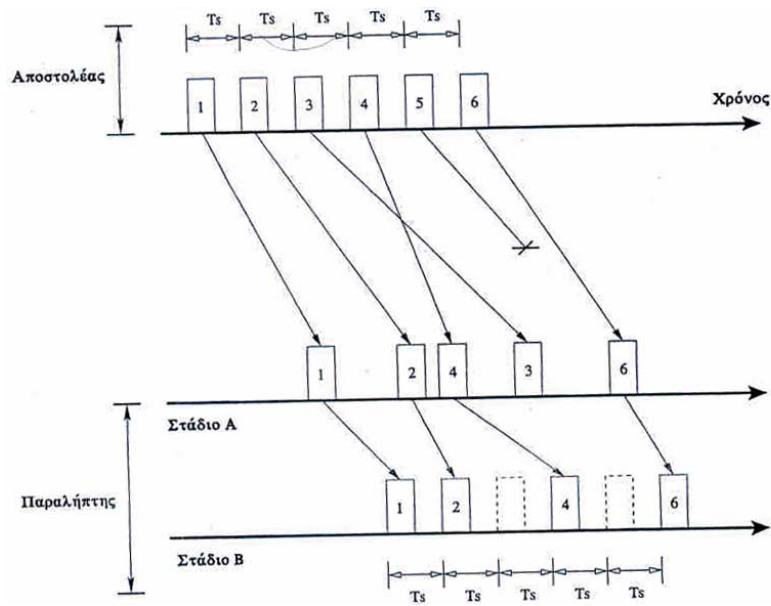
Διαισθητικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο όρος Ποιότητα Υπηρεσίας περιγράφει τη συνολική εμπειρία που αποκομίζει ένας χρήστης ή μια εφαρμογή από το δίκτυο. Πέρα όμως από τη διαισθητική περιγραφή του όρου QoS, η επιστημονική κοινότητα επιδιώκει τον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων που ποσοτικοποιούν την Ποιότητα Υπηρεσίας ως μέγεθος ανεξάρτητο από την υποκειμενική αντίληψη του χρήστη. [1]

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

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

Οι παραπάνω μετρικές της ποιότητας υπηρεσίας ορίζονται ως εξής:

- **Εύρος ζώνης (Bandwidth):** είναι ο ρυθμός, με τον οποίο μπορούν να μεταδοθούν δεδομένα σε κάποια ζεύξη του δικτύου, συνήθως σε bits/sec. Για τη μεταφορά μιας υπηρεσίας μπορεί να ενδιαφέρουν: η μέγιστη τιμή εύρους ζώνης που μπορεί να διατεθεί από το δίκτυο, η μέση τιμή καθώς και η ελάχιστη.
- **Καθυστέρηση (delay):** Πρόκειται για τον χρόνο που χρειάζεται ένα πακέτο για να φτάσει μέσω του δικτύου από τον αποστολέα στον παραλήπτη του.
- **Η διακύμανση καθυστέρησης (jitter) :** είναι η διακύμανση της μέσης χρονικής απόστασης μεταξύ διαδοχικών πακέτων σε μια συγκεκριμένη ροή.
- **Απώλειες πακέτων (loss):** είναι το ποσοστό απώλειας πακέτων (loss) που σημειώνεται είτε εξαιτίας της υπερχείλισης των θέσεων μνήμης στις ουρές αναμονής μετάδοσης των δρομολογητών, είτε λόγω αλλοίωσης από θόρυβο των φυσικών μέσων μετάδοσης, είτε από αναδιάταξη (reordering) λόγω μεταφοράς πακέτων της ίδιας ροής μέσω διαφορετικών μονοπατιών. [1]



(Πηγή [2])

Εικόνα 5.1: Καθυστέρηση, jitter και απώλεια πακέτων σε μεταγωγή πακέτων

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

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

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

Με αυτόν τον τρόπο επιβαρύνεται η επίδοση των ήδη εγκατεστημένων συνδέσεων, δίνοντας την εντύπωση στο χρήστη ότι ένα δίκτυο βέλτιστης προσπάθειας δεν είναι ποτέ πλήρως κατειλημμένο, αντίθετα με αυτό που συμβαίνει στα συνήθη κυκλώματα μεταγωγής. [3]

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

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

(Πηγή [1])

Πίνακας 5.1: Κατηγορίες εφαρμογών και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας

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

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

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

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

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

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

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

1. Μηχανισμοί Αστυνόμευσης (policing)

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

Πιο αναλυτικά, μπορούμε να ορίσουμε τρία σημαντικά κριτήρια αστυνόμευσης (ρύθμιση της ταχύτητας με την οποία μπορεί να στέλνει πακέτα στο δίκτυο μια

εφαρμογή). Κάθε κριτήριο διαφέρει από τα άλλα ανάλογα με τη χρονική κλίμακα στην οποία γίνεται η αστυνόμευση. Τα κριτήρια είναι: της μέσης ταχύτητας, της μέγιστης ταχύτητας και του μεγέθους ακολουθίας πακέτων. Για το χαρακτηρισμό των ορίων αστυνόμευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναλογία ο μηχανισμός του “τρύπιου δοχείου” (leaky bucket). [4]

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

2. Μηχανισμοί Χρονοπρογραμματισμού (scheduling)

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

Σε ένα δίκτυο τα πακέτα που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας «πολυπλέκονται» (multi-plexed) και αναμένουν στην ουρά για μετάδοση, στους ενταμιευτές εξόδου μιας σύνδεσης. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται πακέτα από την ουρά αναμονής για μετάδοση μέσω της σύνδεσης αναφέρεται ως **μέθοδος χρονοπρογραμματισμού της σύνδεσης (scheduling)**. Η μέθοδος χρονοπρογραμματισμού παίζει σημαντικό ρόλο στις καθυστερήσεις που υφίστανται τα πακέτα και συνεπώς στην παροχή υπηρεσιών εγγυημένης ποιότητας.[4]

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

- απόλυτης προτεραιότητας (strict Priority Queuing, PQ)
- δίκαιος με βάρη (Weighted Fair Queuing, WFQ)

- κυκλικής σειράς με βάρη (Weighted Round Robin, WRR)
- WRR με έλλειμμα (Deficit Weighted Round Robin)
- υβριδικό όπως ο βασιζόμενος σε κλάσεις (Class Based Queuing, CBQ)
κ.ά.

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

Έτσι, οι μηχανισμοί διακρίνονται περαιτέρω σε :

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

Στους μηχανισμούς σταθερού έργου (work-conserving) το μέγεθος του εύρους ζώνης που παραχωρείται σε κάθε καταχωρητή είναι σταθερό ανεξάρτητα με το αν ο συνολικός φόρτος είναι χαμηλός και αφήνει μέρος του εύρους ζώνης αναξιοποίητο. Αντίθετα, στους μηχανισμούς μη σταθερού έργου (not work-conserving) όταν υπάρχει επιπλέον εύρος ζώνης αυτό μοιράζεται μεταξύ των καταχωρητών που έχουν πακέτα προς μετάδοση αυξάνοντας έτσι το μερίδιο που τους αντιστοιχεί. [1]

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

5.2 IntServ

5.2.1 Εισαγωγή

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

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

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

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

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

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

Οι real-time εφαρμογές διακρίνονται περαιτέρω σε δύο υποκατηγορίες :

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

Tolerant εφαρμογές χαρακτηρίζονται εκείνες οι real-time εφαρμογές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αφομοιώσουν διακυμάνσεις σε delay και jitter και να λειτουργήσουν ικανοποιητικά σε αντίθεση με τις intolerant εφαρμογές των οποίων η ποιότητα μειώνεται σε παρόμοιες συνθήκες. [1]

Η αρχιτεκτονική IntServ βασίζεται στην προσέγγιση ανά ροή και τη δυναμική δέσμευση πόρων. Μέσω της αρχιτεκτονικής IntServ παρέχεται εξατομικευμένη εγγυήση ποιότητας υπηρεσίας σε μεμονωμένες συνόδους εφαρμογών. Η λογική πίσω από την IntServ αρχιτεκτονική είναι ότι σε κάθε ροή (flow) δίνονται απόλυτες εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας για την πιθανότητα απωλειών καθώς και για την καθυστέρηση, εφόσον η κίνηση για κάθε ροή υπακούει σε προκαθορισμένες παραμέτρους. Μία ροή καθορίζεται (στο IPv4) από τις IP διευθύνσεις πηγής και προορισμού, αριθμούς sockets και πρωτόκολλο μεταφοράς. Στο IPv6 υπάρχει ειδικό πεδίο γι' αυτό το σκοπό. Οι ροές αναφέρονται σε μία κατεύθυνση μόνο (σε αντίθεση με μια TCP σύνδεση, που είναι διπλής κατεύθυνσης). Κάθε ροή λοιπόν μπορεί να συσχετιστεί με μια τιμή ToS (Type Of Service), η οποία αναφέρεται στην ποιότητα υπηρεσίας που απαιτεί. Το πεδίο ToS βρίσκεται στην κεφαλίδα ενός πακέτου του IPv4. [2]

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

Τα δύο βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής των Ενοποιημένων Υπηρεσιών είναι:

- Δέσμευση πόρων: Ένας δρομολογητής απαιτείται να ξέρει το ποσοστό των πόρων του (ενταμιευτές, εύρος ζώνης) που είναι ήδη εγκατεστημένοι από τις ήδη εγκατεστημένες ροές.
- Εγκατάσταση κλήσης: Μια ροή με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας θα πρέπει πρώτα να δεσμεύσει επαρκείς πόρους σε κάθε δρομολογητή στο μονοπάτι από την πηγή στον προορισμό για να διασφαλίσει από άκρη σε άκρη ποιότητα υπηρεσίας. Η διαδικασία εγκατάστασης κλήσης (γνωστή και ως αποδοχή κλήσης) απαιτεί τη συμμετοχή κάθε δρομολογητή που βρίσκεται στο μονοπάτι. Κάθε δρομολογητής θα πρέπει να ορίσει τους πόρους που απαιτούνται τοπικά από τη συγκεκριμένη ροή, το ποσοστό των πόρων που είναι δεσμευμένοι από τις υπάρχουσες ροές και εάν έχει επαρκείς πόρους για να ικανοποιήσει την ανά κόμβο ποιότητα υπηρεσίας της συγκεκριμένης ροής σε αυτόν τον δρομολογητή, χωρίς να αθετήσει τις τοπικές εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας στις ήδη εγκατεστημένες ροές. [3]

Η διαδικασία προετοιμασίας για αποδοχή κλήσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

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

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

2. *Σηματοδοσία για την αποδοχή κλήσης.*

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

3. *Αποδοχή κλήσης ανά στοιχείο.*

Αφού ένας δρομολογητής λάβει τα Tspec και Rspec για μία σύνοδο, η οποία ζητά εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας, μπορεί να εξακριβώσει εάν μπορεί να κάνει αποδεκτή τη λύση ή όχι. Αυτή η απόφαση αποδοχής ή όχι της κλήσης θα εξαρτάται από τον χαρακτηρισμό της κυκλοφορίας, την υπηρεσία και τη διαθεσιμότητα πόρων από τις ήδη εγκατεστημένες συνόδους. [4]

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

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

5.2.2 Υπηρεσία εγγυημένης ποιότητας

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

συγκεκριμένης ροής στέλνει πακέτα στο δίκτυο σύμφωνα με τις παραμέτρους κίνησης που έχουν προσυμφωνηθεί με το δίκτυο.

Η διαδικασία ενεργοποίησης της υπηρεσίας ξεκινά από τον αποστολέα (sender) ο οποίος καθορίζει τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα χρησιμοποιήσει την υπηρεσία και στη συνέχεια ο παραλήπτης (receiver) καθορίζει το επιθυμητό επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας. Όσο ο αποστολέας στέλνει στο δίκτυο κίνηση που υπακούει στα δοθέντα χαρακτηριστικά, τα πακέτα φτάνουν στον αποστολέα χωρίς απώλειες εξαιτίας πιθανής συμφόρησης και με καθυστέρηση μικρότερη ή το πολύ ίση με το δοθέν άνω όριο καθυστέρησης. Για να είναι δυνατή η πραγματοποίηση της υπηρεσίας Guaranteed QoS, κάθε κόμβος του από άκρου σε άκρο μονοπατιού θα πρέπει να υλοποιεί τους απαραίτητους μηχανισμούς που την υποστηρίζουν. Σημειώνεται πως εγγυήσεις παρέχονται για την μέγιστη καθυστέρηση και όχι για την ελάχιστη ή κατά μέσο όρο καθυστέρηση, αλλά και κατά κανένα τρόπο για τη διακύμανση της καθυστέρησης (jitter). [3]

Προορίζεται για υπηρεσίες πολυμέσων με αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά το χρόνο παράδοσης των ψηφιακών δεδομένων όπως είναι οι εφαρμογές μεταφοράς ήχου και εικόνας, όπου το μέγεθος των ενταμιευτών στους αποκωδικοποιητές είναι μικρό και σταθερό με αποτέλεσμα κάθε καθυστερημένο πακέτο να απορρίπτεται.

5.2.3 Υπηρεσία ελεγχόμενου φόρτου

Μία σύνοδος η οποία λαμβάνει υπηρεσία ελεγχόμενου φορτίου θα λάβει “ποιότητα υπηρεσίας η οποία προσεγγίζει το επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας που θα λάμβανε η ίδια κυκλοφορία από ένα στοιχείο του δικτύου το οποίο δεν αντιμετωπίζει φόρτο” (RFC 2211). Προσεγγίζει τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η υπηρεσία best-effort σε ελαφρώς φορτωμένα δίκτυα, ανεξάρτητα με τον πραγματικό φόρτο του δικτύου την κάθε στιγμή. Στην πραγματικότητα, το ποσοστό απώλειας πακέτων είναι ιδιαίτερα χαμηλό και η καθυστέρηση εξαιτίας του χρόνου αναμονής στις ουρές μετάδοσης των κόμβων του δικτύου πολύ μικρή. Η υλοποίηση αυτής της υπηρεσίας προϋποθέτει, όπως και για την Guaranteed QoS υπηρεσία, η εφαρμογή του χρήστη να τροφοδοτήσει το δίκτυο με τα στοιχεία της κίνησης που πρόκειται να παράγει, σε αυτή την περίπτωση μια εκτίμηση των χαρακτηριστικών της κίνησης. Στη συνέχεια, κάθε κόμβος στο μονοπάτι μεταφοράς της συγκεκριμένης υπηρεσίας χρησιμοποιεί αυτή την εκτίμηση για να υπολογίσει αν οι διαθέσιμοι πόροι είναι αρκετοί για την εξυπηρέτησή

της, χωρίς όμως να κάνει χρήση αυστηρών μαθηματικών μοντέλων και των παραμέτρων που αφορούν την καθυστέρηση και την απώλεια. Κατ' αυτό τον τρόπο είναι πιθανό, διακυμάνσεις στον ρυθμό της κίνησης που τελικά παράγεται από τις πηγές να οδηγεί σε περιστασιακή συμφόρηση με αποτέλεσμα καθυστερήσεις ή/και απώλειες πακέτων, οι οποίες όμως, καθώς δεν είναι ιδιαίτερα έντονες, δεν επηρεάζουν την ποιότητα των tolerant εφαρμογών που εξυπηρετούν.[1]

Η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι κατάλληλη για υπηρεσίες πολυμέσων, οι οποίες μπορούν να ανεχθούν μικρές απώλειες πακέτων και μικρές καθυστερήσεις, αρκεί αυτό να γίνεται μέσα σε ένα λογικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, η υπηρεσία Video on Demand θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τη συγκεκριμένη κλάση, αρκεί το τερματικό του δέκτη να είχε το κατάλληλο μέγεθος ενταμιευτή, ώστε να μπορεί να κρατήσει ψηφιακά δεδομένα, το χρονικό μήκος των οποίων πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη καθυστέρηση που μπορεί να εισάγει το δίκτυο. Μια τέτοιου είδους υπηρεσία πολυμέσων πραγματικού χρόνου ονομάζεται προσαρμοσμένη υπηρεσία πραγματικού χρόνου (adaptive real-time application). Αντίθετα για την υπηρεσία μετάδοσης φωνής μεταξύ δύο συνομιλητών, όπου η μέγιστη καθυστέρηση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 125 ms, η κατηγορία ελεγχόμενου φορτίου είναι ακατάλληλη. [3]

5.2.4 Υπηρεσία βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)

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

5.2.5 Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – RSVP

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

Το Πρωτόκολλο Δέσμευσης Πόρων – Resource Reservation Protocol, RSVP (RFC 2205, Zhang 1993) διαφέρει σε αρκετά σημεία από άλλα πρωτόκολλα σηματοδότησης που έχουν αναπτυχθεί για δίκτυα μεταγωγής πακέτου. Χαρακτηριστικότερη διαφορά είναι η υποστήριξη πολλαπλών ετερογενών δεσμεύσεων μέσα σε μια σύνοδο. Αυτό σημαίνει ότι διαφορετικοί δέκτες της ίδιας συνόδου μπορούν να ζητήσουν διαφορετική ποιότητα υπηρεσίας. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται είτε διότι δεν έχουν όλοι οι δέκτες την ίδια δικτυακή υποδομή (πχ. ένας δέκτης μπορεί να λαμβάνει μέρος σε μια υπηρεσία τηλεδιάσκεψης μέσω ενός απλού modem στα 56 kbps ενώ ένας άλλος να είναι συνδεδεμένος σε ένα LAN των 10Mbps), είτε λόγω διαφοροποίησης του κόστους βάσει της ποιότητας υπηρεσίας. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RSVP, είναι η υποστήριξη δυναμικής μεταβολής της ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής πακέτων. Ανά πάσα στιγμή ο κάθε δέκτης μπορεί να μεταβάλει τις παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας μιας ροής χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνει πρώτα προσωρινή κατάργησή της και εκ νέου εγκατάστασή της. Ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό που συναντάμε στο RSVP είναι ότι η δέσμευση των πόρων του δικτύου γίνεται από τον δέκτη της πληροφορίας και όχι από τον πομπό. Αυτό είναι απαραίτητο για την υποστήριξη ετερογενών δεσμεύσεων μέσα στην ίδια σύνοδο. Μάλιστα, ο δέκτης της πληροφορίας μπορεί να ζητήσει από το δίκτυο να δεσμευτούν λιγότεροι πόροι από ότι ορίζεται στο προφίλ κίνησης του πομπού. Ακόμη, το γεγονός ότι η δέσμευση πόρων γίνεται από το δέκτη της πληροφορίας διευκολύνει την ύπαρξη συνόδων με πολύ μεγάλο αριθμό μελών.

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

Application		
Sockets I/F		
TCP	UDP	RSVP
IP		
Data Link Layer		

(Πηγή [3])

Εικόνα 5.2: Στοίβα πρωτοκόλλων τερματικού Διαδικτύου

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

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

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

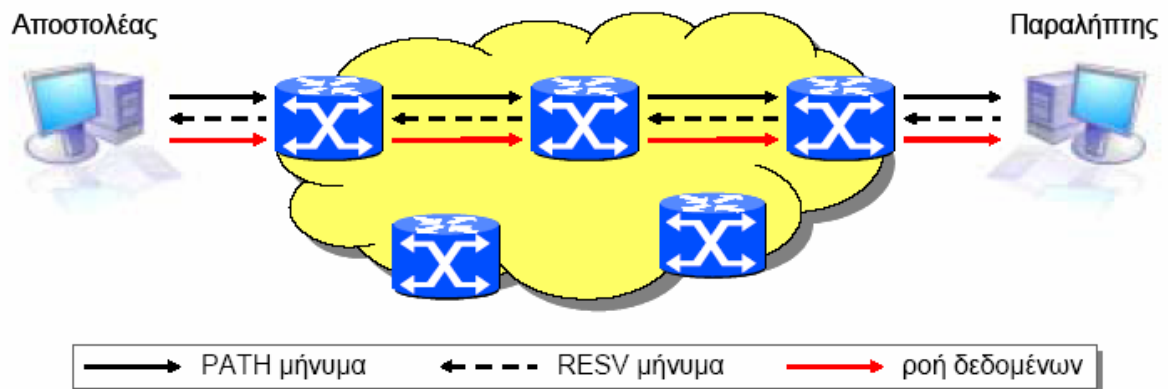
Αρχικά, PATH μηνύματα στέλνονται από τον αποστολέα (αιτούσα πλευρά) προς τον προορισμό. Αυτά τα μηνύματα περιλαμβάνουν πληροφορία που αφορά τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα παράγει ο αποστολέας και τη διεύθυνση IP του προηγούμενου στη σειρά κόμβου ώστε να είναι δυνατή η αντίστροφη δρομολόγηση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

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

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

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

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



(Πηγή [1])

Εικόνα 5.3: Ενεργοποίηση υπηρεσίας με RSVP

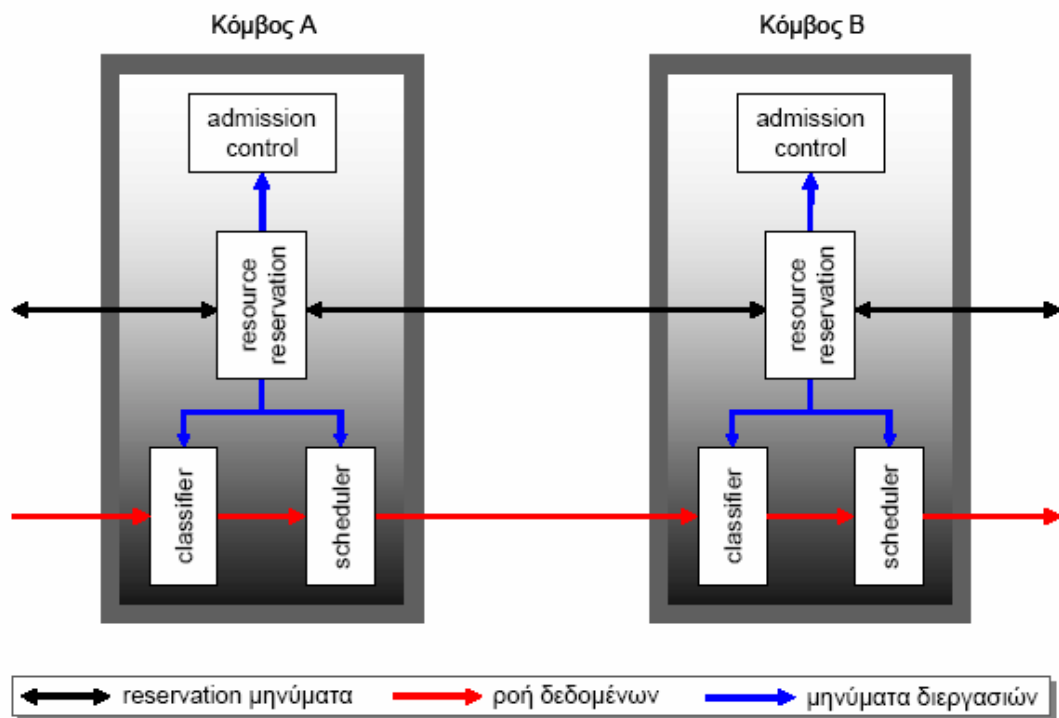
5.2.6 Μηχανισμοί Ελέγχου Κίνησης

Η αρχιτεκτονική IntServ ορίζει τρεις μηχανισμούς που αποτελούν τις λειτουργίες του ελέγχου κίνησης στους δρομολογητές του δικτύου (βλέπε Εικόνα 5.4), τον χρονοπρογραμματισμό πακέτων (packet scheduler), τον ταξινομητή πακέτων (packet classifier) και τον έλεγχο εισόδου κίνησης (admission control). Οι μηχανισμοί ελέγχου κίνησης μαζί με το μηχανισμό δέσμευσης πόρων, όπως τελικά υλοποιείται από το πρωτόκολλο RSVP, αποτελούν τα τέσσερα δομικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στους κόμβους για την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής IntServ.

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

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

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



(Πηγή [1])

Εικόνα 5.4: Λειτουργικό μοντέλο κόμβου IntServ

5.2.7 Αξιολόγηση

Πλεονεκτήματα του μοντέλου IntServ – RSVP

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

Ένα άλλο όφελος του RSVP είναι ότι χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα πρωτόκολλα δρομολόγησης ώστε να ορίσει το μονοπάτι της ροής μεταξύ της πηγής και

του προορισμού. Περιοδικά επαναμεταδίδονται τα μηνύματα **PATH**¹ και **RESV**² και το πρωτόκολλο μπορεί και αντιδρά στην αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου. Αυτά ακριβώς τα ανανεωμένα PATH και RESV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν το μονοπάτι της δεσμευμένης ροής. Η απώλεια αυτών των μηνυμάτων μπορεί να βοηθήσει επίσης στη διαπίστωση ότι είτε ο αποστολέας είτε ο παραλήπτης δεν είναι πλέον ενεργός. Όταν ο δρομολογητής ανακαλύψει αυτήν την απώλεια, αποδεσμεύει τους πόρους που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη σύνοδο.

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

Μειονεκτήματα του μοντέλου IntServ – RSVP

Η αρχιτεκτονική IntServ ωστόσο παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα εφαρμογής σε μεγάλη κλίμακα (scalability) που απορρέουν από τη χρήση του RSVP. Οι πόροι σε ισχύ επεξεργασίας και χώρο μνήμης ενός δρομολογητή που αναλίσκονται για τις ανάγκες του RSVP σε επίπεδο ελέγχου (control plane) και σε επίπεδο δεδομένων (data plane) αυξάνουν αναλογικά με τον αριθμό των ροών που απαιτούν ποιότητα υπηρεσίας, εκείνων δηλαδή που χρησιμοποιούν υπηρεσία άλλης της best effort. Έχει αποδειχθεί πως οι περισσότερες IP συνδέσεις από άκρου σε άκρο διαρκούν πολύ λίγο και πως μερικές δεκάδες χιλιάδες τέτοιες συνδέσεις είναι ενεργές ανά πάσα

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

² **RESV message**: Όταν το μήνυμα PATH περάσει μέσα από όλους τους ενδιάμεσους δρομολογητές και φτάσει τελικά στο δέκτη (ή στους δέκτες) της πληροφορίας, τότε αυτός στέλνει στο δίκτυο το κατάλληλο μήνυμα RSVP, που ονομάζεται RESV message, για τη δέσμευση των αντίστοιχων πόρων. Το μήνυμα RESV περιέχει τους πόρους που θέλει ο συγκεκριμένος δέκτης να δεσμεύσει από το δίκτυο για τη ροή των πακέτων που περιγράφεται από το μήνυμα PATH που έλαβε.[3]

στιγμή σε ένα μέσο δρομολογητή ενός δικτύου κορμού. Τα RSVP μηνύματα για την εγκατάσταση κάθε τέτοιας σύνδεσης επιβαρύνουν σημαντικά το δίκτυο σε εύρος ζώνης αναλογικά με το εύρος ζώνης που τελικά χρησιμοποιείται από αυτές τις συνδέσεις. Είναι φανερό πως, ιδιαίτερα δίκτυα κορμού με φυσικές συνδέσεις υψηλής ταχύτητας, η απόδοση των δρομολογητών επηρεάζεται σημαντικά από την επιβάρυνση σε επεξεργαστική ισχύ εξαιτίας του RSVP, της διαχείρισης πληροφορίας για τις ενεργές ροές και της ταξινόμησης κάθε εισερχόμενου πακέτου σε μία από αυτές τις ενεργές ροές. Επιπλέον, οι περισσότερες γνωστές υλοποιήσεις scheduling αλγορίθμων δεν μπορούν να διαχειριστούν παρόμοιο πλήθος ταυτόχρονων ενεργών ροών. Χειροτερεύοντας ακόμα το σενάριο, αν η τοπολογία του δικτύου άλλαζε, οι δεσμεύσεις πόρων για όλες αυτές τις συνδέσεις θα έπρεπε να διαπραγματευτούν ξανά ταυτοχρόνως. Όλα αυτά καθιστούν σχεδόν αδύνατη την εφαρμογή του RSVP σε μεγάλη κλίμακα. [1]

5.3 DiffServ

5.3.1 Εισαγωγή

Αναγνωρίζοντας τα προβλήματα εφαρμογής της αρχιτεκτονικής IntServ σε μεγάλη κλίμακα, ο οργανισμός IETF δημιούργησε την ομάδα εργασίας Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (Differentiated Services, DiffServ) με σκοπό τη δημιουργία μιας εναλλακτικής πρότασης επέκτασης της βασικής αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου για παροχή ποιότητας υπηρεσίας που να είναι εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα (scalable).

Η συγκεκριμένη ομάδα εργασίας, που θεσπίστηκε το Φεβρουάριο του 1998, παρουσίασε το Δεκέμβριο του ίδιου έτους το RFC 2475 για την Αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών.

Η βασική αρχή της αρχιτεκτονικής DiffServ είναι ότι τοποθετεί τη διαχείριση ροών κίνησης στα άκρα του δικτύου, όπου γίνεται η ανάθεση και συνάθροιση (aggregation) των ροών κίνησης σε πεπερασμένες και προκαθορισμένες κλάσεις, ενώ η διαχείριση των κλάσεων αυτών γίνεται από τους εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Έτσι, η ογκώδης πληροφορία και η πολύπλοκη επεξεργασία (π.χ. αστυνόμευση,

μορφοποίηση) των ξεχωριστών ροών, δηλαδή των μεμονωμένων συνόδων που αποτελούσαν τις ροές στο IntServ, περιορίζεται στους ακραίους κόμβους, ενώ οι εσωτερικοί κόμβοι, ανεξάρτητα από το πλήθος των ενεργών ροών, καλούνται να διαχειριστούν ανά πάσα στιγμή τον ίδιο αριθμό κλάσεων, καθιστώντας την αρχιτεκτονική εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα. Αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής Diff-Serv έναντι του μοντέλου IntServ/RSVP, καθώς μπορεί εύκολα να κλιμακωθεί. [1]

Ως αποτέλεσμα των πιο πάνω είναι και η απαλλαγή των εσωτερικών κόμβων από τη διαδικασία δέσμευσης πόρων ανά ροή και κατά συνέπεια από την από άκρου σε άκρο σηματοδότηση κατά την ενεργοποίηση μιας ροής. Η πληροφορία για την ποιότητα υπηρεσίας που είναι να λάβει μια ροή φαίνεται στην επικεφαλίδα των πακέτων με την αναγραφή της κλάσης, στην οποία έχει ενταχθεί.

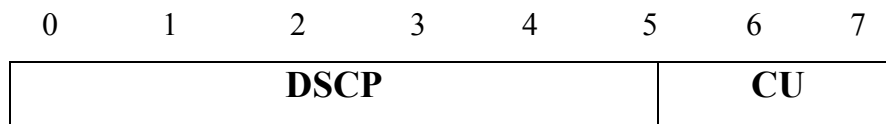
Συγκεκριμένα, η πληροφορία αυτή κωδικοποιείται στο DS πεδίο της επικεφαλίδας των IP πακέτων. Το πεδίο DS (Differentiated Services) ορίστηκε από την ομάδα εργασίας της IEEE για τις Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες, αντικαθιστώντας το πεδίο Type of Service - TOS (στο IPv4) ή το πεδίο Traffic Class (στο IPv6). Αυτή τη στιγμή έχουν γίνει οι απαραίτητοι ορισμοί του DS Field και της αρχιτεκτονικής των Differentiated Services, ωστόσο δεν έχουν ακόμη τυποποιηθεί οι διάφορες υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει το μοντέλο. Οι υπηρεσίες αυτές χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι παρέχονται προς μια κατεύθυνση, είναι δηλαδή μονοκατευθυντικές (uni-directional) και άρα ασύμμετρες. Η αρχιτεκτονική DiffServ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για unicast μετάδοση και το μοντέλο δε μπορεί ακόμα να υποστηρίξει multicast μετάδοση.

Περίληπτικά, η λειτουργία του μοντέλου έχει ως εξής: οι πελάτες ζητούν ένα συγκεκριμένο επίπεδο υπηρεσίας, μαρκάροντας το DS field του κάθε πακέτου με μια συγκεκριμένη τιμή. Η τιμή αυτή προσδιορίζει την ανά κόμβο συμπεριφορά του δικτύου (Per-Hop Behavior, PHB) ως προς το πακέτο. Οι τιμές του DS πεδίου είναι μέσα στα πλαίσια της συμφωνίας (Service Level Agreement, SLA) ανάμεσα στον πάροχο (provider) και τον πελάτη και ορίζουν τις παραμέτρους του επιπέδου υπηρεσίας, όπως είναι ο ρυθμός μετάδοσης, η προτεραιότητα μετάδοσης και απόρριψη, η εξυπηρέτηση στην ουρά κ.α. [5]

5.3.2 Κατηγοριοποίηση

Η αρχιτεκτονική DiffServ αντί να καθορίσει τα χαρακτηριστικά των ίδιων των υπηρεσιών, καθορίζει τα χαρακτηριστικά πεπερασμένων κλάσεων που υλοποιεί το δίκτυο και οι οποίες αποτελούν τα δομικά στοιχεία με βάση τα οποία στη συνέχεια κάθε Πάροχος Διαδικτύου μπορεί να δομήσει τις υπηρεσίες που θα παρέχει στην περιοχή του, εξυπηρετώντας καλύτερα τις ιδιαίτερες ανάγκες του. [1]

Κάθε πακέτο που εισέρχεται στο δίκτυο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών μαρκάρεται με ένα Κωδικό Σημείο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ Code Point, DSCP) στο πεδίο DS. Πακέτα με το ίδιο DSCP ανήκουν σε μία συσσωρευμένη συμπεριφορά (behaviour aggregate) και λαμβάνουν την ίδια μεταχείριση PHB, ανεξάρτητα από τη ροή στην οποία ανήκουν.[3] Στη συνέχεια, αναλύουμε το DS πεδίο.



DSCP = DiffServ Code Point [RFC 2474]

CU = Currently Unused

Εικόνα 5.5: Πεδίο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DS field)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το format του DS field, όπως έχει οριστεί από την ομάδα εργασίας των DiffServ. Τα πρώτα 6 bits του πεδίου αποτελούν το Differentiated Services Code Point (DSCP) και χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν την Per-Hop Behaviour που θα έχει το πακέτο και κατά συνέπεια την υπηρεσία που θα του παρέχεται. Συνολικά, μπορούν να διακριθούν 64 (2^6) διαφορετικές υπηρεσίες (προτεραιότητες) στο DSCP μέσα στο DS πεδίο.

Οι 64 υπηρεσίες έχουν χωριστεί σε τρεις διαφορετικές ομάδες :

1. Η πρώτη ομάδα αποτελείται από 32 απ' άκρο σε άκρο συμπεριφορές (υπηρεσίες).
2. Οι επόμενες 16 υπηρεσίες είναι δεσμευμένες για τοπική ή πειραματική χρήση.

3. Οι επόμενες 16 υπηρεσίες είναι δεσμευμένες αρχικά για τοπική ή πειραματική χρήση, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν overflow ομάδα υπηρεσιών σε περίπτωση που και οι 32 υπηρεσίες της πρώτης ομάδας έχουν όλες χρησιμοποιηθεί.

Τα τελευταία 2 bits του DS field είναι δεσμευμένα για μελλοντική χρήση και αγνοούνται κατά τη διαδικασία της επιλογής PHB.

Όμως υπάρχει ένα πλήθος από δρομολογητές που δεν ανήκουν σε πεδία που υποστηρίζουν DiffServ και συνεχίζουν να ρυθμίζουν τη λειτουργία τους με βάση την τιμή του Traffic Class πεδίου στην επικεφαλίδα των IP πακέτων. Η μετατροπή ενός πεδίου που δεν υποστηρίζει DiffServ σε πεδίο που υποστηρίζει DiffServ είναι μη πρακτική και αρκετά δύσκολη. Έτσι, για την παροχή ολοκληρωμένων από άκρου σε άκρο υπηρεσιών πρέπει να υπάρχει κάποια συμβατότητα ανάμεσα στο DSCP πεδίο και στο Traffic Class πεδίο. Για το σκοπό αυτό τα 3 bits προτεραιότητας του Traffic Class πεδίου λαμβάνονται υπόψη και διερμηνεύονται στο DSCP field, από τον δρομολογητή που υποστηρίζει DiffServ. Μπορούν λοιπόν να υποστηριχθούν από το DSCP field, 8 (2^3) επίπεδα προτεραιότητας (class selector codepoints). [5]

5.3.3 Κλάσεις DiffServ

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

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

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

είναι κατάλληλη για εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου με υψηλή εκρηκτικότητα (πχ. World Wide Web). [3]

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

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

(Πηγή [2])

Πίνακας 5.2: Απαιτήσεις διαφόρων υπηρεσιών

5.3.4 Συμπεριφορές - Ανά - Κόμβο (PHBs)

Κάθε κλάση προδιαγράφεται μέσω της αντίστοιχης Συμπεριφοράς Ανά Κόμβο (Per Hop Behaviour, PHB). Αυτό σημαίνει ότι η κάθε κλάση έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά προώθησης (forwarding) σε κάθε δρομολογητή που παρεμβάλλεται στη διαδρομή ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Η ποιότητα υπηρεσίας που λαμβάνει μια ροή δεδομένης κλάσης από άκρου σε άκρο εξαρτάται από τους πόρους που έχουν δεσμευτεί για το αντίστοιχο PHB σε κάθε δρομολογητή του μονοπατιού και από τις άλλες ενεργές ροές της ίδιας κλάσης σε αυτό το μονοπάτι. Έτσι, ο πάροχος ρυθμίζει τα χαρακτηριστικά ποιότητας των υπηρεσιών όπως κρίνεται επιθυμητό, καθορίζοντας τους ανά κλάση δεσμευμένους πόρους σε κάθε δρομολογητή και τις ροές κίνησης που αποκτούν πρόσβαση σε αυτούς ανά πάσα στιγμή.[1]

Τα PHBs υλοποιούνται σε κάθε δρομολογητή μέσω των μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού και διαχείρισης καταχωρητή που ρυθμίζουν αντίστοιχα την καθυστέρηση μετάδοσης και την πιθανότητα απώλειας. Το κάθε PHB αντιστοιχεί σε μία μοναδική τιμή του πεδίου DSCP. Έχουν προτυποποιηθεί τρεις κατηγορίες PHBs και είναι οι εξής :

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

Σημειώνεται πως, πέραν των πιο πάνω τριών κατηγοριών, κάθε πάροχος μπορεί στην επικράτειά του να ορίζει ειδικά PHBs σύμφωνα με τις ανάγκες του.[1]

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

Βέλτιστης Προσπάθειας Προώθηση (Best Effort, BE)

Το BE PHB αντιστοιχεί σε μετάδοση με χαμηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης και υψηλότερη προτεραιότητα απόρριψης και χρησιμοποιείται στη γενική περίπτωση για την εξυπηρέτηση εκείνων των ροών που δεν αντιστοιχούν σε κάποιο SLA και κατ' επέκταση των ροών που προκύπτουν από εφαρμογές μη συμβατές με το DiffServ. [1] Η προτεινόμενη τιμή του πεδίου DSCP για την προκαθορισμένη (default) PHB, που είναι ουσιαστικά η κίνηση Βέλτιστης Προσπάθειας, είναι: 000000.[6]

Εγγυημένη Προώθηση (Assured Forwarding, AF)

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

Η ομάδα AF περιλαμβάνει 4 διαφορετικές PHBs (AF1x έως AF4x), που προσφέρουν 4 επίπεδα εγγυήσεων μετάδοσης από τα πιο υψηλά (AF1x) έως τα πιο χαμηλά (AF4x) αντίστοιχα. Για κάθε μία από τις 4 αυτές PHBs θα παρέχεται κάποιο ελάχιστο ποσό εύρους ζώνης και χώρου στους ενταμιευτές. Σε περίπτωση που κάποιες

κλάσεις δεν κάνουν χρήση όλου του εύρους ζώνης που τους έχει ανατεθεί, το περίσσειμα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από τις άλλες κλάσεις. Σε κάθε μία από τις 4 PHBs αντιστοιχούν 3 επίπεδα προτεραιότητας απόρριψης, π.χ. AF11, AF12 και AF13 από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη. Καθώς οι ροές που εξυπηρετούνται με AF είναι δυνατό να ξεπερνούν το traffic profile τους, αναμένεται σε κάποιες περιπτώσεις οι ρυθμοί άφιξης να είναι μεγαλύτεροι από το δεσμευμένο εύρος ζώνης και άρα να δημιουργούνται ουρές και καθυστερήσεις. Επιπλέον, εφόσον το πλεόνασμα της κίνησης μπορεί να είναι οσοδήποτε μεγάλο αλλά οι καταχωρητές των ουρών πεπερασμένοι αναμένεται να παρουσιάζεται συμφόρηση και να υπάρχουν απώλειες. Τότε τα διαφορετικά επίπεδα απόρριψης εξασφαλίζουν τα πακέτα που έχουν βρεθεί in-profile και φέρουν DSCP χαμηλότερης προτεραιότητας απόρριψης (AF11, AF21 κ.λ.π.) εις βάρος των επιπλέον out-of-profile πακέτων με DSCP υψηλότερων προτεραιοτήτων, τα οποία τελικά απορρίπτονται προς αντιμετώπιση της συμφόρησης. [1]

Μεταβάλλοντας το ποσό των πόρων που κατανέμονται σε κάθε κατηγορία, μια εταιρεία παροχής Διαδικτύου μπορεί να παρέχει διαφορετικά επίπεδα απόδοσης σε διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας AF. [4]

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

Assured Forwarding (AF) Behavior Group				
	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
Low Drop	AF11	AF21	AF31	AF41
Med Drop	AF12	AF22	AF32	AF42
High Drop	AF13	AF23	AF33	AF43

(Πηγή [6])

Πίνακας 5.3: Οι δώδεκα κωδικοποιήσεις DSCP

Εσπευσμένη Προώθηση (Expedited Forwarding, EF)

Η IETF καθορίζει την **Εσπευσμένη Προώθηση (EF PHB)** στο RFC 3246. Το EF PHB μοιάζει με υπηρεσία εικονικής μισθωμένης γραμμής (Virtual Leased Line, VLL) όπου οι τελικοί χρήστες έχουν την εντύπωση πως χρησιμοποιούν σύνδεση πάνω από αποκλειστικά δική τους φυσική γραμμή. Η υλοποίηση της EF απαιτεί ο ρυθμός μετάδοσης να είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερος ή ίσος του ρυθμού άφιξης των πακέτων και να χρησιμοποιεί απόλυτη υψηλότερη προτεραιότητα μετάδοσης επί των άλλων PHBs. Με αυτό τον τρόπο οι χρόνοι αναμονής στις ουρές των δρομολογητών μηδενίζονται καθώς και οι απώλειες πακέτων λόγω υπερχειλίσης των καταχωρητών των ουρών, επιτυγχάνοντας θεωρητικά μετάδοση με μηδενικό delay, loss και jitter, πέραν αυτών που οφείλονται στους συνδέσμους του φυσικού επιπέδου. Εξαιτίας της απόλυτης υψηλότερης προτεραιότητας μετάδοσης, οι ροές που εξυπηρετούνται με EF αστυνομεύονται έτσι ώστε να μην ξεπερνούν ποτέ το traffic profile τους, καθώς κάτι τέτοιο θα μείωνε την ποιότητα υπηρεσίας των ροών των άλλων PHBs. [1] Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κατάλληλα για τη φωνή, το βίντεο και άλλες υπηρεσίες πραγματικού χρόνου. Τυπικά δίκτυα θα περιορίζουν την EF κίνηση στο 30% το πολύ της συνολικής κίνησης.[6]

5.3.5 Συμφωνίες Επιπέδου Υπηρεσίας (SLAs)

Για να μπορούν οι χρήστες να λαμβάνουν διαφοροποιημένες υπηρεσίες από τον Πάροχο Υπηρεσίας Διαδικτύου (Internet Service Provider, ISP), πρέπει να έχουν μία Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Agreement, SLA) με τον τελευταίο. Η SLA σηματοδοτεί τις υποστηριζόμενες κλάσεις υπηρεσίας και το επίπεδο κίνησης που επιτρέπεται σε κάθε κλάση. Οι SLAs διακρίνονται σε στατικές και δυναμικές. Οι στατικές SLAs είναι διαπραγματεύσιμες σε κανονική βάση, κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Απ' την άλλη πλευρά, οι δυναμικές SLAs είναι διαπραγματεύσιμες μέσω πρωτοκόλλων σηματοδότησης όπως το RSVP. Ο έλεγχος πόρων μπορεί να διεξαχθεί από τους πράκτορες (Bandwidth Brokers) που έχουν την απαιτούμενη γνώση των προτεραιοτήτων και πολιτικών του δικτύου, κάνοντας έτσι εφικτό τον καταμερισμό των πόρων. [5]

Στην SLA περιγράφονται οι παράμετροι της συμφωνίας υπηρεσίας που καθορίζουν τις δεσμεύσεις του παρόχου ως προς την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας, τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας, τον τρόπο χρέωσης, κ.λ.π., και τις υποχρεώσεις του πελάτη ως προς τα χαρακτηριστικά κίνησης της ροής που θα λάβει η υπηρεσία. Τα

SLAs δημιουργούνται και μεταξύ ομότιμων παρόχων (ISPs) για την εξυπηρέτηση πελατών με ανάγκες επικοινωνίας πέραν της περιοχής ενός μόνο παρόχου και την εξασφάλιση end-to-end QoS μεταξύ χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικούς ISPs. Το υποσύνολο των παραμέτρων που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας ονομάζεται Προδιαγραφή Επιπέδου Υπηρεσίας (Service Level Specification, SLS).[1]

5.3.6 Μεσίτες Εύρους Ζώνης (BBs)

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να αναφερθούμε διεξοδικότερα στην πολύ σημαντική οντότητα των Bandwidth Brokers στα DiffServ δίκτυα. Γενικά, οι οντότητες οι οποίες πρέπει να υπάρχουν σε ένα δίκτυο για να μπορεί να υποστηρίξει Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες είναι: δρομολογητές με ικανότητα Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών, σημαδευτές πακέτων (markers), ταξινομητές πακέτων (classifiers), μηχανισμοί αστυνόμευσης (policers), και ένα καινούριο είδος στοιχείου δικτύου ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης (Bandwidth Broker, BB). Οι Μεσίτες Εύρους Ζώνης Συχνότητας (Bandwidth Brokers, BB) ορίζονται στο RFC 2638. Είναι στην ουσία πράκτορες που διεξάγουν τη διαχείριση πόρων σε ένα δίκτυο-domain. Κάθε BB κατέχει μία βάση δεδομένων που περιέχει κανόνες και πληροφορίες για τις πολιτικές κατανομής πόρων. [5] Αντιπροσωπεύουν όλα τα δίκτυα από τα οποία θα χρειαστεί να διοχετευτεί μια ροή, δίνοντας μια αφαιρετική εικόνα για αυτά.

Κάθε BB είναι υπεύθυνος για τη διασφάλιση των πόρων στο δίκτυο και για την προστασία των γραμμών γειτονικών Παρόχων Υπηρεσιών Internet (Internet Service Providers, ISPs). Όταν ο αποστολέας επικοινωνεί με τον τοπικό Μεσίτη Εύρους Ζώνης για την εγκατάσταση μιας σύνδεσης, εξακριβώνεται η γνησιότητα του και η αίτησή του προωθείται σε ένα μηχανισμό ελέγχου αποδοχής. Ο μηχανισμός αυτός παίρνει τις αποφάσεις του εφαρμόζοντας προκαθορισμένες πολιτικές (policy based). Στη συνέχεια, ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης προωθεί την αίτηση του χρήστη στο γειτονικό Μεσίτη Εύρους Ζώνης μέχρι να φτάσει η αίτηση στον Πάροχο Υπηρεσιών Internet. Ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης προορισμού επεξεργάζεται την αίτηση και την προωθεί στον παραλήπτη, ο οποίος αποκρίνεται ανάλογα. Αν η αίτηση γίνει δεκτή από το Μεσίτη Εύρους Ζώνης οποιουδήποτε υπο-δικτύου, θα πρέπει στη συνέχεια να ρυθμίσει τους δρομολογητές της περιοχής αρμοδιότητάς του, ώστε να υποστηρίξει το ζητούμενο προφίλ υπηρεσίας (service profile). [3]

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

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

Η βασική διαδικασία κατανομής εύρους συχνότητας είναι η ακόλουθη: Ο host που επιθυμεί να καταναίσει ένα συγκεκριμένο εύρος συχνότητας σ' ένα συγκεκριμένο DSCP αποστέλλει μία RAR στον BB του domain του, μαζί με όλες τις πληροφορίες για τη συγκεκριμένη μετάδοση. Ο BB κατόπιν καθορίζει τον δρομολογητή που συνδέει το δεύτερο domain με τον παραλήπτη και την intra-domain διαδρομή προς αυτόν κι ελέγχει αν η ροή υπακούει την SLA. Κατόπιν τούτου, ο BB αποστέλλει μία τροποποιημένη RAR στον BB του άλλου domain ή μία RAA με τη σημαία (flag) απόρριψης ανηρητημένη στον πρώτο host. Όταν ο δεύτερος BB λάβει την RAR, διεξάγει τις ίδιες ενέργειες. Αν η εισδοχή είναι επιτυχής, αποστέλλεται στον host του παραλήπτη μία τροποποιημένη RAR, ειδάλως μία RAA αποστέλλεται στον πρώτο host μέσω του πρώτου BB. Τελικά, οι δύο BB διαμορφώνουν κάποιους ενδιάμεσους δρομολογητές (απαραιτήτως τους δρομολογητές εισόδου και εξόδου) μέσω RAA, οι οποίες περιλαμβάνουν παραμέτρους PHB και λειτουργίες marking. Βεβαίως αυτή είναι η βασική ιδέα της διαδικασίας κατανομής εύρους συχνότητας και άλλοι μηχανισμοί μπορεί να παρέχουν λιγότερο πολύπλοκες λύσεις (Aggregate Tunnels). [5]

Η περιγραφή των μηχανισμών του Μεσίτη Εύρους Ζώνης έχει ολοκληρωθεί, δεν έχουν όμως τυποποιηθεί και αποτελούν πεδίο συνεχιζόμενης έρευνας.

Ο Μεσίτης Εύρους Ζώνης δείχνει να είναι η ιδανική οντότητα για να επιτελεί πιστοποίηση ταυτότητας, έλεγχο δικαιώματος πρόσβασης και χρέωση (Authentication, Authorization, Accounting, AAA). [3]

5.3.7 Μηχανισμοί ελέγχου κίνησης

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

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

Επιπρόσθετο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι ότι απλοποιεί τις επιχειρησιακές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών Internet (ISPs), ώστε να μπορούν αν συνεργαστούν με αποδοτικό τρόπο και να δημιουργήσουν υπηρεσίες από άκρη σε άκρη που διασχίζουν διαφορετικά δίκτυα. Στο μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών κάθε δίκτυο συνάπτει συμφωνίες με τα γειτονικά του δίκτυα για να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες σε διαφορετικές ομάδες ροών. Οι συμφωνίες χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες (profiles). Εφαρμόζοντας με αυστηρότητα τις συμφωνίες κίνησης των ομαδοποιημένων ροών και εξασφαλίζοντας ότι καινούριες συνδέσεις που θα επηρέαζαν αρνητικά την απόδοση του δικτύου δε θα γίνονται δεκτές, το μοντέλο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών εξασφαλίζει μια καλά ορισμένη υπηρεσία από άκρη σε άκρη για μια αλυσίδα διασυνδεδεμένων δικτύων. [3]

Η αρχιτεκτονική DiffServ απαιτεί στην υλοποίησή της από τους δρομολογητές του δικτύου την υποστήριξη ορισμένων μηχανισμών. Οι κυριότερες λειτουργίες των απαιτούμενων μηχανισμών είναι [5] :

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

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

Θεωρητικά οι ροές χαρακτηρίζονται από μια πεντάδα που αποτελείται από:

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

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

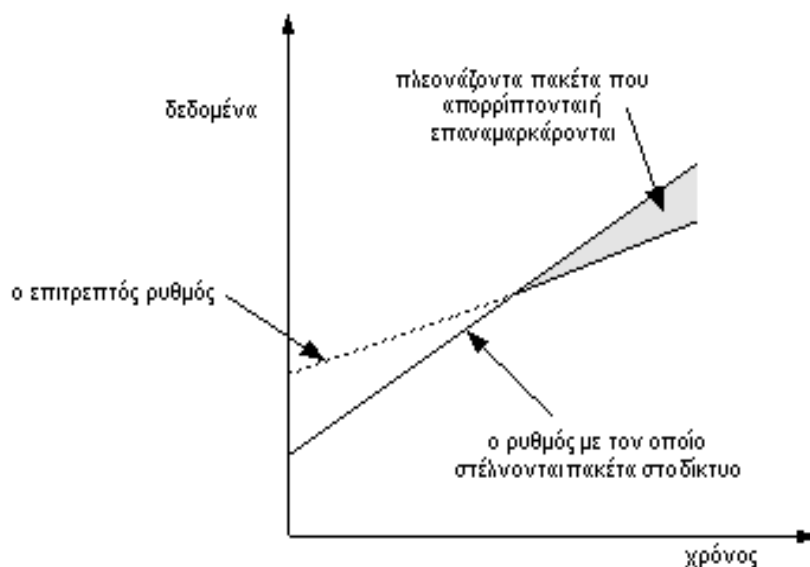
Αντίθετα, στην περίπτωση όπου επιθυμούμε να κάνουμε ταξινόμηση σε συνενώσεις ροών τότε αρκεί να χρησιμοποιήσουμε ένα συνδυασμό των παραπάνω πεδίων της πεντάδας που χαρακτηρίζει μια ροή, ή ακόμη και ένα μόνο πεδίο. Η περίπτωση αυτή είναι πιο εύκολη να γίνει και μπορεί τελικά να πραγματοποιείται ταχύτατα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

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

- **Μαρκάρισμα πακέτων (packet marking).** Έπεται της λειτουργίας της ταξινόμησης. Παρέχει συγκεκριμένη τιμή στο πεδίο DSCP καθορίζοντας έτσι το PHB που θα χρησιμοποιηθεί από τους εσωτερικούς κόμβους του Δικτύου για την εξυπηρέτηση του πακέτου και κατά συνέπεια την ποιότητα που θα λάβει από το δίκτυο.
- **Μέτρηση (metering).** Ο μηχανισμός μέτρησης ελέγχει αν κάθε ροή συμπεριφέρεται σύμφωνα με το προκαθορισμένο προφίλ της, το οποίο έχει συμφωνηθεί από τον πελάτη και τον διαχειριστή του δικτύου. Το προφίλ κίνησης της ροής του χρήστη περιγράφεται στα SLAs. Με βάση τα περιγραφόμενα χαρακτηριστικά τα εισερχόμενα πακέτα κρίνονται είτε ως συμμορφούμενα (in-profile) είτε ως μη συμμορφούμενα (out-of-profile). Κριτήρια αποτελούν ο ρυθμός άφιξης των πακέτων (arrival rate) και το μέγεθος έκρηξης (burst size). Διαφορετικές ενέργειες ρύθμισης καθορίζονται για τα in-

profile και out-of-profile πακέτα. Η λειτουργία που ελέγχει τη ροή των πακέτων έναντι του traffic profile της ονομάζεται μετρητής (meter). Η κίνηση που υπερβαίνει το προκαθορισμένο προφίλ είτε επαναμαρκάρεται, ώστε να υποδεικνύεται ως κίνηση κλάσης χαμηλότερης προτεραιότητας, είτε γίνεται απόρριψη ή μορφοποίηση στα πακέτα της.

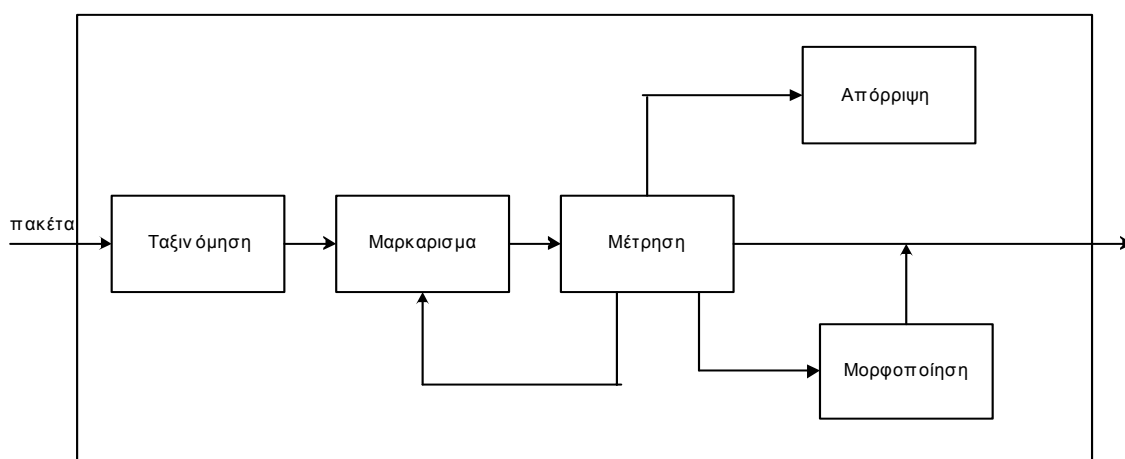
- **Αστυνόμηση κίνησης (policy routing).** Η αστυνόμηση σχετίζεται με τον έλεγχο της κίνησης και με τα μέτρα τα οποία λαμβάνει το δίκτυο όταν μια ροή προσπαθεί να διοχετεύσει στο δίκτυο περισσότερα πακέτα από αυτά που έχουν προσυμφωνηθεί. Για τη συμμόρφωση της ροής με το traffic profile της χρησιμοποιούνται ο shaper (μορφοποιεί την κίνηση) και ο dropper (απορρίπτει την κίνηση). Ο shaper καθυστερεί τα πακέτα έτσι ώστε, με την τεχνητή αυτή καθυστέρηση, η ροή που προκύπτει να συμμορφώνεται με το traffic profile της. Ο shaper χρησιμοποιεί καταχωρητές περιορισμένης χωρητικότητας για την αποθήκευση των πακέτων που έρχονται πιο γρήγορα από όσο τα μεταδίδει. Κατά την υπερχείλιση αυτών των καταχωρητών τα πακέτα διαγράφονται. Ο dropper απλά διαγράφει τα out-of-profile πακέτα. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή και ως αστυνόμηση (policing). Γνωστοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται είναι οι: token και leaky bucket [5]



(ΠΗΓΗ [5])

Εικόνα 5.6: Η λειτουργία της αστυνόμευσης

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

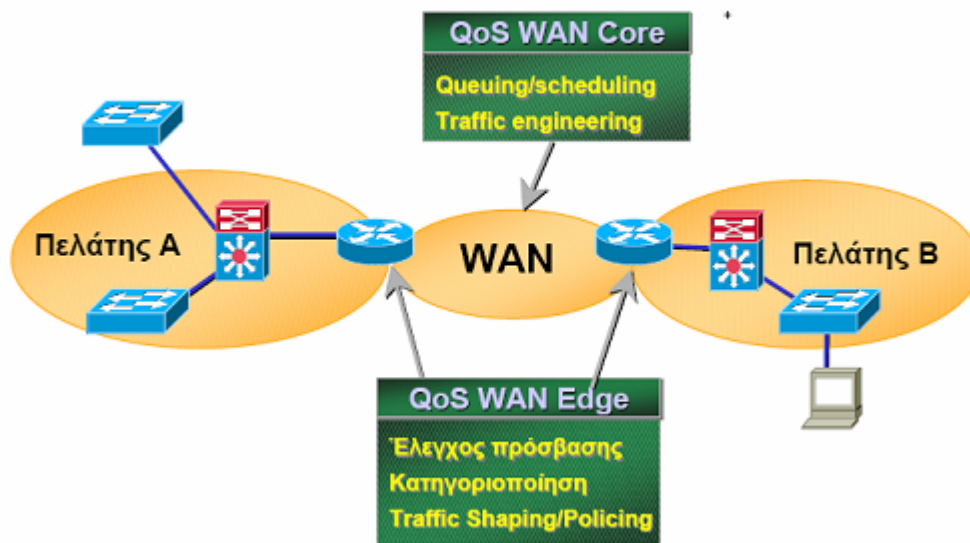


(ΠΗΓΗ: [5])

Εικόνα 5.7: Οι βασικοί μηχανισμοί της DiffServ αρχιτεκτονικής

Αφού περιγράψαμε τους μηχανισμούς ελέγχου κίνησης που υλοποιούνται στον δρομολογητή πρόσβασης, θα αναφερθούμε στις λειτουργίες μετα-δρομολόγησης που

πραγματοποιούν οι δρομολογητές απόληξης καθώς και εσωτερικοί δρομολογητές του δικτύου.



(ΠΗΓΗ [9])

Εικόνα 5.8: Διαφοροποίηση εξυπηρέτησης

Κάθε θύρα εξόδου ενός δρομολογητή πρέπει να έχει δύο ουρές απλής προτεραιότητας (First-In-First-Out, FIFO) και ένα κατάλληλο μηχανισμό διαχείρισης για αυτές. Κάθε νέο πακέτο ελέγχεται για το αν ανήκει στην Εξαιρετική (Premium) κλάση ή όχι. Αν το πακέτο ανήκει στην Εξαιρετική κλάση τότε τοποθετείται στην ουρά υψηλής προτεραιότητας. Αντίστοιχα, αν το πακέτο ανήκει στην Εγγυημένη (Assured) κλάση ή στην κλάση βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort), τότε αυτό τοποθετείται στην ουρά χαμηλής προτεραιότητας. Αν το μέγεθος της ουράς χαμηλής προτεραιότητας περάσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι, τότε τα πακέτα της κλάσης βέλτιστης προσπάθειας αρχίζουν να απορρίπτονται. Αν το μέγεθος της ουράς χαμηλής προτεραιότητας εξακολουθεί να μεγαλώνει και ο αριθμός των πακέτων που ανήκουν στην Εγγυημένη κλάση ξεπεράσει ένα δεύτερο κατώφλι τότε απορρίπτονται και πακέτα της Εγγυημένης κλάσης.

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

δεσμευθεί για κλάσεις υψηλής προτεραιότητας και το οποίο δεν χρησιμοποιείται, μπορεί να δοθεί στις κλάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας. Έτσι, επιτυγχάνεται παράλληλα και υψηλή χρησιμοποίηση των πόρων του δικτύου.[3]

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

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

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

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

- η φύση των εγγυήσεων που δίνει ο μηχανισμός
- η αποδοτικότητα των επιβαλλόμενων εγγυήσεων
- η χρονική πολυπλοκότητα, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την επιλογή του επόμενου προς μετάδοση πακέτου

- η ευελιξία διαχείρισης της κίνησης υπό προσυμφωνημένα όρια αλλά και κατά τη διάρκεια συμφόρησης
- η ευκολία καθορισμού παραμέτρων για την ευέλικτη παροχή εγγυήσεων. [5]

5.3.8 Αξιολόγηση

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

Η αρχιτεκτονική DiffServ από μόνη της, σε αντίθεση με την αρχιτεκτονική IntServ, δεν παρέχει μηχανισμούς που να εξασφαλίζουν συγκεκριμένα ποσοτικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας. Αντ' αυτού προτυποποιεί τα PHBs ως κλάσεις σχετικής διαφοροποίησης της ποιότητας υπηρεσίας, η τελική τιμή της οποίας ρυθμίζεται από τις ανώτερες λειτουργίες διαχείρισης των πόρων του δικτύου και ελέγχου εισόδου της κίνησης. Κατ' επέκταση, οι πάροχοι που εφαρμόζουν την αρχιτεκτονική DiffServ έχουν την ελευθερία να καθορίσουν, αλλά και την ευθύνη να υλοποιήσουν, την καλή λειτουργία του δικτύου τους.

Από τον ορισμό των EF και AF PHBs είναι φανερό πως το πρώτο χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν απόλυτες εγγυήσεις για συγκεκριμένα ποσοτικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας και το δεύτερο για εφαρμογές που διαθέτουν την ευελιξία να προσαρμόζονται σε διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας

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

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

Αν το τερματικό χρησιμοποιεί Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες για τον καθορισμό της Ποιότητας Υπηρεσίας της ροής τότε το πρόβλημα είναι σχετικά εύκολο. Αν όμως το τερματικό χρησιμοποιεί Ενοποιημένες Υπηρεσίες και οι πάροχοι υπηρεσιών Internet (ISPs) χρησιμοποιούν Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν Ενοποιημένες Υπηρεσίες για τη δέσμευση πόρων στο LAN και ύστερα να μετατραπούν τα μηνύματα RSVP PATH και RESV στο σύνορο L/W1 ώστε οι δρομολογητές του WAN να αγνοήσουν την όποια πληροφορία RSVP στα πακέτα. Όταν τώρα τα πακέτα φτάνουν στο άλλο σύνορο L/W2 επαναφέρονται στην αρχική τους μορφή και οι Ενοποιημένες υπηρεσίες συνεχίζουν την εξέλιξή τους στο επόμενο τοπικό δίκτυο. Όταν ένα πακέτο φτάνει στο σύνορο L/W1 τότε ο δρομολογητής τού βάζει την κατάλληλη τιμή στο πεδίο που καθορίζει τη Συμπεριφορά Προώθησης Ανά-Κόμβο, η οποία είναι ικανή να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της ροής. Στο άλλο σύνορο

γίνεται η αντίστροφη διαδικασία έτσι ώστε το πακέτο να επεξεργαστεί σύμφωνα με αυτά που ορίζει το RSVP. [3]

5.3.9 Η αρχιτεκτονική Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DiffServ) στο ΕΔΕΤ

Στη συνέχεια, παραθέτουμε στοιχεία από το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας Τεχνολογίας (ΕΔΕΤ) [8] σχετικά με την προσφερόμενη παροχή ποιότητας υπηρεσίας στην Ελλάδα.

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

1. IP premium (IPP)

- IP Premium
- IP Premium Transparent
- IP Premium VoIP

2. Best Effort (BE)

3. Less than Best Effort (LBE)

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

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

Πίνακας 5.4: BestEffort και Less than Best Effort (LBE)

Αρχίζοντας από τα δύο τελευταία επίπεδα υπηρεσίας και κατά συνέπεια κλάσεις κίνησης (αφού η αντιστοίχιση είναι ένα προς ένα) αναφέρουμε πως στην κλάση Best Effort εντάσσεται όλη η κίνηση για την οποία δεν συντρέχει κανένας λόγος να λάβει ειδική μεταχείριση από το δίκτυο. Οι λόγοι που πρέπει να συντρέχουν για να γίνει αυτό είναι είτε να διατυπωθεί αίτημα για χρήση της υπηρεσίας IP Premium ή η κίνηση να είναι μαρκαρισμένη κατάλληλα από τον φορέα προκειμένου να ενταχθεί στην κλάση Less than Best Effort.

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

IP Premium

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

Η υπηρεσία IP premium περιέχει τρεις κλάσεις κίνησης οι οποίες αν και λαμβάνουν το ίδιο επίπεδο εξυπηρέτησης από το δίκτυο έχουν δημιουργηθεί

προκειμένου να εξυπηρετήσουν διαφορετικές λειτουργικές ανάγκες. Οι κλάσεις αυτές είναι οι:

α) **IP Premium**

β) **IP Premium Transparent** και

γ) **IP Premium VoIP**

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

Η κλάση κίνησης IP Premium transparent λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο με την κλάση IP Premium με την διαφορά πως το δεύτερο άκρο θα είναι πάντα το interface διασύνδεσης του ΕΔΕΤ με το GEANT. Η υπηρεσία αυτή, ενώ μέσα στο δίκτυο του ΕΔΕΤ λαμβάνει εξυπηρέτηση άμεσης προώθησης (Priority) εντούτοις στο δίκτυο του GEANT μεταχειρίζεται ως BestEffort. Τυπική περίπτωση χρήσης της είναι για την παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε κίνηση που ανταλλάσσεται μεταξύ ενός φορέα του ΕΔΕΤ και ενός άλλου φορέα που είναι συνδεδεμένος σε άλλο ευρωπαϊκό NRN στο κομμάτι του δικτύου που είναι εντός των ορίων του ΕΔΕΤ και πιθανά του άλλου NRN.

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

5.4 Service Flows

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

- Πρόκειται για ροή πακέτων με κοινές τιμές
- Ως ID μιας ροής θεωρούμε το DiffServ DSCP πεδίο (6 bits)
- Στο IPv6 υπάρχει flow-label (20 bits)

- Micro-flow classification: γίνεται με βάση τις IP addresses + port addresses + protocol ID
- Οι Micro-flows μπορεί να απαιτήσουν ιδιαίτερη QoS
- Μέσω των ροών υπηρεσίας γίνεται πιο εύκολη η πρόβλεψη κίνησης ανά ροή → καλύτερος έλεγχος συμφόρησης και εγγυήσεις QoS.

Μηχανισμοί ανά ροή

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

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

Πλεονεκτήματα

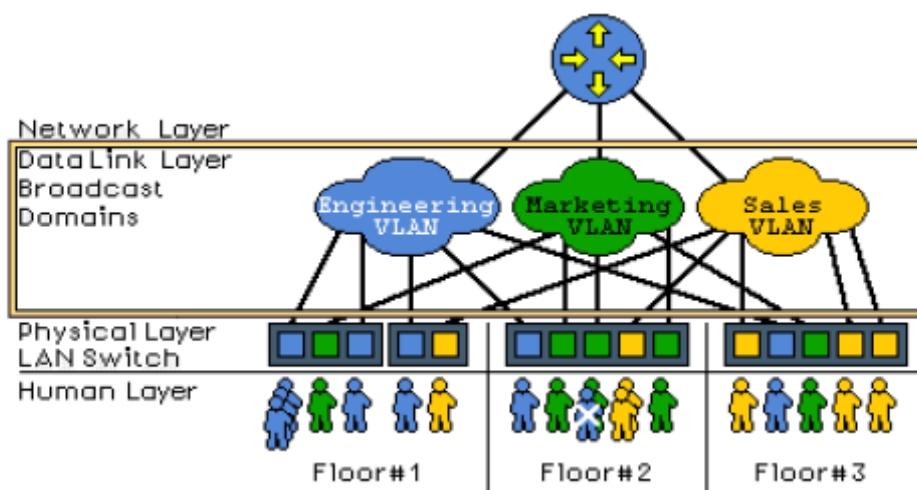
- Κέρδη σε επίπεδο δικτύου και κόμβων
- Καλύτερη υποστήριξη των SLAs
- Μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστη χρησιμοποίηση του διαύλου.
- Δυνατότητα έξυπνης “αστυνόμευσης” (policing)
- Εγγύηση σχετικά με το delay και το jitter των πακέτων
- Μπορούν να υποστηριχθούν καινοτόμες στρατηγικές τιμολόγησης των υπηρεσιών. [9]

5.5 VLANs - 802.1 Q/p

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

Ιστορικά αναπτύχθηκαν προκειμένου να εξυπηρετήσουν την αυξανόμενη κυκλοφορία που προέκυψε από την αρχιτεκτονική client /server που κυριάρχησε τη δεκαετία του '90. Με τον τρόπο αυτό τα broadcast μηνύματα κάθε υπολογιστή περιορίζονται στα όρια του VLAN που ανήκει, ελαχιστοποιώντας έτσι την κίνηση των data στο ενιαίο VLAN. [10]

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



(ΠΗΓΗ : [11])

Εικόνα 5.9: Παράδειγμα εφαρμογής της λειτουργίας VLAN δικτύων σε επιχειρησιακό περιβάλλον

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

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

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

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

Τα εικονικά LANs λειτουργούν στο επίπεδο2 (επίπεδο ζεύξης δεδομένων) του OSI μοντέλου. Παρ' όλα αυτά, οι διαχειριστές συχνά διαμορφώνουν ένα VLAN που να απεικονίζεται απευθείας σε ένα IP δίκτυο ή υποδίκτυο που δίνει την εντύπωση ότι εμπλέκει το επίπεδο 3 (επίπεδο δικτύου).

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

(switches) ή ζεύξη μεταξύ μεταγωγέα και δρομολογητή (router), παρά ζεύξη με τερματικούς σταθμούς. [13]

5.5.1 Καθορισμός των μελών ενός VLAN

Ακολουθούν οι διάφορες τεχνικές καθορισμού των μελών ενός VLAN. [10]

VLAN με βάση τη φυσική θύρα

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

VLAN με βάση τη διεύθυνση MAC

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

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

VLAN με βάση το πρωτόκολλο

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

Policy based VLAN

Αυτά υλοποιούνται με βάση πληροφορίες επιπέδου 3 όπως ένα IP subnet. Όταν ένα switch λαμβάνει ένα πλαίσιο Ethernet σε μια πόρτα του, εξετάζει την IP subnet διεύθυνση του αποστολέα και ψάχνει στους πίνακές του για να δει σε ποιο VLAN

ανήκει. Στον τύπο αυτό οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται στο LAN σε άλλη φυσική πόρτα, αλλά η ομαδοποίησή τους να παραμένει στο ίδιο VLAN.

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

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

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

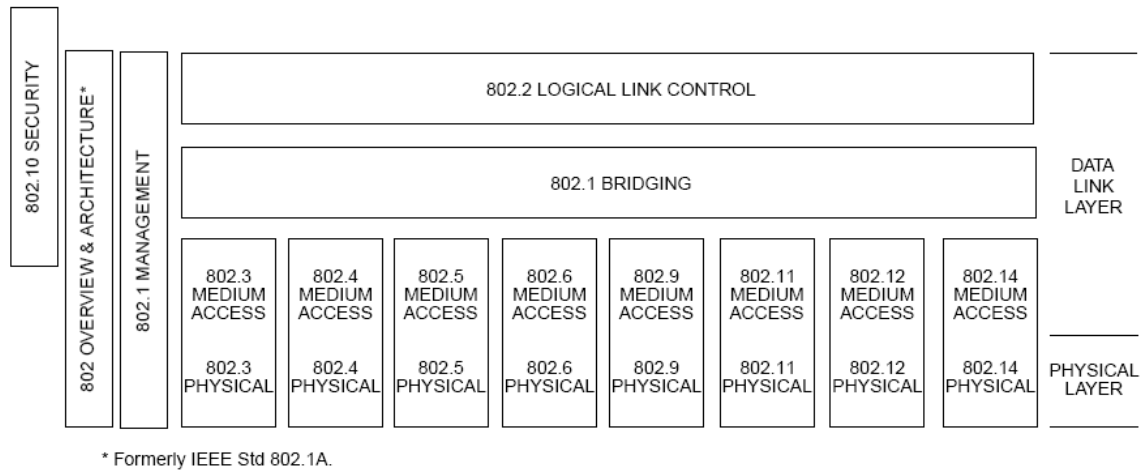
5.5.2 Πλεονεκτήματα από τη χρήση VLAN

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση μιας αρχιτεκτονικής δικτύου VLAN είναι:

- Αύξηση του πλήθους των πεδίων ευρυεκπομπής (broadcast domains), μειώνοντας ταυτόχρονα το μέγεθος τους. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης του δικτύου. Αύξηση της απόδοσης
- Μείωση των διαχειριστικών απαιτήσεων για την ανάπτυξη υποδικτύων και γενική βελτίωση της διαχειρισσιμότητας.
- Ανεξαρτησία από τη φυσική τοπολογία
- Μείωση των απαιτήσεων σε επίπεδο υλικού, καθώς μπορεί να γίνει διαχωρισμός σε επιμέρους δίκτυα με λογικό και όχι με φυσικό τρόπο.
- Αύξηση της δυνατότητας ελέγχου τηλεπικοινωνιακής κίνησης πολλαπλών τύπων.
- Αυξημένες επιλογές στο ζήτημα της ασφάλειας. [12], [13]

5.5.3 IEEE 802.1

Τα VLANs ορίζονται από το πρωτόκολλο IEEE 802.1, το οποίο αποτελεί μέρος της οικογένειας πρωτοκόλλων για τα τοπικής και μητροπολιτικής εμβέλειας δίκτυα. Η σχέση του συγκεκριμένου προτύπου με τα υπόλοιπα φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα. [13]



(ΠΗΓΗ: [13])

Εικόνα 5.10: Σχέση του προτύπου 802.1 με τα υπόλοιπα πρότυπα της σειράς 802

Το IEEE 802.1 ακολουθεί το μοντέλο διαφοροποίησης ροών χωρίς τη δέσμευση πόρων, ενώ διάφορες εκδόσεις του είναι 802.1Q, 802.1p, 802.1D και 802.1ad.

802.1Q : Είναι μηχανισμός σηματοδότησης του επιπέδου 2 του OSI για την υλοποίηση των VLANs. Υλοποιεί τη διαχείριση ουράς (Queue management)

Το 802.1p που ορίζει το πεδίο τύπου υπηρεσίας στην 802.1Q ετικέτα (επίπεδο MAC), υλοποιεί τον χρονοπρογραμματισμό των πακέτων, εξασφαλίζοντας προτεραιότητα σε χρήστες που το επιθυμούν και η οποία αναγνωρίζεται και εκτελείται από VLAN Switches (layer 2, OSI).

Το 1999 εισήχθησαν 3 bits στο πεδίο 802.1Q για την κωδικοποίηση 8 επιπέδων προτεραιότητας χρήστη.

user_priority	Traffic Type
1	Background
2	Spare
0	Best Effort
3	Excellent Effort
4	Controlled Load
5	Video
6	Voice
7	Network Control

(ΠΗΓΗ [14])

Πίνακας 5.5: Προτεραιότητα χρήστη ανά είδος τηλεπικοινωνιακής κίνησης

Αργότερα, επεκτάθηκε (802.1ad) και έφερε το 802.1QoS πολύ κοντά στις IP Διαφοροποιημένες Υπηρεσίες (DiffServ).

6

ΜΕΛΕΤΗ WiMAX QoS - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ WiFi QoS

6.1 Εισαγωγή

Για την εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS) σε δίκτυα IP φαίνεται ότι η προσέγγιση των διαφοροποιημένων υπηρεσιών (Differentiated Services, DiffServ) αποτελεί αποδοτική λύση. Ωστόσο, η έρευνα στις διαφοροποιημένες υπηρεσίες επικεντρώθηκε κυρίως στα ενσύρματα δίκτυα.

Λόγω όμως της ολοένα αυξανόμενης ζήτησης για ALL-IP ασύρματα δίκτυα, υπήρξε η ανάγκη παροχής QoS από άκρου σε άκρο. Αυτό σήμαινε ότι έπρεπε να υπάρξει ένα πρότυπο που θα διασφάλιζε εγγυημένη παροχή ποιότητας υπηρεσίας από τον ένα χρήστη στον άλλο, ανεξάρτητα από το αν παρεμβάλλεται μεταξύ τους ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο.

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

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

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

Έτσι, η IEEE μέσω του πρωτοκόλλου 802.16 (WiMAX) μπόρεσε να δώσει την πλέον αποδοτική λύση μέχρι τώρα. Στο ασύρματο αυτό σύστημα τηλεπικοινωνιών ο Σταθμός Βάσης είναι υπεύθυνος για την εξασφάλιση QoS στο φυσικό επίπεδο (επίπεδο 1) και στο επίπεδο σύνδεσης (επίπεδο 2). Στο φυσικό στρώμα χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές όπως: προσαρμοστική διαμόρφωση (adaptive modulation), OFDM πολυπλεξία – Subchannelization, δυνατότητα μετάδοσης TDD-FDD, που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2. Χάρη στις τεχνικές αυτές το σήμα γίνεται πολύ πιο ανθεκτικό στη διέλευσή του από διαύλους με επιλεκτική εξασθένηση συχνότητας ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Στο επίπεδο 2, υπήρξε μέριμνα ώστε εκτός από τη βελτίωση του επιπέδου ασφάλειας της επικοινωνίας να εξασφαλισθεί η δυνατότητα εξυπηρέτησης των διαφόρων επικοινωνιακών συνόδων (sessions) κατά προτεραιότητα. Στην κατεύθυνση αυτή συνέβαλαν τα πρωτόκολλα 802.1 Q/p, για τα οποία έγινε αναφορά στο προηγούμενο κεφάλαιο και η υποστήριξη από πλευράς WiMAX σε επίπεδο MAC, των διαφορετικών ως προς την εγγύηση ποιότητας ροών υπηρεσίας (Service Flows).

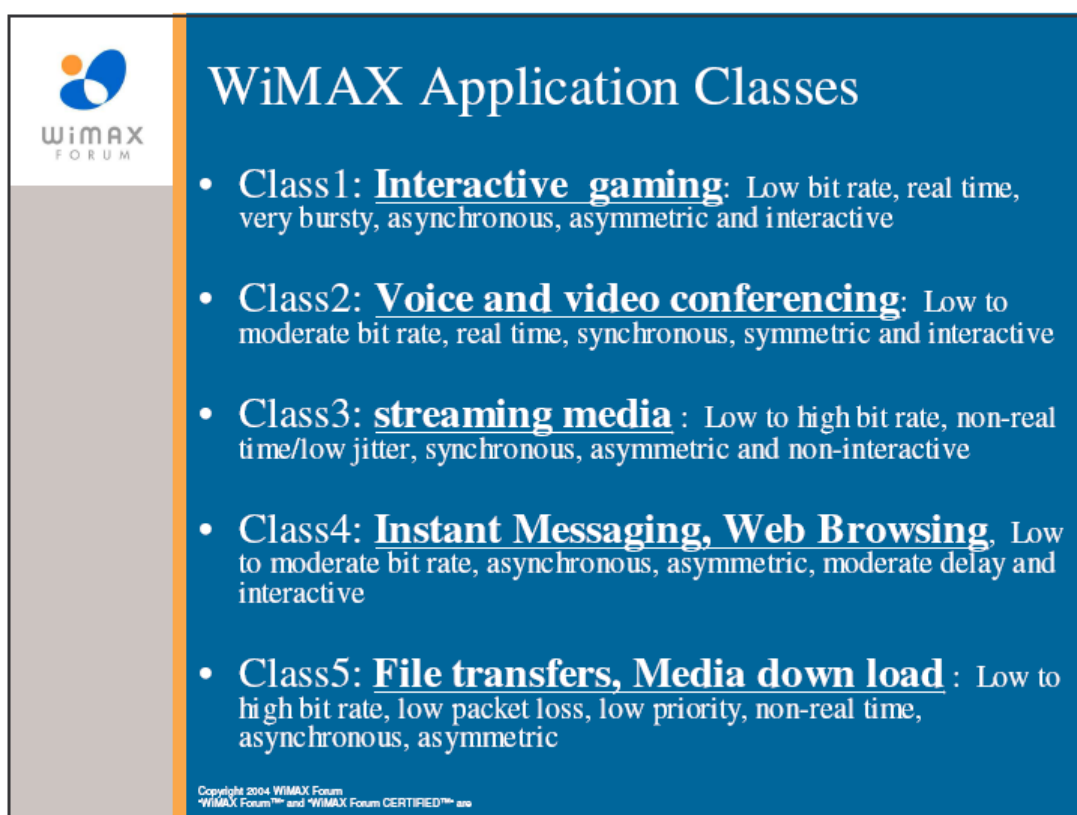
Η αρχιτεκτονική των δικτύων WiMAX είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να υποστηρίζει διάφορους μηχανισμούς QoS. Παρέχει ευέλικτη υποστήριξη ταυτόχρονης χρήσης διαφορετικών IP υπηρεσιών. Η αρχιτεκτονική υποστηρίζει: α) διαφοροποιημένα επίπεδα QoS ανά τερματικό/χρήστη και/ή ροή υπηρεσίας (service flow), β) Έλεγχο Αποδοχής (Admission Control), γ) διαχείριση εύρους ζώνης, δ) εφαρμογή πολιτικών όπως αυτές μπορεί να ορίζονται από τους παρόχους στα SLAs (Service Level Agreements). Στις πολιτικές μπορεί να συμπεριλαμβάνεται ιδιαίτερη μεταχείριση ανά χρήστη ή ομάδα χρηστών ανάλογα με την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται, τη συγκεκριμένη ώρα της μέρας κλπ. Επιπλέον, έχει γίνει εκτεταμένη χρήση προτυποποιημένων μηχανισμών της IETF για τη διαχείριση των διαφόρων πολιτικών ανάμεσα στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. [1]

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

6.2 Εφαρμογές και κλάσεις ποιότητας υπηρεσίας

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

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



The image shows a slide titled "WiMAX Application Classes" from the WiMAX Forum. The slide lists five application classes with their characteristics:

- Class 1: Interactive gaming**: Low bit rate, real time, very bursty, asynchronous, asymmetric and interactive
- Class 2: Voice and video conferencing**: Low to moderate bit rate, real time, synchronous, symmetric and interactive
- Class 3: streaming media**: Low to high bit rate, non-real time/low jitter, synchronous, asymmetric and non-interactive
- Class 4: Instant Messaging, Web Browsing**: Low to moderate bit rate, asynchronous, asymmetric, moderate delay and interactive
- Class 5: File transfers, Media down load**: Low to high bit rate, low packet loss, low priority, non-real time, asynchronous, asymmetric

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

(ΠΗΓΗ: [2])

Εικόνα 6.1: Κλάσεις εφαρμογών του WiMAX

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

Table 2 WiMAX Service Classes			
Class Description	Real Time?	Application Type	Bandwidth
Interactive παιχνίδια	Ναι	Διαδραστικό παιχνίδι	50-85kbps
VoIP, τηλεδιάσκεψη	Ναι	VoIP	4-64kbps
		Video Phone	32-384kbps
Streaming Media	Ναι	Μουσική/ ομιλία	5-128kbps
		Video Clips	20-384kbps
		Ροή ταινιών κινηματογράφου	>2Mbps
Τεχνολογία πληροφοριών	Όχι	Στιγμιαίο μήνυμα	<250 μηνύματα ψηφιολέξεων
		Web Browsing	>500kbps
		Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο	>500kbps
Media Content Download	Όχι	Bulk Data,Download	>1Mbps

(ΠΗΓΗ [3])

Πίνακας 6.1: Εφαρμογές ανά κλάση και απαιτούμενο εύρος ζώνης

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

802.16 QoS Classes

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

x = QoS specified. Source: Light Reading, 2006

(ΠΗΓΗ [4])

Πίνακας 6.2: Αντιστοιχία κλάσεων εφαρμογών και κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας

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

(ΠΗΓΗ [3])

Πίνακας 6.3: Κλάσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που υποστηρίζονται στο 802.16e (Mobile WiMAX)

Στην προδιαγραφή IEEE 802.16-2004 ορίζονται 4 επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε σύνδεση μεταξύ σταθμού βάσης (Base Station, BS) και σταθμού συνδρομητή (Subscriber Station, SS). Στην προδιαγραφή IEEE 802.16-2005 (:802.16e) ορίζεται και ένα 5^ο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας, το Enhanced real-time Polling Service (ErtPS).

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

Στο 802.16 παρέχονται οι ακόλουθες 5 κλάσεις υπηρεσιών [5]:

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

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

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

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

επιτυχημένη στρατηγική των WISPs έναντι των ανταγωνιστικών παρόχων ενσύρματων δικτύων.

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

Παρέχει μόνο εγγύηση για τη ρυθμαπόδοση (throughput) και γι' αυτό χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου, με μεταβλητό μήκος δεδομένων όπως για παράδειγμα το e-mail. Ο σταθμός βάσης «ρωτάει» το συνδρομητή ανά τακτά χρονικά διαστήματα για το απαιτούμενο εύρος ζώνης. Ο σταθμός βάσης εκτελεί περιόδευση, ρωτώντας το συνδρομητή πόσο εύρος ζώνης χρειάζεται αυτή τη φορά, όχι όμως σε αυστηρά προδιαγεγραμμένα χρονικά διαστήματα. Αν ένας σταθμός βάσης δεν αποκριθεί στην περιόδευση k φορές στη σειρά, ο σταθμός βάσης τον προσθέτει σε μια ομάδα πολυδιανομής και σταματά να τον ρωτά «προσωπικά». Αντίθετα, όταν η περιόδευση φτάσει στην ομάδα πολυδιανομής μπορεί να αποκριθεί οποιοσδήποτε από τους σταθμούς, ανταγωνιζόμενος για εξυπηρέτηση. Με αυτόν τον τρόπο οι σταθμοί που έχουν λίγη κίνηση δεν σπαταλούν πολύτιμες περιόδους. [6]

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

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

5. Κλάση Υπηρεσιών Εμπλουτισμένου Πραγματικού Χρόνου (Enhanced real-time Polling Service, ErtPS)

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

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

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

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

(ΠΗΓΗ: [7])

Πίνακας 6.4: Συγκετρωτική παρουσίαση κλάσεων υπηρεσιών στο IEEE802.16d

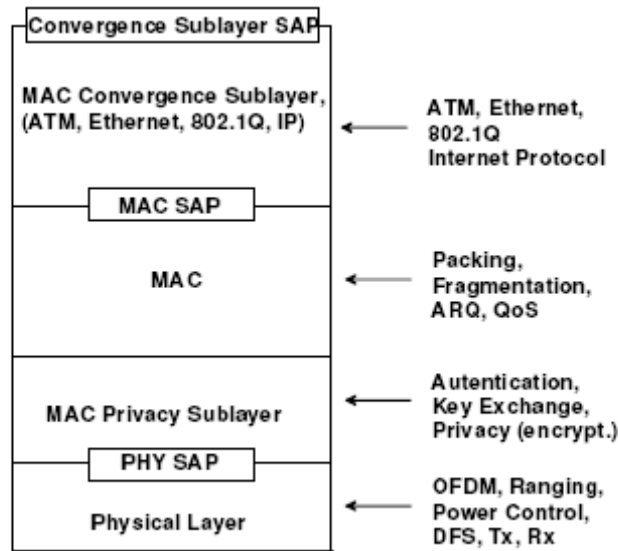
6.3 802.16 MAC

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

Το στρώμα ζεύξης δεδομένων (layer 2, OSI) αποτελείται στο WiMAX από 3 υπο-επίπεδα [11], τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

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

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



(ΠΗΓΗ [8])

Εικόνα 6.2: Διαστρωμάτωση επιπέδου MAC

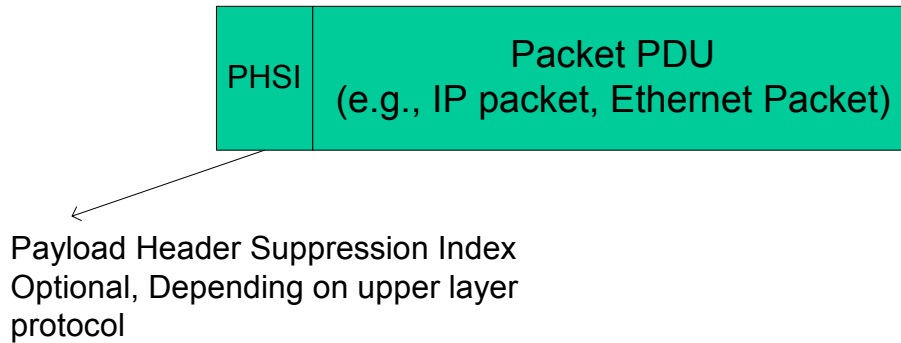
6.3.1 Υποεπίπεδα MAC

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

Χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση μιας ενιαίας διεπαφής με το ανώτερο στρώμα δικτύου, ανεξάρτητα από την κλάση ποιότητας υπηρεσίας που χρησιμοποιείται από το κατώτερο υποεπίπεδο MAC. Με το συγκεκριμένο υποεπίπεδο του MAC γίνεται εφικτή η διασύνδεση του κοινού υποεπιπέδου MAC (MAC-CP) με το επίπεδο δικτύου. Έτσι, πακέτα των πρωτοκόλλων ATM, IPv4, IPv6, Ethernet καθώς και πακέτα για VLAN μπορούν να υποστηρίζονται στη μετάδοσή τους. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί το WiMAX να παρέχει όλες τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν τα παραπάνω πρωτόκολλα από άκρου σε άκρο. Η λειτουργία του MAC-CS είναι να κατηγοριοποιεί τα SDUs (Service Data Units) στην κατάλληλη σύνδεση MAC. Απεικονίζει τα υψηλότερου επιπέδου PDUs (Protocol Data Units) σε μορφή κατάλληλη για τις συνδέσεις MAC. Τα SDUs είναι μονάδες δεδομένων υπηρεσίας, οι οποίες ανταλλάσσονται μεταξύ δύο ομότιμων επιπέδων. Επιπρόσθετα, το MAC-CS μπορεί να κατακερματίζει, αλλά και να ανασυνθέτει τα πακέτα προκειμένου να αυξήσει την απόδοση του ραδιοδιαύλου.[9]

Έτσι, οι μονάδες δεδομένων υπηρεσίας επιπέδου MAC είναι οι μονάδες δεδομένων του πρωτοκόλλου, για το οποίο διεπαφή αποτελεί το υποεπίπεδο σύκλισης (MAC-CS), όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

MAC SDU = CS PDU



(ΠΗΓΗ: [9])

Εικόνα 6.3: Αντιστοίχιση MAC SDU σε CS PDU

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

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

Πολιτική εξασφάλισης QoS

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

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

Ranging

Μία άλλη λειτουργία του MAC-CPS είναι το ranging (ρύθμιση). Πρόκειται για τη διαδικασία απόκτησης συγχρονισμού με το SS καθώς και ρύθμισης διαφόρων παραμέτρων του φυσικού στρώματος, όπως του επιπέδου ισχύος του BS (Tx level), της

συχνότητας λειτουργίας κλπ. έτσι ώστε ο BS να μπορεί να επικοινωνεί σωστά με τον SS. Παράλληλα, ο BS εκτελεί μετρήσεις ανάδρασης για τη γνώση της κατάστασης της ζεύξης με τον SS.

Υπάρχουν 2 τύποι ranging:

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

ARQ

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

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

Υλοποιεί 2 πρωτόκολλα:

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

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

6.3.2 Service Flows - Ροές Υπηρεσίας

Ο όρος Ροή Υπηρεσίας (Service Flow) όπως χρησιμοποιείται στα WiMAX συστήματα είναι η μονόδρομη (UL ή DL) ροή πακέτων που εξυπηρετούν τη μεταφορά συγκεκριμένης εφαρμογής σε επίπεδο MAC και έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις QoS. Το σύνολο παραμέτρων που περιγράφουν την προστιδόμενη στη ροή ποιότητα υπηρεσίας είναι το εύρος ζώνης (bandwidth), η καθυστέρηση μεταφοράς (latency) και η διακύμανση καθυστέρησης (jitter). Μια ζεύξη επικοινωνίας ανάμεσα στον SS και

στον BS μπορεί να εμπεριέχει αρκετές ροές υπηρεσιών π.χ. μια ροή υπηρεσίας πραγματικού χρόνου για video και μια ροή υπηρεσίας βέλτιστης προσπάθειας για Web browsing. Διευκρινίζεται ότι για τη μεταφορά μιας εφαρμογής ανάμεσα στους SS και BS οι κινήσεις UL και DL συνιστούν διαφορετικές ροές υπηρεσίας αφού έχουν διαφορετικές προελεύσεις και προορισμούς. Όλες οι ροές υπηρεσιών έχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό SFID (Service Flow ID) των 32 bit.

Ορίζονται 3 τύποι ροών υπηρεσίας:

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

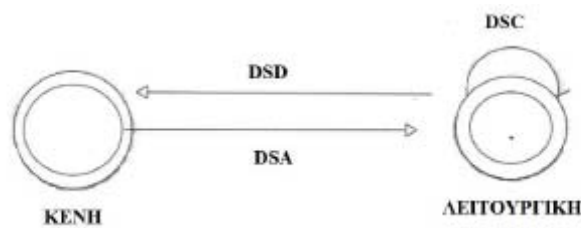
Πριν ακολουθήσει η ανάλυση των 3 τύπων αναφέρουμε ότι στην περίπτωση των admitted (επιτρεπόμενων) και των active (ενεργών) ροών υπηρεσίας εκτός από το SFID διατίθεται και το αναγνωριστικό της σύνδεσης CID (Connection ID) των 16 bit. [5], [10]

6.3.2.1 Provisioned service flow

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

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

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



ΠΗΓΗ [10]

Εικόνα 6.4: Δυναμική ροή υπηρεσίας

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

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

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

6.3.2.2 Admitted service flow

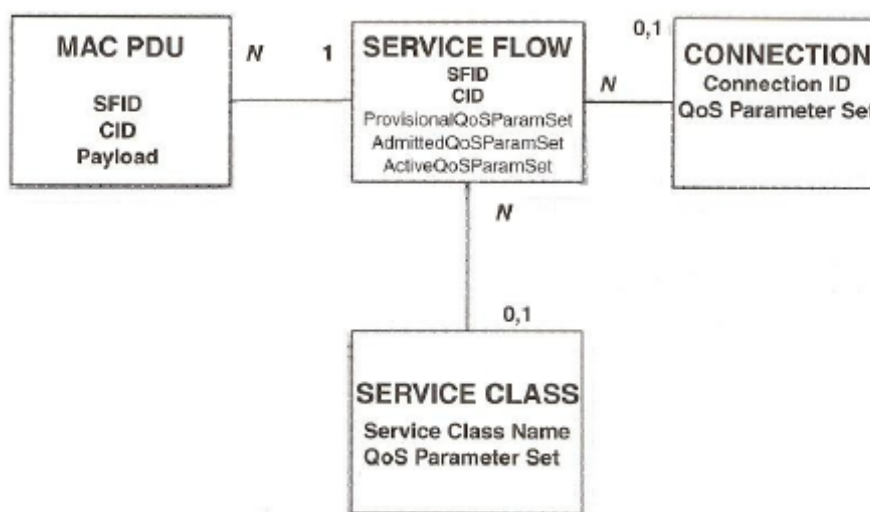
Οι Admitted (επιτρεπόμενες) ροές υπηρεσίας είναι ροές για τις οποίες δεσμεύονται πόροι από τον BS ή τον SS ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις QoS που τίθενται στο AdmittedQoSParamSet. Μέχρι οι απαιτήσεις του ActiveQoSParamSet να ταυτιστούν με του AdmittedQoSParamSet οι πόροι ενώ είναι δεσμευμένοι δε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

6.3.2.3 Active service flow

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

6.3.2.4 Το Μοντέλο Αντικειμένων

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

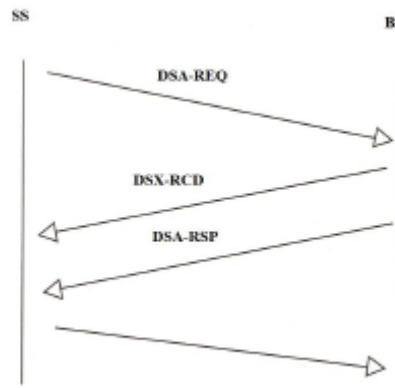


ΠΗΓΗ [10]

Εικόνα 6.5: Θεωρία λειτουργίας του μοντέλου αντικειμένων

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

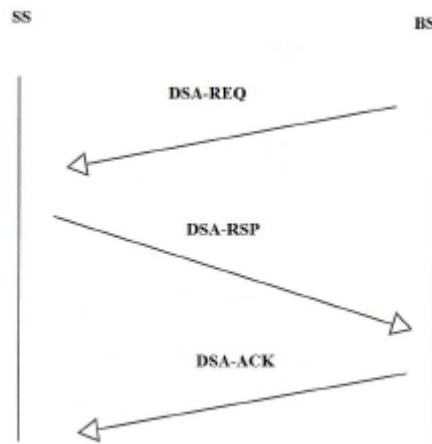
Δημιουργία Ροής Υπηρεσίας από SS. Ένα DSA-REQ από έναν SS (βλ. Εικόνα 6.6) περιέχει μια αναφορά ροής υπηρεσίας και το επιθυμητό σύνολο παραμέτρων QoS. Ο BS αποκρίνεται με ένα DSA-RSP υποδηλώνοντας αποδοχή ή άρνηση.



(ΠΗΓΗ [10])

Εικόνα 6.6: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο SS

Δημιουργία Δυναμικής Ροής Υπηρεσίας από τον BS. Ένα DSA-REQ από τον BS (βλ. Εικόνα 6.7) περιέχει ένα SFID, το συσχετιζόμενο CID τους και ένα σύνολο active ή admitted παραμέτρων QoS. Ο SS αποκρίνεται με DSA-RSP υποδηλώνοντας αποδοχή ή άρνηση.



(ΠΗΓΗ [10])

Εικόνα 6.7: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο BS

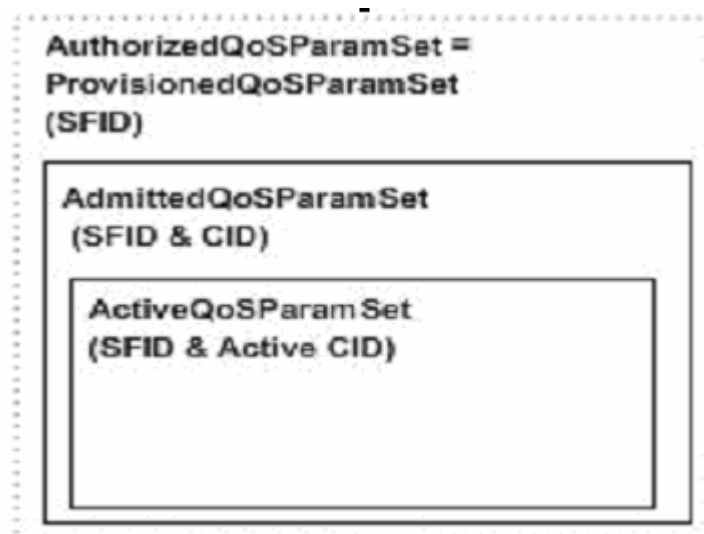
6.3.3 Εξουσιοδότηση

Στους BSs υπάρχει η μονάδα εξουσιοδότησης (Authorization Module) που είναι υπεύθυνη για την έγκριση ή μη κάθε αλλαγής στις παραμέτρους QoS της ροής υπηρεσίας. Πριν την αρχικοποίηση της σύνδεσης, ο BS ανακτά το σύνολο των παραμέτρων QoS (ProvisionedQoSParamSet) για έναν SS, το οποίο παραδίδεται στο Authorization Module. [5],[10]

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

6.3.3.1 Provisioned (Static) Authorization

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

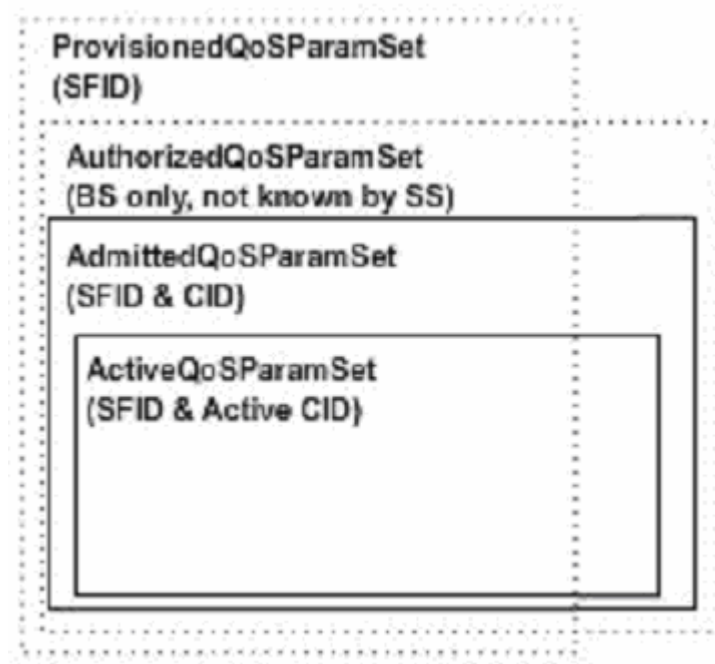


(ΠΗΓΗ [5])

Εικόνα 6.8: Προδιατιθέμενο μοντέλο εξουσιοδότησης

6.3.3.2 *Dynamic Authorization*

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



(ΠΗΓΗ [5])

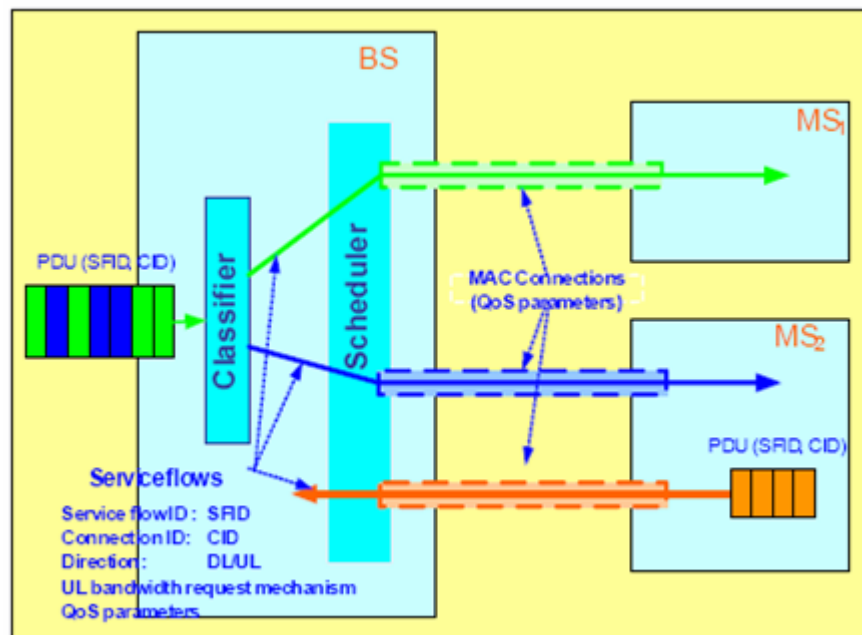
Εικόνα 6.9: Δυναμικό μοντέλο αυθεντικοποίησης

6.3.4 *Ποιότητα υπηρεσιών στο 802.16e (mobile WiMAX)*

Εκτός από όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως σχετικά με την παρεχόμενη QoS, στη mobile έκδοση του WiMAX η υπηρεσία προγραμματισμού στο επίπεδο MAC είναι σχεδιασμένη για να προσφέρει αποτελεσματικά ευρυζωνικές υπηρεσίες πάνω σε

χρονικά μεταβαλλόμενο ασύρματο δίαυλο. Ο προγραμματιστής MAC κατανέμει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πόρους ώστε να ανταποκρίνεται στην εκρηκτική κίνηση των δεδομένων και στις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες του διαύλου. Βρίσκεται σε κάθε σταθμό βάσης για να δρα άμεσα στις απαιτήσεις της κίνησης κάθε διαύλου. Τα πακέτα δεδομένων ανατίθενται σε υπηρεσίες ροής με σαφώς καθορισμένες παραμέτρους ποιότητας υπηρεσιών στο στρώμα MAC, έτσι ώστε ο προγραμματιστής να καθορίζει σωστά τη σειρά μετάδοσης των πακέτων στη διεπαφή αέρα (air interface). Το **CQICH (Channel Quality Indicator sub-Channel)** παρέχει γρήγορα πληροφορίες για την κατάσταση του διαύλου έτσι ώστε ο προγραμματιστής να επιλέγει κάθε φορά την κατάλληλη διαμόρφωση-κωδικοποίηση. Η προσαρμοστική διαμόρφωση-κωδικοποίηση σε συνδυασμό με την **HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest, η υβριδική αίτηση αυτόματης επανάληψης)** παρέχουν τη δυνατότητα για ανθεκτική μετάδοση πάνω στο μεταβαλλόμενο δίαυλο. [3]

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



(ΠΗΓΗ: [1])

Εικόνα 6.10: Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στο Mobile WiMAX

6.4 WiFi

Εύκολα μπορεί να παρατηρήσει στις μέρες μας κάποιος την παρουσία ασύρματων τοπικών δικτύων, γνωστών με την ονομασία WiFi , σε διάφορους χώρους π.χ. πανεπιστήμια, εστιατόρια, ξενοδοχεία, χώρους αναψυχής κλπ. Ωστόσο, τα πρότυπα των WLANs (Wireless Local Area Networks) είχαν ήδη ξεκινήσει από το 1997, με τη σύσταση του προτύπου IEEE 802.11. Πλέον όλες οι εφαρμογές, τα λειτουργικά συστήματα και τα πρωτόκολλα (συμπεριλαμβανομένης της οικογένειας πρωτοκόλλων TCP/IP), τρέχουν πάνω στα τοπικά δίκτυα του παραπάνω προτύπου όπως και στο Ethernet.

Στη συνέχεια, αναφέρουμε συγκεντρωτικά όλα τα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802.11.

6.4.1 Υποπρότυπα του προτύπου 802.11 (WiFi)

Το πρότυπο 802.11 προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 1 Mbps και 2 Mbps. Η μετάδοση γίνεται είτε στη ζώνη των 2.4 - 2.4835 GHz, είτε με υπέρυθρη ακτινοβολία μήκους κύματος 850 -950 nm. Για μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο θόρυβο στενής ζώνης το σήμα κωδικοποιείται με μεθόδους απλωμένου φάσματος. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει είτε (i) την τεχνική εξάπλωσης φάσματος με εναλλαγή συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS), είτε (ii) τεχνική εξάπλωσης φάσματος ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence Spread Spectrum -DSSS). Στην περίπτωση (i) χρησιμοποιεί διαμόρφωση FSK για ρυθμούς 1 Mbps και 2 Mbps. Αντίστοιχα, στην περίπτωση (ii) χρησιμοποιεί διαμόρφωση BPSK για ρυθμούς 1 Mbps και τετραφασική PSK για ρυθμούς 2 Mbps. Για επικοινωνία μέσω υπέρυθρων χρησιμοποιεί διαμόρφωση θέσης παλμών (**P**ulse **P**osition **M**odulation). Η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς περιορίζεται στα 20 dBm, ενώ η ευαισθησία του δέκτη ορίζεται από το πρωτόκολλο να είναι μικρότερη ή ίση των -80dBm για ρυθμό λανθασμένων πλαισίων (Frame Error Rate) της τάξης του 3%.

Το 802.11 συνέβαλε ουσιαστικά στην ευρεία εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, καθώς η προτυποποίηση κατέστησε δυνατή τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών που το υλοποιούσαν. Ωστόσο, οι ταχύτητες των 1 Mbps και 2 Mbps που υποστήριζε ήταν πολύ μικρές για τα 10 Mbps αρχικά και τώρα 100 Mbps που δίνει το ενσύρματο Ethernet. Πολύ γρήγορα λοιπόν εμφανίστηκαν παραλλαγές του 802.11 που

αύξησαν την ταχύτητά του και διόρθωσαν διάφορα εγγενή προβλήματα. Στη συνέχεια παρατίθενται οι σημαντικότερες παραλλαγές του πρωτοκόλλου 802.11. [11]

802.11a

Το πρότυπο 802.11a επικυρώθηκε τον Ιούλιο του 1999, αλλά αντίστοιχα προϊόντα δεν διατέθηκαν στην αγορά μέχρι το 2001. Για το λόγο αυτό δεν είναι τόσο ευρέως ανεπτυγμένο όσο το 802.11b. Λειτουργεί στη ζώνη ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 5.15 και 5.875 GHz και χρησιμοποιεί τη μέθοδο διαμόρφωσης OFDM, καθιστώντας έτσι δυνατές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως 54 Mbps. Παράλληλα τα υπο-κανάλια διαμορφώνονται με τη χρήση QPSK/BPSK ή 16-QAM ή 64-QAM. Ωστόσο, λόγω της λειτουργίας του στα 5 GHz δεν είναι συμβατό τόσο με το κλασικό 802.11 όσο και με το 802.11b.

802.11b ή WiFi (Wireless Fidelity)

Το πρότυπο 802.11b επικυρώθηκε από το IEEE επίσης τον Ιούλιο του 1999 και λειτουργεί στη ζώνη ραδιοσυχνοτήτων από 2.4 έως 2.497 GHz. Η μέθοδος διαμόρφωσης που έχει επιλεγεί για το 802.11b είναι η Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), η οποία χρησιμοποιεί τη συμπληρωματική διαμόρφωση κώδικα (Complementary Code Keying - CCK), καθιστώντας έτσι δυνατή την επίτευξη ταχυτήτων έως 11 Mbps.

Το Wi-Fi είχε σκοπό να επιτρέπει σε φορητές συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές και προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς (PDAs) να συνδέονται σε τοπικά δίκτυα, αλλά τώρα χρησιμοποιείται συχνά για πρόσβαση στο Διαδίκτυο και ασύρματα VoIP τηλέφωνα. Οι σταθεροί υπολογιστές μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν Wi-Fi, επιτρέποντας σε γραφεία και σπίτια να δικτυώνονται χωρίς ακριβή καλωδίωση. Πολλοί υπολογιστές πωλούνται σήμερα με ενσωματωμένο Wi-Fi, ενώ άλλοι χρειάζονται την προσθήκη κάρτας δικτύου Wi-Fi. Η γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται από ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης ονομάζεται hotspot. Η εμβέλεια ενός σημείου πρόσβασης ποικίλει. Το σημείο πρόσβασης που βρίσκεται σε έναν τυπικό Wi-Fi δρομολογητή μπορεί να έχει εμβέλεια 30 μέτρων σε εσωτερικό χώρο και 120 μέτρα σε εξωτερικό.

802.11c

Παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη διασφάλιση των σωστών λειτουργιών των γεφυρών (bridges). Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιούνται κυρίως από τους κατασκευαστές σημείων πρόσβασης, με σκοπό τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας τους με αντίστοιχες συσκευές άλλων κατασκευαστών.

802.11d

Στόχος του προτύπου αποτέλεσε αφ' ενός ο καθορισμός των απαιτήσεων του φυσικού επιπέδου και αφ' ετέρου η καταγραφή του νομικού πλαισίου, που πρέπει να ισχύει για τη χρησιμοποίηση των ραδιοσυχνοτήτων στις διάφορες χώρες, έτσι ώστε τα προϊόντα που θα κατασκευάζονται να μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από τη γεωγραφική περιοχή στην οποία ανήκουν.

802.11e

Σήμερα, οι περισσότεροι χρήστες του WiFi δεν έχουν τη δυνατότητα να απολαμβάνουν ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Η ομάδα εργασίας IEEE 802.11e επεξεργάζεται ένα σύνολο συστάσεων που θα υποστηρίξουν QoS. Η βελτίωση επιτυγχάνεται μέσω της τροποποίησης του υποεπιπέδου MAC. Το γεγονός αυτό θα δώσει τη δυνατότητα στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους (providers) να προσφέρουν κλιμακούμενη ποιότητα υπηρεσίας ανάμεσα σε οικιακούς και επιχειρησιακούς πελάτες. Επίσης, θα εγγυώνται ποιότητα στη μετάδοση ευαίσθητων εφαρμογών ως προς το εύρος ζώνης και την καθυστέρηση. Τέτοιες εφαρμογές είναι για παράδειγμα VoIP, Video Streaming κ.α.

802.11f

Η αρχική ομάδα εργασίας δεν προσδιόριζε σκοπίμως την επικοινωνία μεταξύ των σημείων πρόσβασης με σκοπό την άμεση υποστήριξη υπηρεσίας περιαγωγής (roaming) των χρηστών από ένα σημείο πρόσβασης σε ένα άλλο. Το πρόβλημα που ανακύπτει όμως είναι ότι τα σημεία πρόσβασης από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορεί να μη λειτουργούν ομαλά μεταξύ τους, όταν υποστηρίζουν λειτουργίες περιαγωγής. Το πρωτόκολλο 802.11f είχε ως σκοπό τη δημιουργία των προδιαγραφών, οι οποίες θα

περιγράφουν ρητά όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται από τα σημεία πρόσβασης για την εξασφάλιση επιτυχούς περιαγωγής και ομαλής διαλειτουργικότητας.

802.11g

Το νεότερο πρότυπο της IEEE είναι το 802.11g, το οποίο επικυρώθηκε τον Ιούνιο του 2003. Ενώ το 802.11g λειτουργεί στη ζώνη ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 2.4 και 2.497 GHz (ίδια περιοχή με το 802.11b), χρησιμοποιεί διαμόρφωση OFDM που επιτρέπει ρυθμό μετάδοσης (bitrate) μέχρι 54 Mbps (παρόμοια με το πρότυπο 802.11a). Αυτός ο συνδυασμός απόδοσης και ραδιοσυχνότητας, επιτρέπει σε εκείνους που διαθέτουν ήδη την υποδομή για το πρότυπο 802.11b, να πραγματοποιήσουν μια γρηγορότερη και λιγότερο ακριβή μετάβαση σε μια ευρύτερη σύνδεση δικτύου. Υπενθυμίζεται ότι ο υπάρχων εγκατεστημένος εξοπλισμός προτύπου 802.11b απαιτεί αναβάθμιση, προκειμένου να γίνει συμβατός με τον αντίστοιχο του 802.11g.

802.11h

Αν και το πρωτόκολλο IEEE 802.11 είναι “αμερικανικής προέλευσης” έχει ευρεία χρήση και στην Ευρώπη. Για τη συμμόρφωση με τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων στα 5GHz, δημιουργήθηκε η προδιαγραφή 802.11h, η οποία είναι συμπληρωματική για το υποεπίπεδο MAC. Συγκεκριμένα οι ευρωπαϊκοί κανονισμοί απαιτούν για τις συσκευές που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz να έχουν δυνατότητες ελέγχου της εκπεμπόμενης ισχύος (Transmission Power Control) και δυναμικής επιλογής συχνότητας (Dynamic Frequency Selection), απαιτήσεις οι οποίες προδιαγράφονται στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο.

802.11i

Η προδιαγραφή αυτή έρχεται να καλύψει πολλά από τα κενά σε θέματα ασφάλειας που εντοπίστηκαν στο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP (Wired Equivalent Privacy) του 802.11. Ο αλγόριθμος RC4 (Ron's Code 4) που χρησιμοποιείται αποδείχτηκε ανεπαρκής, με αρκετά σφάλματα και παραλείψεις, κάνοντας τα ασύρματα δίκτυα εύκολο στόχο σε διάφορα είδη κακόβουλων επιθέσεων. Με τη νέα προδιαγραφή καθορίζονται πρωτόκολλα για τα κλειδιά κρυπτογράφησης

όπως τα TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) και AES (Advanced Encryption Standard).

802.11j

Η προδιαγραφή αυτή είναι συμπληρωματική για τη χρήση της ζώνης συχνοτήτων 4.9-5 GHz αναφορικά με την εφαρμογή του πρωτοκόλλου στην Ιαπωνία.

Αριθμός προτύπου IEEE	Περιγραφή
802.11	Το αρχικό πρότυπο WLAN. Υποστηρίζει ταχύτητες από 1 έως 2 Mbps.
802.11a	Πρότυπο WLAN υψηλής ταχύτητας για τη ζώνη των 5 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες έως 54 Mbps.
802.11b	Πρότυπο WLAN για τη ζώνη των 2.4 GHz . Υποστηρίζει ταχύτητες έως 11 Mbps.
802.11e	Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών για τα WLAN.
802.11f	Ορισμός επικοινωνίας μεταξύ των σημείων πρόσβασης, προκειμένου να διευκολυνθεί η επικοινωνία πολλών κατανεμημένων WLANs.
802.11g	Καθιέρωση επιπλέον τεχνικής διαμόρφωσης στη ζώνη των 2.4 GHz, με σκοπό την επίτευξη ταχυτήτων έως 54 Mbps.
802.11h	Ορισμός διαχείρισης φάσματος στη ζώνη των 5 GHz για χρήση στην Ευρώπη και την Ασία.
802.11i	Αναφορά στις αδυναμίες ασφάλειας των πρωτοκόλλων πιστοποίησης και κωδικοποίησης. Το πρότυπο αυτό συμπεριλαμβάνει τα πρωτόκολλα 802.1X, TKIP, και AES.

(ΠΗΓΗ [12])

Πίνακας 6.5: Περιγραφή των προτύπων της οικογένειας 802.11

6.4.2 Χαρακτηριστικά παροχής ποιότητας υπηρεσίας στο IEEE 802.11e.

Θα περιλαμβάνει δύο λειτουργικές καταστάσεις, κάθε μία από τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της υπηρεσίας φωνής.

- WiFi Multimedia Extensions (WME) - υποχρεωτικά
- WiFi Scheduled Multimedia (WSM) – προαιρετικά

WiFi Multimedia Extensions (WME)

Η επιλογή WME χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο που καλείται Enhanced Distributed Control Access (EDCA), το οποίο είναι μια εμπλουτισμένη έκδοση της Κατανεμημένης Λειτουργίας Συντονισμού (Distributed Control Function, DCF), η οποία ορίζεται στο αρχικό 802.11 MAC. Ο όρος enhanced (εμπλουτισμένο) σχετίζεται με το γεγονός ότι το EDCA θα ορίζει 8 διαφορετικά επίπεδα προτεραιότητας

πρόσβασης στον διαμοιραζόμενο ασύρματο δίαυλο. Όπως στο αρχικό DCF, το EDCA είναι ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στον ανταγωνισμό. Διαθέτει ένα σύνολο από διαλείμματα παύσης και χρονομετρητές απόσυρσης προς αποφυγή συγκρούσεων. Παρ' όλα αυτά, με το DCF, όλοι οι σταθμοί έχουν την ίδια προτεραιότητα προκειμένου να μπορέσουν να εκπέμψουν στο δίαυλο. Με το EDCA κάθε επίπεδο προτεραιότητας πρόσβασης συνδέεται με συγκεκριμένης κλίμακας διαστήματα παύσης και χρονομετρητές απόσυρσης. Σε μεταδόσεις αυξημένης προτεραιότητας εκχωρείται δικαίωμα μικρότερου διαστήματος παύσης. Το πρότυπο περιλαμβάνει και μια κατάσταση εκρηκτικής κίνησης πακέτων (packet-bursting mode) που επιτρέπει σε ένα σταθμό πρόσβασης ή ένα κινητό τερματικό να δεσμεύει το δίαυλο και να στέλνει 3 έως 5 πακέτα σε ακολουθία.

WiFi Scheduled Multimedia (WSM)

Όσο ακόμη λειτουργεί σε μια ανταγωνιστική βάση, το EDCA δεν περιλαμβάνει μηχανισμό για παράδοση πραγματικής υπηρεσίας με προκαθορισμένη καθυστέρηση. Απλά διασφαλίζει ότι οι υπηρεσίες φωνής θα περιμένουν λιγότερο χρόνο απ' ότι οι υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων προκειμένου να μεταδοθούν. Υπηρεσίες πραγματικά εγγυημένης καθυστέρησης μπορούν να παρασχεθούν μέσω του προαιρετικού μηχανισμού WiFi Scheduled Multimedia (WSM) της έκδοσης 802.16e. Το WSM λειτουργεί όπως η Σημειακή Λειτουργία Συντονισμού (Point Control Function), η οποία έχει οριστεί στο αρχικό 802.11 MAC. Στο WSM ο σταθμός πρόσβασης (access point) εκτελεί μια περιοδική ευρυεκπομπή (broadcast) ενός μηνύματος ελέγχου, το οποίο υποχρεώνει όλους τους συνδρομητικούς σταθμούς να θεωρούν το δίαυλο ως απασχολημένο, ώστε να αποτρέπονται στο να εκπέμψουν. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ο σταθμός πρόσβασης εκλέγει ένα συνδρομητικό σταθμό, ο οποίος έχει οριστεί για μεταφορά χρονικά ευαίσθητης υπηρεσίας. Για να γίνει χρήση της WSM επιλογής θα πρέπει οι συσκευές να στέλνουν πρώτα το προφίλ της κίνησής τους περιγράφοντας τις απαιτήσεις τους ως προς το bandwidth, το latency και το jitter. Εάν ο σταθμός πρόσβασης δεν έχει επαρκείς πόρους στη διάθεσή του για την ικανοποίηση ενός συγκεκριμένου προφίλ κίνησης, θα απαντήσει στο συνδρομητικό σταθμό με ένα μήνυμα κατειλημένου. Ο λόγος για τον οποίο το WSM συμπεριλαμβάνεται ως προαιρετικό χαρακτηριστικό του προτύπου 802.11e έγκειται στο γεγονός ότι όλοι οι σταθμοί πρόσβασης θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να απαντούν με μηνύματα

κατειλημένου προς το χρήστη σε περίπτωση μη αποδοχής του προφίλ κίνησής του.
[13]

6.4.3 Συγκρίσεις των προτύπων της οικογένειας 802.11

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται βασικά χαρακτηριστικά των προτύπων 802.11 a, b και g.

	802.11b	802.11g	802.11a
Συμβατότητα με	IEEE 802.11b. Wi-Fi CERTIFIED	IEEE 802.11b και 802.11g. Wi-Fi CERTIFIED	IEEE 802.11a. Wi-Fi CERTIFIED
Αριθμός καναλιών	3 μη επικαλυπτόμενα	3 μη επικαλυπτόμενα	8 μη επικαλυπτόμενα (4 σε μερικές χώρες)
Τυπική ακτίνα κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους (οι ρυθμοί μετάδοσης είναι ανά κανάλι)	100 ft (30 m) @ 11 MBps; 300 ft (91 m) @ 1 Mbps	100 ft (30 m) @ 54 MBps; 300 ft (91 m) @ 1 Mbps	12 m @ 54 Mbps 91 m @ 6 Mbps
Τυπική ακτίνα κάλυψης (με οπτική επαφή) σε εξωτερικούς χώρους (οι ρυθμοί μετάδοσης είναι ανά κανάλι)	120 m @ 11 Mbps 460 m @ 1 Mbps	120 m @ 54 Mbps 460 m @ 1 Mbps	30m @ 54 Mbps 300m @ 6 Mbps
Ταχύτητα μετάδοσης	11, 5.5, 2 and 1 Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, and 6 Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 8, and 6 Mbps
Διαμόρφωση	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), 2.4 GHz	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), 2.4 GHz	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), 5 GHz

(ΠΗΓΗ: [12])

Πίνακας 6.6: Βασικά χαρακτηριστικά των προτύπων 802.11a,b και g

Ακολουθούν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τριών προτύπων IEEE 802.11:

802.11b

Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη ακτίνα κάλυψης
- Χαμηλό κόστος υλοποίησης

Μειονεκτήματα

- Μη αποδοτικό στη χρήση εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης
- Χαμηλή μέγιστη ταχύτητα
- Υποστήριξη μικρού αριθμού ταυτόχρονα συνδεδεμένων χρηστών.

802.11a

Πλεονεκτήματα

- Αποδοτικό στη χρήση εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (όπως φωνής και video).
- Υψηλή μέγιστη ταχύτητα
- Υποστήριξη μεγάλου αριθμού ταυτόχρονα συνδεδεμένων χρηστών

Μειονεκτήματα

- Μη συμβατό με το 802.11b
- Μικρή ακτίνα κάλυψης
- Υψηλό κόστος υλοποίησης

802.11g

Πλεονεκτήματα

- Συμβατό με το 802.11b
- Αποδοτικό στη χρήση εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης (όπως φωνής και video).
- Υψηλή μέγιστη ταχύτητα
- Μεγάλη ακτίνα κάλυψης
- Υποστήριξη μεγάλου αριθμού ταυτόχρονα συνδεδεμένων χρηστών

Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος υλοποίησης

6.5 Σύγκριση WiMAX και WiFi ως προς παρεχόμενη QoS

Σχετικά με την προσφερόμενη ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service -QoS), η υπεροχή του 802.16 είναι σαφής. Στο WiMAX υπάρχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας πολυμέσων, τη στιγμή που κάτι τέτοιο απουσιάζει από τις περισσότερες εξειδικεύσεις του 802.11 και παρουσιάζεται μόνο στο 802.11e με τη μορφή των κλάσεων υπηρεσιών. Η καινοτομία αυτή μεταφράζεται σε έμπιστες συμβάσεις-συμφωνίες (Service Level Agreements, SLAs) που μπορεί ένας πάροχος να προσφέρει στον τελικό χρήστη ως προς την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών παρά το γεγονός ότι μεσολαβεί

ασύρματο μέσο διάδοσης. Επιπλέον, ο πάροχος μπορεί να προσφέρει διαφορετικά SLAs σε διαφορετικούς εγγεγραμμένους χρήστες ή ακόμα σε διαφορετικούς χρήστες στον ίδιο σταθμό υπηρεσίας. [7]

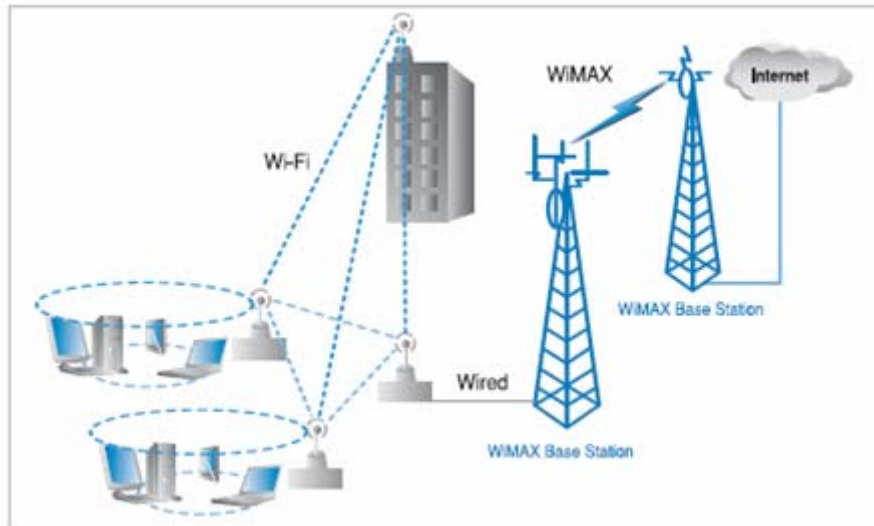
6.5.1 Κύρια χαρακτηριστικά του WiFi ως προς QoS

Στο WiFi γενικά, εκτός από έκδοση 802.11e, έχουμε:

- Ανταγωνισμό: το 802.11 χρησιμοποιεί πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος με αποφυγή σύγκρουσης (CSMA/CA). Υλοποιώντας το πρωτόκολλο αυτό μειονεκτούν αισθητά οι πιο απομακρυσμένοι SS.
- Όλες οι εφαρμογές επιδέχονται της ίδιας μεταχείρισης (BE), χωρίς να υπάρχει δυνατότητα προσφοράς διαφορετικών επιπέδων QoS.
- Δεν υπάρχουν gold χρήστες

6.5.2 WiMAX backhauling σε τοπολογία πλέγματος (mesh) WiFi

Θεωρούμε ότι είναι πολύ καλύτερα ο πάροχος να χρησιμοποιεί απ' ευθείας WiMAX για πρόσβαση, διότι μπορεί να παρέχει ειδική μεταχείριση ανά εφαρμογή και ανά χρήστη, ακόμη και ανάμεσα σε χρήστες που εξυπηρετούνται από την ίδια κεραία. Εκτός των άλλων ικανοποιεί την πρόκληση για τα ασύρματα δίκτυα και όχι μόνο που ήταν η παροχή εγγυημένης ποιότητας στις real time υπηρεσίες. QoS μπορούμε να θεωρήσουμε στο WiFi μόνο στην έκδοση 802.11e και μάλιστα μόνο σε αυτή με WSM. Πιστεύουμε ότι η χρήση μόνο ως backhaul υποτιμά πολύ τις δυνατότητες του WiMAX και το ρόλο για τον οποίο σχεδιάστηκε, στερώντας τους χρήστες αλλά και τους παρόχους από μια δυναμική διεξόδυση στον κόσμο της παροχής QoS. [14] Ωστόσο, αν θέλουμε σε αυτού του είδους τα δίκτυα QoS από άκρου σε άκρο, θα πρέπει το WLAN να υλοποιείται με συστήματα 802.11e που υποστηρίζουν εγγενώς QoS.



(ΠΗΓΗ [14])

Εικόνα 6.11: WiMAX διασύνδεση για Wi-Fi τοπολογία πλέγματος (mesh topology)

6.5.3 Πλεονεκτήματα WiMAX έναντι του WiFi

Τα IEEE 802.16 δίκτυα χρησιμοποιούν το στρώμα LLC (Logical Link Control που τυποποιείται και ως IEEE 802.2) όπως και άλλα LAN και WAN. Μια σημαντική πτυχή του IEEE 802.16 είναι ότι καθορίζει το στρώμα MAC που υποστηρίζει τις προδιαγραφές του πολλαπλού φυσικού στρώματος (PHY). Αυτό είναι κρίσιμο ώστε να επιτρέψει στους κατασκευαστές εξοπλισμού να διαφοροποιήσουν τις προσφορές τους. Αυτό είναι επίσης μια σημαντική πτυχή του γιατί το WiMAX μπορεί να περιγραφεί ως "πλαίσιο για την εξέλιξη της ασύρματης ευρυζωνικότητας", παρά μια στατική εφαρμογή ασύρματων τεχνολογιών. Οι αναβαθμίσεις στις τρέχουσες και στις νέες τεχνολογίες και ενδεχομένως στις νέες βασικές τεχνολογίες που ενσωματώνονται στο φυσικό στρώμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. [3]

Μια συγκλίνουσα τάση είναι η χρήση των multi-mode και multi-radio SoC (System on a Chip) και σχεδίων συστημάτων που είναι εναρμονισμένα μέσω της χρήσης του κοινού MAC, της διαχείρισης συστημάτων, της περιαγωγής (roaming), του IMS (IP Multimedia system) και άλλων επιπέδων του συστήματος. Το WiMAX μπορεί να περιγραφεί ως μία τολμηρή προσπάθεια σφυρηλάτησης πολλών τεχνολογιών για να εξυπηρετήσει πολλές ανάγκες σε πολλά φάσματα. Το στρώμα MAC είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του 802.11 Wi-Fi (αλλά και του Ethernet). Στο Wi-Fi, το MAC χρησιμοποιεί «ανταγωνιστική» πρόσβαση-όλοι οι συνδρομητικοί σταθμοί που

επιθυμούν να περάσουν δεδομένα μέσω ενός σημείου πρόσβασης (AP), ανταγωνίζονται 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 συνδρομητικός σταθμός πρέπει να ανταγωνιστεί μόνο μία φορά (για την αρχική του είσοδο μέσα στο δίκτυο). Μετά από αυτό, διατίθεται μια χρονοσχισμή από το σταθμό βάσης. Η χρονοσχισμή 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 εγγραφών (αντίθετα από το 802.11). Είναι επίσης πολύ περισσότερο αποδοτικός σε εύρος ζώνης. Ο αλγόριθμος επιτρέπει επίσης στο σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας, με την εξισορρόπηση των αναθέσεων με βάση τις ανάγκες των συνδρομητικών σταθμών.

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 συνδρομητικού σταθμού 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 βελτιώνονται σε πολλούς από τους περιορισμούς του Wi-Fi, με την παροχή αυξημένου εύρους ζώνης και ισχυρότερης κρυπτογράφησης.

Παραθέτουμε τον ακόλουθο πίνακα στον οποίο αποτυπώνεται σημεία διαφοροποίησης των τεχνολογιών WiMAX και WiFi σύμφωνα με το WiMAX FORUM.

Fixed WiMAX vs. WiFi

Attribute	WiFi (IEEE 802.11)	Fixed WiMAX (IEEE 802.16-2004)
Quality of Service	Priority-based, no service level guarantee	Deterministic, guaranteed service levels by traffic type and customer
Link Budget/Range	Limited by unlicensed Tx limitations and UL channel BW	Higher Tx powers permitted in licensed bands, UL sub-channelization and support for advanced antenna technologies
Latency	High with large number of users due to CSMA/CA scheduling approach	Grant/Request for scheduling, latency independent of number of users, can support latency-sensitive traffic such as VoIP, interactive gaming, etc.
Interference Immunity	No UL Tx power control or DFS, multiple operators in license-exempt bands	Aided by UL power control, DFS and advanced antenna technologies
Best Application	A good solution for wireless LANs	WiMAX is the best solution for wireless MANs, can also backhaul WiFi Access Points

WiFi is not a threat to WiMAX. WiFi & Fixed WiMAX address different markets, they are complementary

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

(ΠΗΓΗ: [2])

Πίνακας 6.7: Σύγκριση σταθερού WiMAX και WiFi

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας WiMAX έναντι του WiFi σημειώνονται στους παρακάτω τομείς [15] :

- κλιμάκωση (scalability)
- σχετική απόδοση (relative performance)
- ποιότητα υπηρεσίας (QoS)
- εμβέλεια (range)
- κάλυψη (coverage)
- ασφάλεια (security)

Κλιμάκωση

802.11	802.16
· Κανάλια εύρους 20MHz	· Το εύρος των καναλιών επιλέγεται και κυμαίνεται από 1.75 MHz έως 20 MHz

Σχετική απόδοση

	Channel Bandwidth	Maximum Data Rate	Maximum bps/Hz
802.11	20 MHz	54 Mbps	2.7 bps/Hz
802.16	1.75 – 20 MHz	100 Mbps	5.0 bps/Hz

Ποιότητα Υπηρεσιών

802.11	802.16
<ul style="list-style-type: none">• MAC βασισμένο στον ανταγωνισμό (CSMA/CA) => όχι εγγυημένη QoS• Δεν εγγυάται το επίπεδο latency για μεταφορά φωνής ή video• Δεν παρέχει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσιών ανάλογα με το χρήστη	<ul style="list-style-type: none">• Απόκτηση πρόσβασης MAC κατόπιν αίτησης• Σχεδιάστηκε για την παροχή βέλτιστης μεταφορά φωνής και video• Υποστηρίζει διαφορετικά επίπεδα υπηρεσίας π.χ. T1 για επιχειρησιακούς πελάτες, Best Effort για οικιακούς.

Εμβέλεια

802.11	802.16
<ul style="list-style-type: none">• Εμβέλεια περίπου 100 m• Η ανοχή του σε φαινόμενα εξάπλωσης καθυστέρησης λόγω πολυδιάθραξης σε εσωτερικούς χώρους είναι 0.8 μsec	<ul style="list-style-type: none">• Η θεωρητική εμβέλεια περίπου 50 Km• Η ανοχή του σε φαινόμενα εξάπλωσης καθυστέρησης λόγω πολυδιάθραξης (ανακλάσεις σήματος) σε εσωτερικούς χώρους είναι 10.0 μsec

Κάλυψη

802.11	802.16
<ul style="list-style-type: none">• Βέλτιστη απόδοση σε LOS• Δεν υποστηρίζει τοπολογία πλέγματος με επικυρωμένα πρότυπα	<ul style="list-style-type: none">• Βέλτιστη απόδοση σε NLOS• Το πρότυπο υποστηρίζει τοπολογία δικτύου πλέγματος (mesh network)

Ασφάλεια

802.11	802.16
<ul style="list-style-type: none">• Το υπάρχον πρότυπο WPA + WEP	<ul style="list-style-type: none">• Το υπάρχον πρότυπο PKM - EAP

ΜΕΡΟΣ Β

Case Study:

Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε.

7

Αρχικός θεωρητικός σχεδιασμός δικτύου πρόσβασης και δικτύου διασύνδεσης

7.1 Επιλογή συχνοτικών ζωνών

Στο πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας παρουσιάσαμε την τεχνολογία WiMAX σε θεωρητικό επίπεδο. Στο δεύτερο μέρος θα μελετήσουμε ένα σενάριο εγκατάστασης συστήματος WiMAX στην περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής καθώς και την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών με υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Ως βάση εφαρμογής θα λάβουμε τα πιλοτικά συστήματα WiMAX που υλοποιεί ο Ο.Τ.Ε., ο οποίος πρωτοπορεί στην εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην Ελλάδα.

Για τη λειτουργία συστήματος WiMAX ο πάροχος των υπηρεσιών (provider) θα πρέπει είτε να έχει αγοράσει τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (Ε.Ε.Τ.Τ.), είτε να χρησιμοποιήσει το αντίστοιχο μη αδειοδοτημένο τμήμα του φάσματος που έχει απελευθερώσει η Ε.Ε.Τ.Τ.-αποδεχόμενος στην περίπτωση αυτή το ενδεχόμενο παρεμβολών. Για τη λειτουργία συστημάτων WiMAX ο Ο.Τ.Ε. έχει αγοράσει από την Ε.Ε.Τ.Τ. δύο ζώνες συχνοτήτων των 14MHz η κάθε μία, στην περιοχή των 3.5GHz. Η συγκεκριμένη περιοχή του

ηλεκτρομαγνητικού φάσματος διατίθεται στις περισσότερες χώρες του κόσμου για την υποστήριξη της εν λόγω τεχνολογίας. Συγκεκριμένα, οι ζώνες που έχει αγοράσει ο Ο.Τ.Ε. είναι: 3441.5 – 3455.5 MHz και 3541.5 – 3555.5 MHz. Στα WiMAX συστήματα το εύρος ζώνης του ραδιοδιαύλου (:καναλιού) ενός σταθμού βάσης μπορεί να είναι πολλαπλάσιο των 3.5 MHz (3.5, 7, 14, 20, 28 MHz). Για τη βέλτιστη ανάπτυξη του δικτύου στην περίπτωσή μας θα πρέπει να χωρίσουμε το δοθέν φάσμα σε ζώνες των 3.5 ή των 7 MHz το πολύ. Συνεπώς, το αδειοδοτημένο φάσμα των 2 x 14 MHz μπορεί να αντιστοιχηθεί σε ένα πλήθος ραδιοδιαύλων που κυμαίνεται από τέσσερις έως οκτώ.

7.2 Επιλογή τοποθεσιών για εγκατάσταση σταθμών

Για κάλυψη του Λεκανοπεδίου Αττικής επιλέξαμε τέσσερις θέσεις για εγκατάσταση σταθμών βάσης:

- i) Διοικητικό Μέγαρο Ο.Τ.Ε. στην Λεωφ. Κηφισίας (Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.),
- ii) Κτήριο Ο.Τ.Ε. στην οδό Πατησίων (NYMA),
- iii) Α/Τ Ο.Τ.Ε. Υμηττού και
- iv) Α/Τ Ο.Τ.Ε. Πάρνηθας.

Οι συγκεκριμένες θέσεις επελέγησαν αφενός διότι προσφέρουν μια αρκετά ικανοποιητική κάλυψη σε πρώτη φάση και αφετέρου διότι υπάρχουν ήδη έτοιμες αρκετές από τις απαιτούμενες υποδομές (κατασκευαστικές, ενεργειακές, τηλεπικοινωνιακές) για την εγκατάσταση συστημάτων WiMAX. Επιπρόσθετα, το μεν Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. είναι από τα υψηλότερα κτήρια του λεκανοπεδίου, οι δε Α/Τ Υμηττού και Πάρνηθας βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο. Έτσι, οι περισσότερες περιοχές του Λεκανοπεδίου «φωτίζονται» από τους τρεις αυτούς σταθμούς, έχοντας μάλιστα οπτική επαφή (LoS). Επίσης, το κτήριο του NYMA, είναι αρκετά ψηλό και βρίσκεται στο κέντρο της Αθήνας, όπου εδρεύουν μικρότερες ή μεγαλύτερες επιχειρήσεις και οι οποίες έχουν ανάγκη ευρυζωνικών υπηρεσιών.

7.3 *Frequency Planning*

Έχοντας επιλέξει τα σημεία εγκατάστασης των σταθμών βάσης προχωρούμε στη μελέτη κατανομής των συχνοτικών ζωνών που θα ανατεθούν σε κάθε σταθμό (**frequency planning**). Θεωρούμε ότι έχουμε στη διάθεσή μας τα 8 κανάλια των 3.5 MHz του αδειοδοτημένου φάσματος του Ο.Τ.Ε. Έστω F_i , $i = 1, 2, \dots, 8$: οι κεντρικές συχνότητές τους:

$$F_1 = 3443.25 \text{ MHz}$$

$$F_2 = 3446.75 \text{ MHz}$$

$$F_3 = 3450.25 \text{ MHz}$$

$$F_4 = 3453.75 \text{ MHz}$$

$$F_5 = 3543.25 \text{ MHz}$$

$$F_6 = 3546.75 \text{ MHz}$$

$$F_7 = 3550.25 \text{ MHz}$$

$$F_8 = 3553.75 \text{ MHz}$$

Γενικά, σκοπός του frequency planning είναι η κατανομή των καναλιών συχνοτήτων στους διάφορους σταθμούς βάσης με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το ενδεχόμενο ομοδιαυλικών παρεμβολών. Επειδή το διαθέσιμο φάσμα μπορεί να είναι περιορισμένο για την εξασφάλιση της απαιτούμενης πληθυσμιακής κάλυψης, ακολουθείται η τεχνική της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Για την επαναχρησιμοποίηση ενός καναλιού φροντίζουμε να υπάρχουν οι απαιτούμενες συνθήκες προκειμένου ο λόγος του πρωτεύοντος σήματος προς το δευτερεύον στην ίδια συχνότητα (:σήμα ομοδιαυλικής παρεμβολής) να υπερβαίνει τα 25 dB. [1] Προς την κατεύθυνση αυτή προσπαθούμε να μην υπάρξουν δύο κεραιές που να εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα και οι περιοχές κάλυψής τους είναι επικαλυπτόμενες.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την κατανομή των συχνοτήτων είναι η πληθυσμιακή κατανομή ανά περιοχή. Στο σημείο αυτό σημειώνουμε ότι λόγω διαχειριστικών περιορισμών των ίδιων των σταθμών βάσης, όπως προκύπτει από τις προδιαγραφές των εταιρειών κατασκευής υλικού, κάθε κεραία έχει ένα άνω όριο ως προς το πλήθος των συνδρομητών που μπορεί να υποστηρίξει. Ως ενδεικτικό πλήθος συνδρομητών αναφέρουμε τους 128.[1] Το συγκεκριμένο όριο είναι το ίδιο για κάθε κεραία ανεξάρτητα του εύρους ζώνης του καναλιού που υποστηρίζει.

Θέλοντας στην περιοχή του Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. να καλύψουμε το μεγάλο πλήθος των υποψήφιων εταιρικών χρηστών, επιλέξαμε την τοποθέτηση 2 ξεχωριστών κεραιών με άνοιγμα 90° η κάθε μία, ώστε το άνω όριο του πλήθους των χρηστών που θα εξυπηρετούνται από τις κεραιές να είναι: $2 \times 128 = 256$. Οι προσανατολισμοί των λοβών των κεραιών είναι τέτοιοι ώστε να καλύπτουν την περιοχή με κεντρικό άξονα τη λεωφόρο Κηφισίας, κατά μήκος της οποίας θεωρούμε ότι θα υπάρχουν πολλοί υποψήφιοι χρήστες του δικτύου WiMAX.

Για το NYMA επιλέγουμε την τοποθέτηση κεραιάς με κανάλι λειτουργίας εύρους 7 MHz, ενώ για στο A/T Πάρνηθας και στο A/T Υμηττού θα τοποθετήσουμε μία κεραιά πρόσβασης ανά τοποθεσία, που να λειτουργεί σε κανάλι των 3.5 MHz.

Εκτός από τη διάθεση καναλιών για την ανάπτυξη των δικτύων πρόσβασης, εξετάζουμε τη διάθεση καναλιών για την ανάπτυξη δικτύου διασύνδεσης των σταθμών βάσης. Για την ανάπτυξη δικτύου WiMAX που θα προσφέρει IP υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες απαιτείται η διασύνδεση των σταθμών βάσης με το IP core δίκτυο του Ο.Τ.Ε. Λόγω ύπαρξης σχετικών υποδομών τόσο στο NYMA όσο και στο Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. θα απαιτηθεί ασύρματη διασύνδεση μόνο μεταξύ των: A/T Πάρνηθας-Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. και A/T Υμηττού - NYMA (Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. - NYMA: διασυνδέονται καλωδιακά μεταξύ τους). Έτσι, το απαιτούμενο πλήθος καναλιών για τη διασύνδεση των συγκεκριμένων σταθμών θα είναι επίσης 2, με εύρος 3.5 MHz έκαστο.

Συνεκτιμώντας τα παραπάνω καταλήγουμε στο ακόλουθο frequency planning για τα δίκτυα πρόσβασης και διασύνδεσης:

A/T ΠΑΡΝΗΘΑΣ:	F_1
A/T ΥΜΗΤΤΟΥ:	F_2
NYMA:	F_3, F_4
ΔΜΟΤΕ:	F_5, F_6
NYMA – A/T ΥΜΗΤΤΟΥ:	F_7
ΔΜΟΤΕ – A/T ΠΑΡΝΗΘΑΣ:	F_8

Στην περίπτωση τοποθέτησης sectorial κεραιών στον ίδιο ιστό, ακόμη κι αν έχουν διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας και μη επικαλυπτόμενες δέσμες ακτινοβολίας υπάρχει το ενδεχόμενο παρεμβολών. Αυτό συμβαίνει διότι τα φίλτρα που συναντούν τα λαμβανόμενα σήματα σε μία κεραιά είναι ζωνοπερατά με εύρος που μπορεί να φτάνει τα 200MHz, δηλαδή πολύ μεγαλύτερα των καναλιών των 3.5 MHz. Θεωρώντας ότι οι οπίσθιοι λοβοί των sectorial κεραιών δεν είναι πρακτικά μηδενικοί, θα έχουμε

πρόβλημα παρεμβολών με την έννοια ότι θα εισάγεται ισχύς σήματος της μιας κεραίας στην άλλη επενεργώντας στη δεύτερη ως θόρυβος.

Για την αποφυγή του ενδεχομένου αυτού στο σταθμό του Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. όπου έχουμε δύο sectorial κεραίες των 90° στον ίδιο ιστό, ορίζουμε τη λειτουργία τους σε διαφορετικές πολώσεις (ορθογώνιες μεταξύ τους). Έτσι, η μία κεραία θα λειτουργεί σε οριζόντια και η άλλη σε κατακόρυφη πόλωση. Με τη ρύθμιση αυτή το σήμα που θα εισέρχεται σε μία κεραία και θα έχει ορθογώνια πόλωση ως προς την αναμενόμενη, θα ενισχύεται πολύ λιγότερο (περίπου 22dB λιγότερο [1]) σε σχέση με το σήμα αναμενόμενης πόλωσης. Προφανώς, στη συγκεκριμένη περίπτωση απαιτείται κατάλληλη συμβατή ρύθμιση πόλωσης των εξυπηρετούμενων CPEs.

Για το σχεδιασμό δικτύων πρόσβασης και διασύνδεσης καθώς και για την εκτίμηση των υποστηριζόμενων υπηρεσιών ακολουθήσαμε τις παρακάτω διαδικασίες, οι οποίες αναλύονται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

- Διαδικασία Site Survey (λήψη γεωγραφικών συντεταγμένων, εκτίμηση γεωγραφικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος διάδοσης, διαπίστωση της υφιστάμενης υποδομής σε θέματα παροχής ενέργειας, τηλεπικοινωνιακών και κατασκευαστικών υποδομών).
- Προσομοίωση της ραδιοκάλυψης με βάση το site survey (χρήση εξειδικευμένου λογισμικού ραδιοκάλυψης) και αρχικός θεωρητικός σχεδιασμός δικτύου πρόσβασης και δικτύου διασύνδεσης.
- Σχεδιασμός και συμπλήρωση απαραίτητων υποδομών (όπου απαιτείται) και εκτίμηση των υπηρεσιών που μπορούν να παρασχεθούν (QoS, bandwidth, είδος πχ. business-leased lines κλπ.). Εγκατάσταση-Υλοποίηση υποδομών και δικτύου.

8

Διαδικασία επιτόπιας επισκόπησης (site survey)

8.1 Η διαδικασία Site Survey

Πρώτο βήμα στη διαδικασία σχεδιασμού του δικτύου WiMAX είναι ο καθορισμός της επιθυμητής περιοχής κάλυψης. Αφού επιλεγεί η επιθυμητή περιοχή, πραγματοποιούμε επιτόπια επισκόπηση (site survey).

Είναι ανάγκη να τονιστεί η αξία της πρώτης αυτής διαδικασίας στο σχεδιασμό του WiMAX δικτύου. Ευθύνη του Μηχανικού Τηλεπικοινωνιών που σχεδιάζει το σύστημα είναι ο σχεδιασμός του δικτύου με τρόπο τέτοιο ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση του συστήματος και να αξιοποιούνται στο μέγιστο βαθμό τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην περιοχή, με απώτερο στόχο την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας παρουσίασης προβλημάτων σχετικά με την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες. Συνεπώς, η σημασία του σωστού σχεδιασμού του δικτύου αναφορικά με την τελική απόδοση του συστήματος κρίνεται θεμελιώδης.

Στόχος της διαδικασίας site survey είναι ο εντοπισμός πιθανών θέσεων εγκατάστασης της κεραίας του σταθμού βάσης και η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για το επόμενο βήμα (διαδικασία) ανάπτυξης του συστήματος που είναι η

προσομοίωση ραδιοκάλυψης με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, προκειμένου να γίνει ο αρχικός θεωρητικός σχεδιασμός δικτύου πρόσβασης και δικτύου διασύνδεσης.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής υποψήφιων σημείων για εγκατάσταση κεραίας σταθμού βάσης είναι:

- 1. Ύπαρξη οπτικής επαφής (LOS) με υποψήφιους χρήστες.**
- 2. Δυνατότητα εγκατάστασης της κεραίας στο συγκεκριμένο σημείο** (αποτελεί συνάρτηση της υφιστάμενης υποδομής σε θέματα παροχής ενέργειας, ύπαρξης τηλεπικοινωνιακών και κατασκευαστικών υποδομών).

Με επίσκεψη στα συγκεκριμένα σημεία λαμβάνονται τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, μέσω ειδικής GPS συσκευής λαμβάνουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου (με βάση το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς WGS84) και το υψόμετρο, καταγράφοντας παράλληλα την παρεχόμενη ακρίβεια της μέτρησης. Αποτυπώνουμε μέσω ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής το γεωγραφικό περιβάλλον της διάδοσης. Τέλος, καταγράφονται: η υφιστάμενη υποδομή σε θέματα παροχής ενέργειας, τηλεπικοινωνιακών και κατασκευαστικών υποδομών.

8.1.1 Ύπαρξη οπτικής επαφής (LOS) με τους υποψήφιους χρήστες

Η επίτευξη οπτικής επαφής (LOS, Line of Sight) της κεραίας σταθμού βάσης με τους πιθανούς χρήστες αποτελεί βασικό παράγοντα επιλογής της θέσης εγκατάστασης. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση των αποσβέσεων κατά την διάδοση του σήματος. Εκτιμώνται πιθανές αποσβέσεις λόγω διαφόρων εμποδίων (πχ. λόφοι, κτήρια, ψηλά δένδρα κλπ.). Επιδίωξη είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη καθαρότητα της 1ης ζώνης Fresnel. Για την ύπαρξη οπτικής επαφής ως κατώφλι θεωρείται η καθαρότητα του 60% της 1ης ζώνης Fresnel.

8.1.2 Δυνατότητα εγκατάστασης της κεραίας στο συγκεκριμένο σημείο

8.1.2.1 Θέματα κατασκευαστικών υποδομών

Για την υποψήφια θέση εγκατάστασης της κεραίας διακρίνονται τα ακόλουθα ενδεχόμενα:

- **Ιδιοκτησία του οικοπέδου στο οποίο περιλαμβάνεται το πιθανό σημείο τοποθέτησης της κεραίας.**

Εξετάζουμε αν ήδη υπάρχει ιστός που να μας ικανοποιεί καθώς και ο απαραίτητος συνοδευτικός οικίσκος. Σε αυτή την περίπτωση εντοπίζουμε την ακριβή θέση τοποθέτησης της κεραίας στον ιστό, ώστε να παρέχει την επιθυμητή κάλυψη και καταγράφουμε το ύψος τοποθέτησης και τον προσανατολισμό. Αν δεν υπάρχει ιστός, ελέγχουμε την ευκολία πρόσβασης στην τοποθεσία (site), τη δυνατότητα εγκατάστασης ιστού (εκτιμώντας παράλληλα το απαιτούμενο ύψος) καθώς και συνοδευτικού οικίσκου (αν κρίνεται απαραίτητο).

- **Μη ιδιοκτησία του οικοπέδου που περιλαμβάνει το πιθανό σημείο τοποθέτησης της κεραίας.**

Μελετούμε τα ενδεχόμενα για απόκτηση κυριότητας της συγκεκριμένης θέσης. Στην ειδική περίπτωση ύπαρξης ιστού ιδιοκτησίας άλλης εταιρείας, θα πρέπει να υπάρξει συνεννόηση, σχετικά με το ενδεχόμενο της συνεγκατάστασης στον ίδιο ιστό.

- **Έλεγχος υποδομής για εγκατάσταση του σταθμού βάσης.**

Ελέγχεται η ύπαρξη ειδικής κατασκευής-πλαισίου (RACK) μέσα στον οικίσκο με κατάλληλες υποδοχές για σταθμούς βάσης. Αν δεν υπάρχει, πρέπει να ληφθεί η σχετική πρόνοια.

- **Καλωδιακή όδευση από σταθμό βάσης προς κεραία.**

Εκτιμάται η ύπαρξη υποδομής (ειδικής σχάρας όδευσης) ή η ανάγκη κατασκευής της, ώστε να γίνει εφικτή η σύνδεση του σταθμού βάσης, που θα βρίσκεται στον οικίσκο, με την κεραία στον ιστό.

8.1.2.2 Θέματα ενεργειακής υποδομής

Για την τροφοδοσία των σταθμών βάσης απαιτείται DC τάση των 48 V. Επίσης, στην περίπτωση συνεγκατάστασης σταθμού βάσης πρόσβασης και σταθμού βάσης διασύνδεσης στην ίδια τοποθεσία (site) είναι αναγκαία η τοποθέτηση router που θα τους διασυνδέει και θα δρομολογεί τα δεδομένα ανάμεσα τους. Για την τροφοδοσία του router απαιτείται AC τάση των 220 V. Στην υποψήφια θέση εγκατάστασης της κεραίας, διακρίνονται 2 περιπτώσεις:

- **Διαθέσιμη παροχή ρεύματος από τη ΔΕΗ (AC 220V).**

Εμπίπτουμε στην πλέον απλή περίπτωση κατά την οποία ο πιθανός router μπορεί να συνδεθεί άμεσα με την παρεχόμενη τροφοδοσία της ΔΕΗ, ενώ για το σταθμό βάσης θα παρεμβάλλουμε μετατροπέα AC σε DC (AC/DC Converter).

- **Μη διαθέσιμη παροχή ρεύματος από τη ΔΕΗ.**

Εξετάζεται το ενδεχόμενο εξασφάλισης της απαιτούμενης ισχύος τροφοδοσίας με χρήση άλλων μέσων όπως ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (H/Z), φωτοβολταϊκών στοιχείων (Φ/B) ή ανεμογεννήτριας. Σε περίπτωση ύπαρξης τέτοιας υποδομής εκτιμώνται οι απαιτήσεις ισχύος της κεραίας και ελέγχεται ως προς την επάρκεια της η παρούσα υποδομή, διαφορετικά διερευνάται το ενδεχόμενο επέκτασής της.

8.1.2.3 Θέματα τηλεπικοινωνιακών υποδομών

Ως προς την υποδομή αυτού του είδους μάς ενδιαφέρει η ύπαρξη μέσου διασύνδεσης (backhauling) της κεραίας του σταθμού βάσης στο σημείο πιθανής εγκατάστασης με το υφιστάμενο Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο. Ελέγχεται αν η διασύνδεση μπορεί να γίνει με ενσύρματο μέσο π.χ. ADSL γραμμή ή με ασύρματο π.χ. mini-link.

Σε περίπτωση ύπαρξης τέτοιας υποδομής εκτιμάται η επάρκειά της για την κάλυψη της αναμενόμενης τηλεπικοινωνιακής κίνησης στην περιοχή.

8.2 Καταγραφή των συλλεχθέντων στοιχείων

Ακολουθεί ενδεικτική φόρμα των στοιχείων που συλλέγονται κατά τη διαδικασία του site survey:

SITE SURVEY ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ WiMAX

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Νομός:
Δήμος ή Κοινότητα:
Ονομασία Τοποθεσίας:
Διεύθυνση:
Γεωγραφικό μήκος (WGS84):
Γεωγραφικό πλάτος (WGS84):
Υψόμετρο Εδάφους:

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία Οικοπέδου: Ιδιοκτησία:
Εμβαδόν:
Περίφραξη:
Ευκολία Πρόσβασης:

Στοιχεία Κτηρίου: Ιδιοκτησία:
Τύπος Κτηρίου:
Ύψος Κτηρίου:

Στοιχεία Ιστού: Ιδιοκτησία:
Τοποθεσία Ιστού:
Τύπος Ιστού:
Ύψος Ιστού:
Μέγιστο Διαθέσιμο Ύψος Εγκατάστασης:
Υπάρχοντα Κεραιοσυστήματα:

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Παροχή Ρεύματος: ΔΕΗ:
DC/AC:
Πίνακας Παροχής Ρεύματος:
Αδιάλειπτη παροχή:
Φ/B:
Μπαταρίες:
Γειώσεις:

Δικτυακές Υποδομές: Κόμβος IP:
Κόμβος Ethernet:

SDH (Οπτικό/ Μικροκυματικό):
DCN:
DSLAM:
ATM:
Routers / Switches:
Ελεύθερες θύρες:
Οδεύσεις Καλωδίων:

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:
Είδος Κεραίας:
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):
Κλίση Κεραίας (deg):
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:
Πόλωση:
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες)
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:
Τύπος Καλωδίου:
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου:
Απαίτηση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W):

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:
Είδος Κεραίας:
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):
Κλίση Κεραίας (deg):
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:
Πόλωση:
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες)
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:
Τύπος Καλωδίου:
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου:
Απαίτηση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W):
Ζεύξεις με Άλλους Σταθμούς:

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΔΟΙΠΟΡΙΚΟ

Case Study

Site survey στις θέσεις: Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.
ΝΥΜΑ
Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΠΑΡΝΗΘΑΣ
Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΥΜΗΤΤΟΥ

Στη συνέχεια, από τα στοιχεία που συλλέξαμε κατά τη διαδικασία των site surveys στις τέσσερις θέσεις παραθέτουμε μόνο όσα είναι απαραίτητα για την παρουσίαση που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια.

SITE SURVEY ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ WiMAX ΣΤΟ Διοικητικό Μέγαρο Ο.Τ.Ε. (Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.)

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Νομός: *ΑΤΤΙΚΗΣ*
Δήμος ή Κοινότητα: *ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ*
Ονομασία Τοποθεσίας: *Διοικητικό Μέγαρο Ο.Τ.Ε.*
Διεύθυνση: *Λεωφόρος Κηφισίας 99*
Γεωγραφικό μήκος (WGS84): *23° 48' 14.17''*
Γεωγραφικό πλάτος (WGS84): *38° 02' 42.83''*
Υψόμετρο Εδάφους: *213m*

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία Οικοπέδου: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Εμβαδόν:
Περίφραξη:
Ευκολία Πρόσβασης:

Στοιχεία Κτηρίου: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Τύπος Κτηρίου: *Διοικητικό Μέγαρο ΟΤΕ*
Ύψος Κτηρίου: *75m*

Στοιχεία Ιστού: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Τοποθεσία Ιστού: *Στο Δώμα του 15^{ου} Ορόφου*
Τύπος Ιστού: *Δικτύωμα*
Ύψος Ιστού: *5 m*
Μέγιστο Διαθέσιμο Ύψος Εγκατάστασης: *4m*
Υπάρχοντα Κεραιοσυστήματα: *Υπάρχουν πολλά άλλα κεραιοσυστήματα που εκπέμπουν σε όλες τις φασματικές ζώνες.*

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Παροχή Ρεύματος:	ΔΕΗ:	Υπάρχει παροχή ΔΕΗ
	DC/AC:	48V/220V
	Πίνακας Παροχής Ρεύματος:	Υπάρχει πίνακας ιδιοκτησίας ΟΤΕ
	Αδιάλειπτη παροχή:	Ναι
	Φ/Β:	-
	Μπαταρίες:	-
	Γειώσεις:	Ναι

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	2 Σταθμοί Πρόσβασης
Είδος Κεραιών:	2 sectorial
3dB Άνοιγμα Κεραιών (H):	90°
Προσανατολισμός Κεραιών (deg):	0° (Βόρεια κεραία), 210° (Νότια κεραία)
Κλίση Κεραιών (deg):	0°
Ύψος Τοποθέτησης Κεραιών (m):	5
Τρόπος Στήριξης Κεραιών:	Σε υπάρχοντα υποδέκτη
Πόλωση:	Οριζόντια (Βόρεια κεραία), Κατακόρυφη (Νότια κεραία)
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες):	3446.75 MHz (Βόρεια κεραία), 3543.25 MHz (Νότια κεραία)
Εύρος Διαύλων Εκπομπής:	3.5 MHz
Τύπος Καλωδίου:	IF
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	20

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

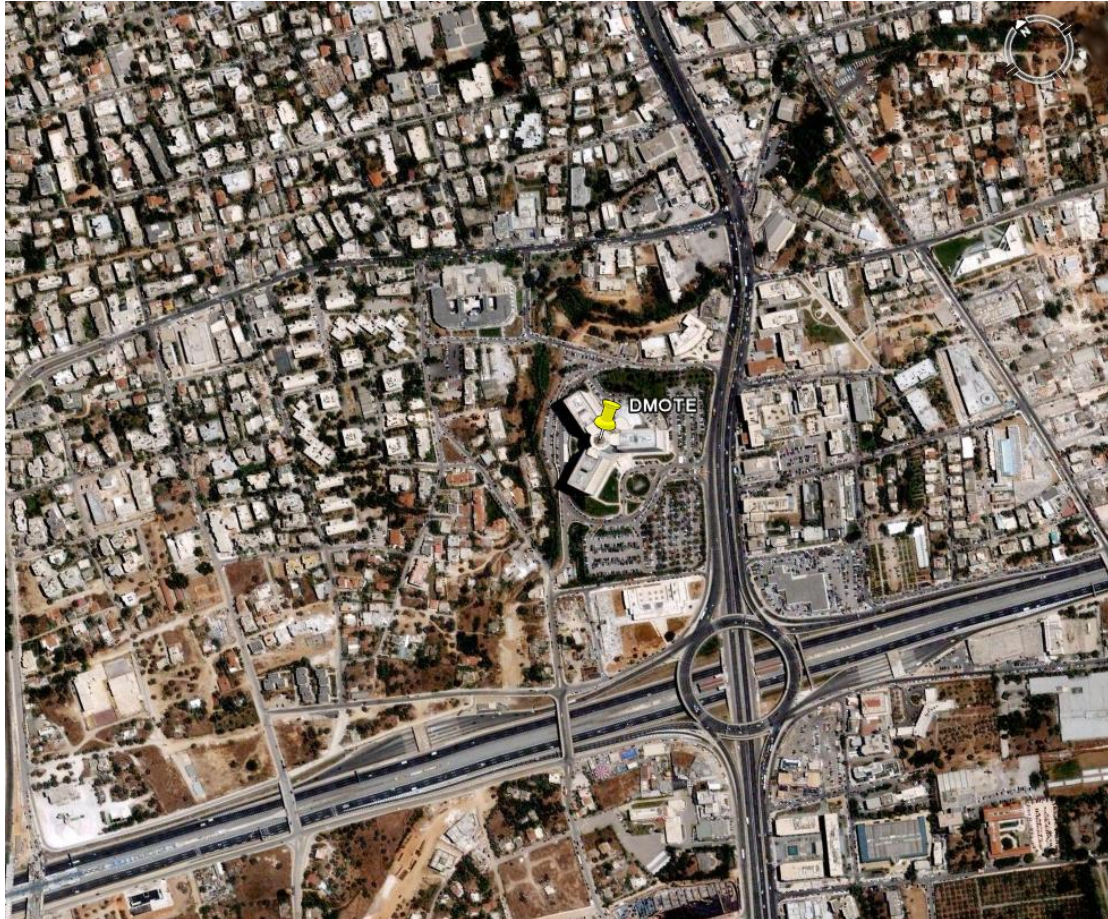
Τύπος Σταθμού:	1 Σταθμός Διασύνδεσης
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):	15
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	334
Κλίση Κεραίας (deg):	+4.2
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	5
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	Σε υπάρχοντα υποδέκτη
Πόλωση:	Κατακόρυφη
Δίαυλος Εκπομπής (Κεντρική Συχνότητα):	3553.75 MHz
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	3.5MHz
Τύπος Καλωδίου:	IF
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	25
Ζεύξεις με άλλον Σταθμό:	Πάρνηθα

Απαιτήση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W): 800 (Συνολικά, για πρόσβαση, διασύνδεση και router)

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΔΟΠΟΡΙΚΟ



Εικόνα 8.1: Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στο Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.

SITE SURVEY ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ WiMAX ΣΤΟ Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΠΑΡΝΗΘΑΣ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Νομός: *ΑΤΤΙΚΗΣ*
Δήμος ή Κοινότητα:
Όνομασία Τοποθεσίας: *ΠΑΡΝΗΘΑ Α/Τ*
Διεύθυνση:
Γεωγραφικό μήκος (WGS84): *23° 43' 47.90''*
Γεωγραφικό πλάτος (WGS84): *38° 10' 20.70''*
Υψόμετρο Εδάφους: *1346 m*

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία Οικοπέδου: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Εμβαδόν:
Περίφραξη:
Ευκολία Πρόσβασης: *Ίσως χρειάζεται 4x4 όχημα τους χειμερινούς μήνες λόγω χιονιού.*

Στοιχεία Κτηρίου: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Τύπος Κτηρίου: *ΠΥΡΓΟΣ Ο.Τ.Ε. ΠΑΡΝΗΘΑΣ*
Ύψος Κτηρίου: *~ 60m*

Στοιχεία Ιστού: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Τοποθεσία Ιστού: *Δεν υπάρχει ιστός. Υπάρχουν πολλοί σωλήνες στα μπαλκόνια των ορόφων του πύργου. Οι κεραίες θα τοποθετηθούν σε υπάρχοντες σωλήνες του μπαλκονιού του 6^{ου} ορόφου.*
Τύπος Ιστού: *Επιδαπέδιοι υποδέκτες 2m*
Ύψος Ιστού:
Μέγιστο Διαθέσιμο Ύψος Εγκατάστασης:
Υπάρχοντα Κεραιοσυστήματα: *Υπάρχουν πολλά άλλα κεραιοσυστήματα τόσο στον πύργο του ΟΤΕ όσο και στον περιβάλλοντα χώρο.*

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Παροχή Ρεύματος: ΔΕΗ: *Υπάρχει παροχή ΔΕΗ για άλλα συστήματα*
DC/AC: *48V/220V*
Πίνακας: *Χρειάζονται δυο πίνακες παροχής ρεύματος για 48 και 220 V*
Αδιάλειπτη παροχή: *Ναι, υπάρχει UPS*

Φ/Β:	-
Μπαταρίες:	-
Γειώσεις:	<i>Ναι</i>

Οδεύσεις Καλωδίων: *Υπάρχουν Σχάρες στην οροφή του ορόφου και έξοδοι προς τις θέσεις που θα τοποθετηθούν οι κεραιές.*

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	<i>Σταθμός Πρόσβασης</i>
Είδος Κεραίας:	<i>Sectorial</i>
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):	<i>90°</i>
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	<i>180°</i>
Κλίση Κεραίας (deg):	<i>-6</i>
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	<i>1.5m max</i>
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	<i>Σε υπάρχοντες υποδέκτες</i>
Πόλωση:	<i>Κατακόρυφη</i>
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες):	<i>3443.25 MHz</i>
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	<i>3.5 MHz</i>
Τύπος Καλωδίου:	<i>IF</i>
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	<i>30</i>

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	<i>Σταθμός διασύνδεσης με ΔΜΟΤΕ</i>
Είδος Κεραίας:	<i>Τερματικό CPE</i>
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):	<i>15</i>
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	<i>154</i>
Κλίση Κεραίας (deg):	<i>-4.2</i>
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	<i>1.5m max</i>
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	<i>Σε υπάρχοντες υποδέκτες</i>
Πόλωση:	<i>Κατακόρυφη</i>
Δίαυλος Εκπομπής (Κεντρική Συχνότητα):	<i>3553.75 MHz</i>
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	<i>3.5 MHz</i>
Τύπος Καλωδίου:	<i>UTP</i>
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	<i>25</i>
Ζεύξεις με άλλον Σταθμό:	<i>Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.</i>
Απαίτηση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W):	<i>380</i>

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΔΟΠΟΡΙΚΟ



Εικόνα 8.2: Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στην Πάρνηθα.

SITE SURVEY ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ WiMAX ΣΤΟ Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΥΜΗΤΤΟΥ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Νομός: *ΑΤΤΙΚΗΣ*
Δήμος ή Κοινότητα:
Όνομασία Τοποθεσίας: *ΥΜΗΤΤΟΣ Α/Τ*
Διεύθυνση:
Γεωγραφικό μήκος (WGS84): *23° 49' 20.50''*
Γεωγραφικό πλάτος (WGS84): *37° 58' 27.50''*
Υψόμετρο Εδάφους: *679 m*

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία Οικοπέδου: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Εμβαδόν:
Περίφραξη: *Ναι*
Ευκολία Πρόσβασης: *Εύκολη*

Στοιχεία Κτηρίου: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Τύπος Κτηρίου: *Κτήριο Ο.Τ.Ε.*
Ύψος Κτηρίου: *6m*

Στοιχεία Ιστού: Ιδιοκτησία: *Ο.Τ.Ε.*
Τοποθεσία Ιστού: *Υπάρχει ιστός παραπλεύρως του κτηρίου σε απόσταση περίπου 10 μέτρων από αυτό. Υπάρχουν ελεύθεροι υποδέκτες στον ιστό για την τοποθέτηση των κεραιών.*
Τύπος Ιστού: *Δικτύωμα*
Ύψος Ιστού: *~20 m*
Μέγιστο Διαθέσιμο Ύψος Εγκατάστασης: *15m*
Υπάρχοντα Κεραιοσυστήματα: *Υπάρχουν αρκετές μικροκυματικές κεραιές ζεύξεων και κεραιές κινητής τηλεφωνίας εγκατεστημένες στον ιστό.*

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Παροχή Ρεύματος: ΔΕΗ: *Υπάρχει παροχή ΔΕΗ για άλλα συστήματα*
DC/AC: *48V/220V*
Πίνακας: *Χρειάζονται δυο πίνακες παροχής ρεύματος για 48 και 220 V*
Αδιάλειπτη παροχή: *Ναι, υπάρχει UPS*
Φ/Β: *-*
Μπαταρίες: *-*
Γειώσεις: *Ναι*

Οδεύσεις Καλωδίων: Υπάρχουν Σχάρες στην οροφή του ορόφου και έξοδοι προς τις θέσεις που θα τοποθετηθούν οι κεραιές.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	<i>Σταθμός Πρόσβασης</i>
Είδος Κεραίας:	<i>Sectorial</i>
3dB Άνοιγμα Κεραίας (deg):	<i>90°</i>
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	<i>335</i>
Κλίση Κεραίας (deg):	<i>-2</i>
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	<i>6</i>
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	<i>Σε Ελεύθερους Σωλήνες επί του δικτύωματος</i>
Πόλωση:	<i>Κατακόρυφη</i>
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες):	<i>3446.75 MHz</i>
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	<i>3.5 MHz</i>
Τύπος Καλωδίου:	<i>IF</i>
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	<i>30</i>

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

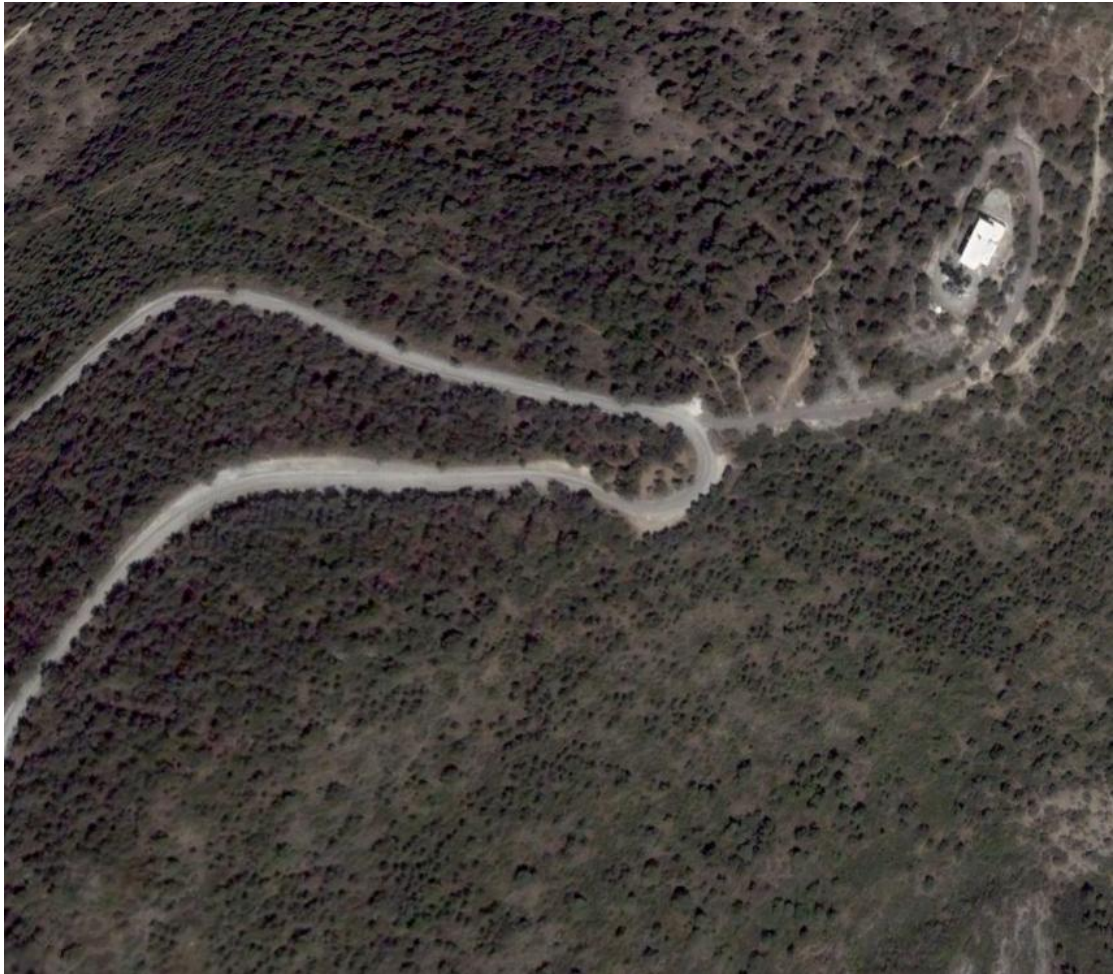
ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	<i>Σταθμός διασύνδεσης</i>
Είδος Κεραίας:	<i>Τερματικό CPE (προς NYMA)</i>
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):	<i>15</i>
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	<i>285</i>
Κλίση Κεραίας (deg):	<i>-4.2</i>
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	<i>5m</i>
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	<i>Σε υποδέκτη του δικτύωματος</i>
Πόλωση:	<i>Κατακόρυφη</i>
Δίαυλος Εκπομπής (Κεντρική Συχνότητα):	<i>3450.25 MHz</i>
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	<i>3.5 MHz</i>
Τύπος Καλωδίου:	
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	<i>30 UTP</i>
Ζεύξεις με άλλον Σταθμό:	<i>NYMA</i>
Απαίτηση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W):	<i>380</i>

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΔΟΠΟΡΙΚΟ



Εικόνα 8.3 : Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στον Υμηττό.

SITE SURVEY ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ WiMAX ΣΤΟ ΝΥΜΑ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Νομός:	<i>ΑΤΤΙΚΗΣ</i>
Δήμος ή Κοινότητα:	<i>ΑΘΗΝΩΝ</i>
Ονομασία Τοποθεσίας:	<i>ΝΥΜΑ</i>
Διεύθυνση:	<i>3^{ΗΣ} ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ 104</i>
Γεωγραφικό μήκος (WGS84):	<i>23° 43' 51.20''</i>
Γεωγραφικό πλάτος (WGS84):	<i>37° 59' 37.60''</i>
Υψόμετρο Εδάφους:	<i>90m</i>

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία Οικοπέδου:	Ιδιοκτησία:	<i>Ο.Τ.Ε.</i>
	Εμβαδόν:	
	Περίφραξη:	
	Ευκολία Πρόσβασης:	
Στοιχεία Κτηρίου:	Ιδιοκτησία:	<i>Ο.Τ.Ε.</i>
	Τύπος Κτηρίου:	<i>Κτήριο ΝΥΜΑ</i>
	Ύψος Κτηρίου:	<i>60m</i>
Στοιχεία Ιστού:	Ιδιοκτησία:	<i>Ο.Τ.Ε.</i>
	Τοποθεσία Ιστού:	<i>Στην Ταράτσα του 12^{ου} Ορόφου</i>
	Τύπος Ιστού:	<i>Δικτύωμα</i>
	Ύψος Ιστού:	<i>8 m</i>
	Μέγιστο Διαθέσιμο Ύψος Εγκατάστασης:	<i>7m</i>
	Υπάρχοντα Κεραιοσυστήματα:	<i>Υπάρχουν πολλά άλλα κεραιοσυστήματα που εκπέμπουν σε όλες τις φασματικές ζώνες.</i>

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Παροχή Ρεύματος:	ΔΕΗ:	<i>Υπάρχει παροχή ΔΕΗ</i>
	DC/AC:	<i>48V/220V</i>
	Πίνακας Παροχής Ρεύματος:	<i>Υπάρχει πίνακας ιδιοκτησίας ΟΤΕ</i>
	Αδιάλειπτη παροχή:	<i>Ναι, υπάρχει UPS</i>
	Φ/Β:	<i>-</i>
	Μπαταρίες:	<i>-</i>
	Γειώσεις:	<i>Ναι</i>

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	<i>Ένας Σταθμός Πρόσβασης</i>
Είδος Κεραίας:	<i>Ομοιοκατευθυντική</i>
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):	<i>360</i>
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	<i>-</i>
Κλίση Κεραίας (deg):	<i>0</i>
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	<i>7</i>
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	<i>Σε υπάρχοντα υποδέκτη στην δυτική πλευρά του ιστού.</i>
Πόλωση:	<i>Κατακόρυφη</i>
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρική Συχνότητα):	<i>3452 MHz</i>
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	<i>7 MHz</i>
Τύπος Καλωδίου:	<i>IF</i>
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	<i>30</i>

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τύπος Σταθμού:	<i>Ένας Σταθμός Βάσης</i>
Είδος Κεραίας:	<i>Panel</i>
3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):	<i>15</i>
Προσανατολισμός Κεραίας (deg):	<i>105</i>
Κλίση Κεραίας (deg):	<i>+4.2</i>
Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):	<i>5</i>
Τρόπος Στήριξης Κεραίας:	<i>Σε υπάρχοντα υποδέκτη στην ανατολική πλευρά του ιστού</i>
Πόλωση:	<i>Κατακόρυφη</i>
Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες):	<i>3450.25 MHz</i>
Εύρος Διαύλου Εκπομπής:	<i>3.5 MHz</i>
Τύπος Καλωδίου:	<i>IF</i>
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m):	<i>25</i>
Ζεύξεις με άλλο Σταθμό:	<i>Υμηττός</i>
Απαιτήση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W):	<i>800 (Συνολικά, για πρόσβαση, διασύνδεση και server)</i>

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΔΟΠΟΡΙΚΟ



Εικόνα 8.4: Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στο NYMA

9

Προσομοίωση της ραδιοκάλυψης

9.1 Το λογισμικό προσομοίωσης ραδιοκάλυψης EDX Signal Pro v6.1

Πρόκειται για πακέτο λογισμικού της αμερικανικής εταιρείας EDX Wireless LLC με έδρα στο Oregon. Είναι κατάλληλο για μελέτες ραδιοκάλυψης με εφαρμογή σε ένα πλήθος συστημάτων ασυρμάτων επικοινωνιών. Στην έκδοση 6.1 που χρησιμοποιήσαμε ήταν διαθέσιμη ειδική συνιστώσα κατάλληλη για προσομοίωση ραδιοκάλυψης συστημάτων WiMAX. Ανάμεσα στις δυνατότητες του προγράμματος συγκαταλέγονται η χρήση διαφόρων μοντέλων διάδοσης, ειδών διαμόρφωσης του σήματος, η εκτίμηση πιθανών παρεμβολών, απωλειών διάδοσης και προβλεπόμενου BER σε ζεύξεις διασύνδεσης (backhauling), σε multipoint ζεύξεις καθώς και σε area coverage ζεύξεις.[1] Επίσης, συνοδευτικά με το λογισμικό είχαμε στη διάθεσή μας ψηφιακό χάρτη του νομού Αττικής σε κλίμακα 1: 50000 και κτηριακή βάση του λεκανοπεδίου σε κλίμακα 1:5000. Η δυνατότητα χρήσης του EDX στα πλαίσια της εργασίας μας ήταν ευγενική προσφορά του Τμήματος Ασύρματης Πρόσβασης του Ο.Τ.Ε.

9.2 Μελέτη ραδιοκάλυψης

Αιτιολογώντας την επιλογή των συγκεκριμένων θέσεων για την τοποθέτηση των σταθμών βάσης παρουσιάζουμε ξεχωριστά την εκτιμώμενη περιοχή ραδιοκάλυψης που προσφέρει κάθε ένας.

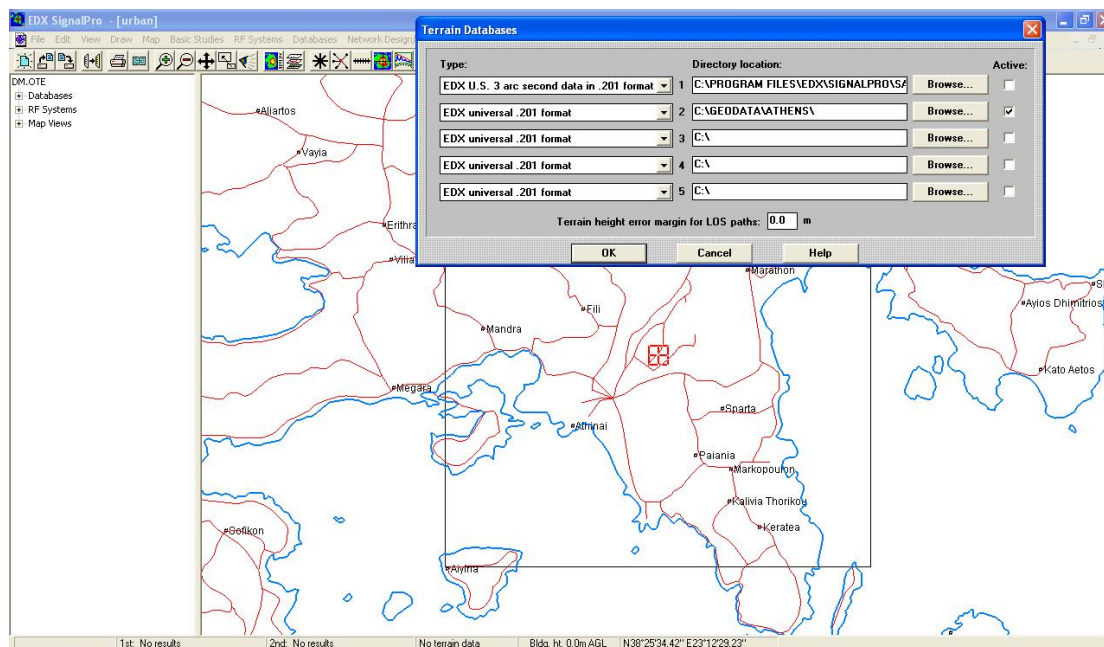
Ακολουθεί σύντομη περιγραφή της μεθόδου που ακολουθήσαμε.

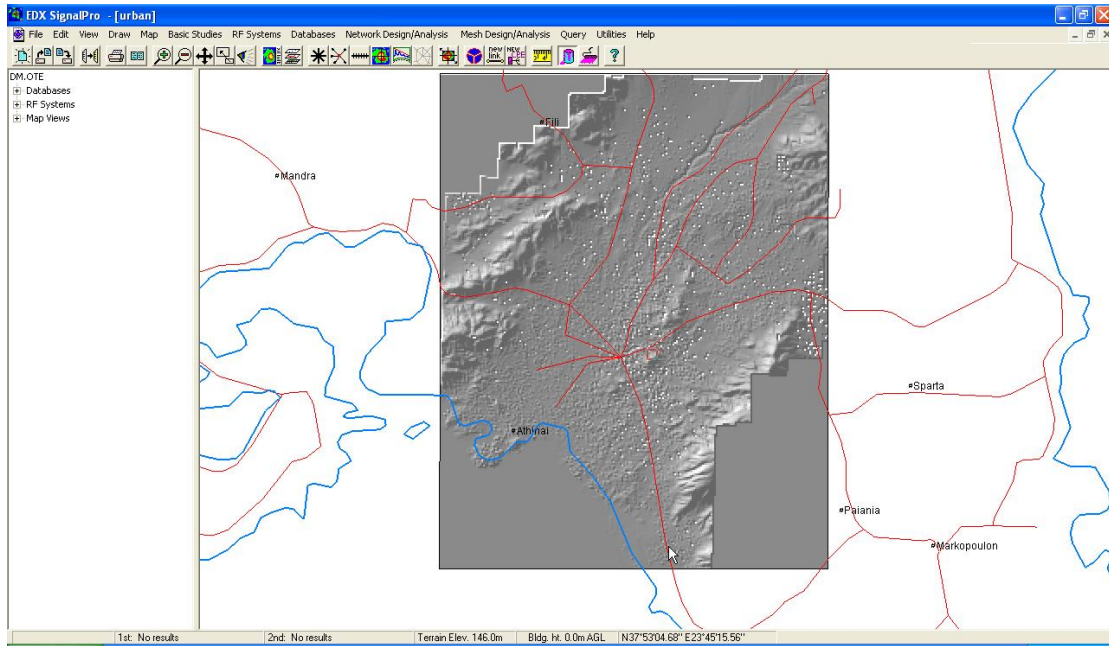
9.2.1 Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.

ΒΗΜΑ 1:

Επιλογή του ανάγλυφου του εδάφους (terrain) που θα φορτώσει το λογισμικό. Τα διαθέσιμα είδη terrain για την Αττική ήταν τα εξής:

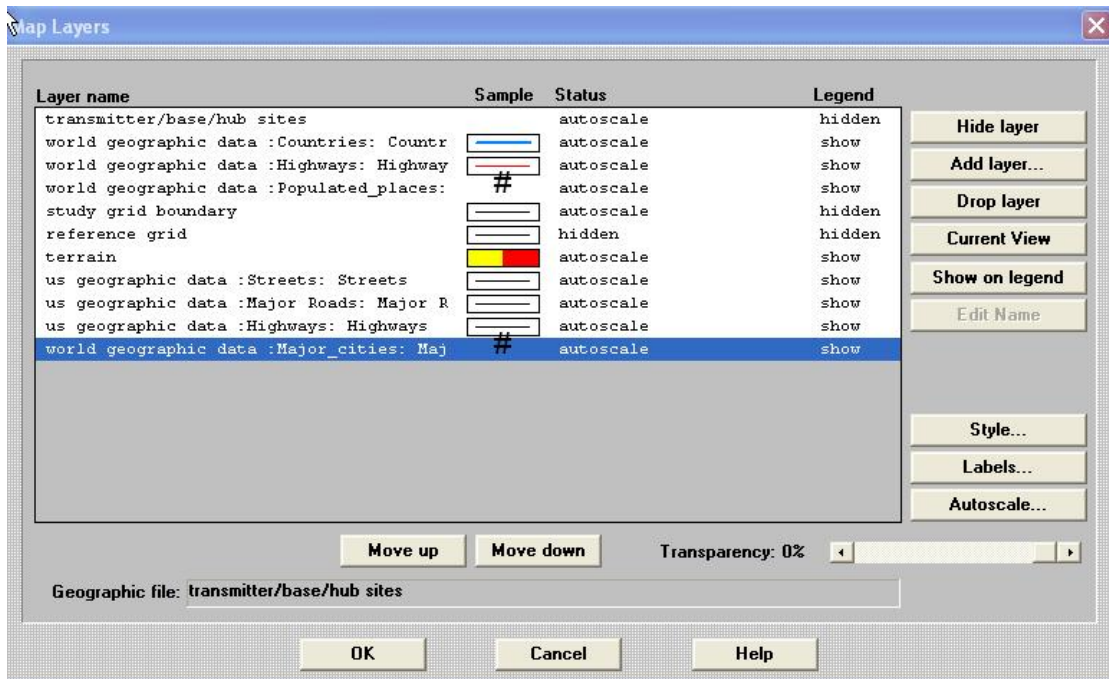
- Athens, που περιείχε έδαφος και κτηριακή βάση για το Λεκανοπέδιο (το οποίο και επιλέχθηκε)
- Attica 50, που περιείχε μόνο το ανάγλυφο του εδάφους για όλη την Αττική σε κλίμακα 1:50000.





ΒΗΜΑ 2:

Προσθήκη γεωγραφικών δεδομένων π.χ. δρόμοι, ονόματα περιοχών κλπ. στην περιοχή μελέτης



BHMA 3:

Ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του Σταθμού Βάσης.

3Α) Εισαγωγή δεδομένων της τοποθεσίας (γεωγραφικών συντεταγμένων, υψομέτρου) και συχνότητας λειτουργίας για κάθε sector.

Transmitter/Base/Hub Site Details

Site properties:

Site name:

Site elevation: m

Coordinates:

Latitude: ° ' '' North South

Longitude: ° ' '' East West

Transmitters/Sectors:

ID	Active (A)	Ant. height (m)	Max ERP Prop. (dBW)	Prop. model	Antenna	Frequency (MHz)	Delay off. (µSec)	Channels	Study radius (km)	Override (Y/N)
ACCESS_N	A	15.0	0.0	mod 2	DA-HH/0°	3446.75000	0.00	0	25.0	N
ACCESS_S	A	15.0	0.0	mod 2	DA-VV/210°	3543.25000	0.00	0	25.0	N

Transmitter/Sector properties:

ID: Focus: Frequency: MHz

Simulcast delay offset: µSec

System name or type:

MIMO/Adaptive

Repeater All co-channel Gain: dB

Specified donor:

Effective power at remote:

Most likely server color and symbol:

Override the study assigned color and symbol:

MLS color/symbol:

Backhaul selection:

type:

item:

Σχόλια:

- Κατά τη διαδικασία των site surveys οι μετρήσεις συντεταγμένων που πήραμε μέσω της GPS συσκευής ήταν με βάση αναφοράς το διεθνές γεωδαιτικό σύστημα WGS84. Όμως, οι συντεταγμένες που αναγνωρίζει το EDX είναι με βάση αναφοράς το ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ87. Έτσι, χρειάστηκε μετατροπή των συντεταγμένων. Οι συντεταγμένες που εισάγουμε στο EDX είναι οι μετρούμενες ανηγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ87.

- Ως site elevation (υψόμετρο της τοποθεσίας) θέσαμε το υψόμετρο που μετρήσαμε στη διαδικασία του site survey συνυπολογίζοντας το ύψος του κτηρίου, δηλ. $213+75=288$ m.
- Στο ΔΜΟΤΕ εκτιμήσαμε στο σχεδιασμό συνολικά 2 κεραίες πρόσβασης. Οι κεραίες πρόσβασης με άνοιγμα 90° όπως έχουμε αναφέρει, θα “φωτίζουν” κατά μήκος της λεωφόρου Κηφισίας. Έτσι, επιλέξαμε η μία εκ των 2 (η βόρεια) να έχει αζιμούθιο 0° , ενώ η δεύτερη 210° . Στο προηγούμενο screenshot φαίνονται οι αναγνωριστικές ονομασίες (ID) βόρειου (ACCESS_N) και νότιου sector (ACCESS_S) καθώς και η κεντρική συχνότητα των καναλιών λειτουργίας τους σύμφωνα με το frequency planning.

3B) Εισαγωγή παραμέτρων εκπομπής (τύπος κεραίας, πόλωση, ύψος κεραίας στον ιστό, εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης, ισχύς πομπού, κέρδος κεραίας, απώλειες).

Βόρειος sector:

Sector Parameters

Antenna:

Use antenna type database ?

Antenna type: LMD5 customer antenna type 1

Antenna type: DA Omni Distributed Adaptive

Dist. antenna details... Adaptive antenna details...

Polarization: Horizontal Vertical

Antenna pattern filename: C:\PROGRAM FILES\EDX\SIGNALPRO\LIBRARY DATA\PAT\REDI

Browse Display Pattern...

Az. orient.: 0.0° Beam tilt: 0.0° Beam tilt az.: 0.0°

Antenna CDR height (AGL): 4.00 m

Cross polarization attenuation: 23.00 dB

Transmission system:

Transmission line type: custom

Transmission line length: 0.00 m

Transmission line loss: 3.00 dB

Multiplexer/circ. loss: 0.00 dB

Misc. system losses: 2.00 dB

Antenna gain: 15.00 dBi

Radome loss: 1.00 dB

Total ERP: 30.00 dBmW

Transmitter:

Use transmitter type database?

Transmitter type: Cellular (850MHz) 20 watt

Maximum transmit power per channel: 21.00 dBmW

Minimum transmit power per channel: 21.00 dBmW

Power spectral density file code: 0

OK Cancel Help

Νότιος sector:

Sector Parameters

Use antenna type database ?

Antenna type: LMS customer antenna type 1

Antenna type: DA Omni Distributed Adaptive

Dist. antenna details... Adaptive antenna details...

Polarization: Horizontal Vertical

Antenna pattern filename: C:\PROGRAM FILES\EDX\SIGNALPRO\LIBRARY DATA\PAT\REDI

Browse Display Pattern...

Az. orient.: 210.0° Beam tilt: 0.0° Beam tilt az.: 210.0°

Antenna COR height (AGL): 4.00 m

Cross polarization attenuation: 23.00 dB

Transmission system:

Transmission line type: custom

Transmission line length: 0.00 m

Transmission line loss: 3.00 dB

Multiplexer/circ. loss: 0.00 dB

Misc. system losses: 2.00 dB

Antenna gain: 15.00 dBi

Radome loss: 1.00 dB

Total ERP: 30.00 dBmW

Transmitter:

Use transmitter type database?

Transmitter type: Cellular (850MHz) 20 watt

Maximum transmit power per channel: 21.00 dBmW

Minimum transmit power per channel: 21.00 dBmW

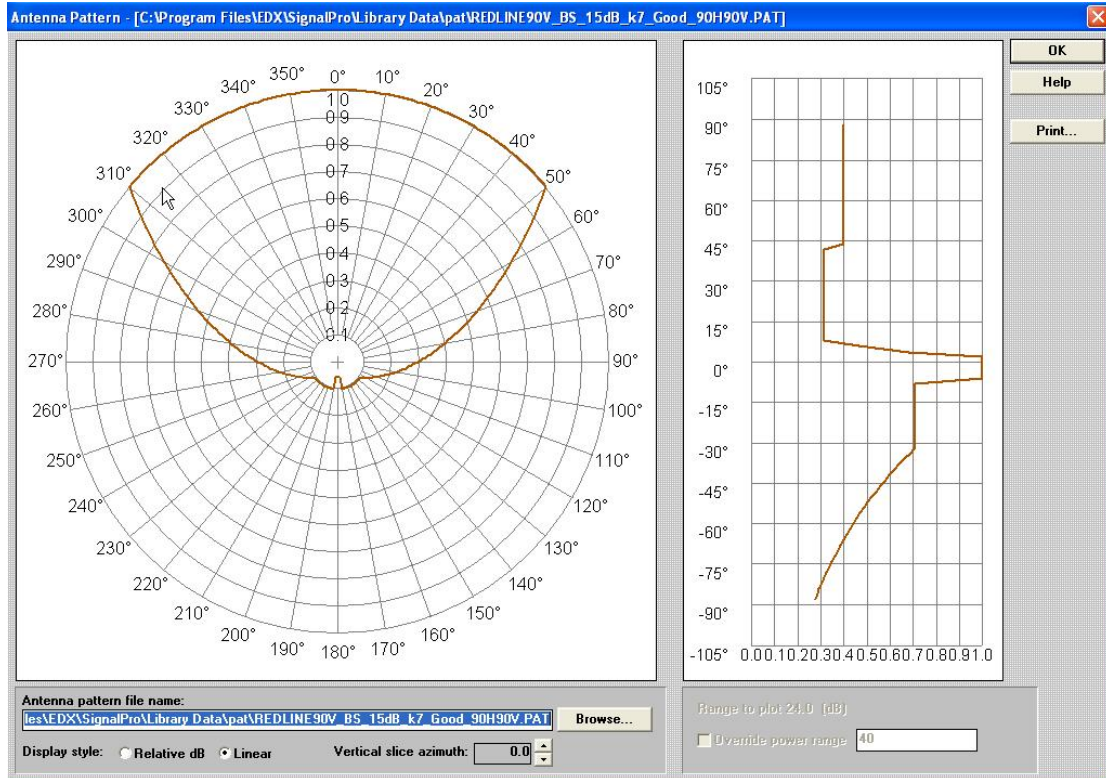
Power spectral density file code: 0

OK Cancel Help

Σχόλια:

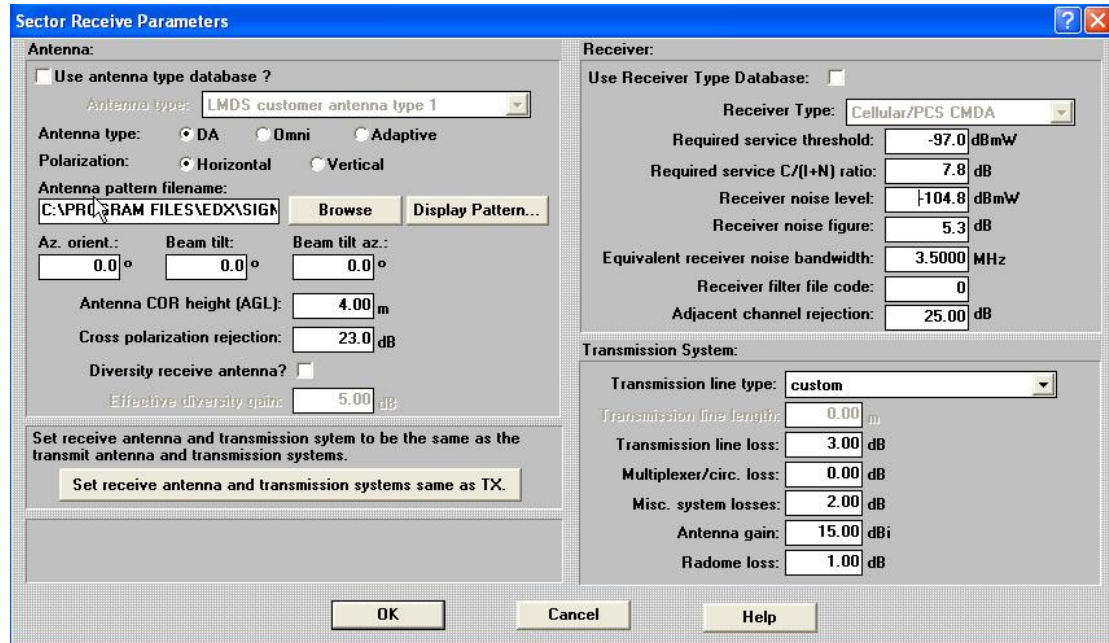
- Ως Antenna COR height (AGL) θέσαμε το ύψος τοποθέτησης της κεραίας στον ιστό.
- Εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης (Cross Polarization Attenuation) είναι η διαφορά σε dB που παρατηρούμε από τις προδιαγραφές της κεραίας στο κέρδος της όταν το λαμβανόμενο σήμα είναι ορθογώνιας πόλωσης ως προς την αναμενόμενη.
- Σύμφωνα με την απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) η ισοδύναμη ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP) μιας κεραίας που λειτουργεί στη συχνότητα των 3.5 GHz δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 30 dBm. Για το λόγο αυτό περιορίσαμε την ισχύ του πομπού στα 21 dBm.

3Γ) Εμφάνιση προσεγγιστικού διαγράμματος ακτινοβολίας (είναι το ίδιο και για τις δύο κεραίες)

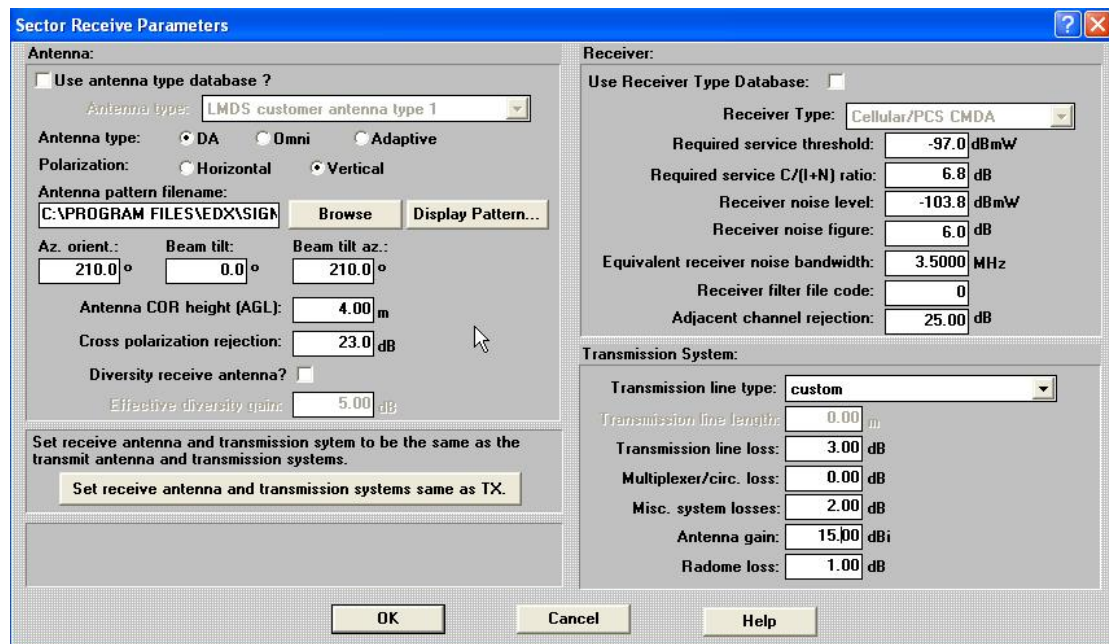


3Δ) Εισαγωγή παραμέτρων λήψης (τύπος κεραίας, πόλωση, ύψος κεραίας στον ιστό, εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης, κατώφλι ισχύος λήψης, κέρδος κεραίας, απώλειες).

Βόρειος sector:



Νότιος sector:



Σχόλια:

- Για τον ACCESS_N sector επιλέξαμε διαφορετική πόλωση σε σχέση με τον νότιο sector πρόσβασης του ΔΜΟΤΕ. Συγκεκριμένα επιλέξαμε οριζόντια πόλωση για τους λόγους που έχουμε αναφέρει στην εισαγωγή του πρακτικού μέρους. Ακριβώς οι ίδιες ρυθμίσεις έγιναν και για τον ACCESS_S sector με μόνη διαφορά ότι θέσαμε κατακόρυφη (vertical) πόλωση.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρέχονται ενδεικτικές πληροφορίες σχετικά με την ευαισθησία των κεραιών σταθμού βάσης (SC) και συνδρομητή (SU-O) ανά συνδυασμό διαμόρφωσης-κωδικοποίησης και εύρους ραδιοδιαύλου.

Modulation/Coding	Channel		Bandwidth	
	3.5 MHz	7 MHz	3.5 MHz	7 MHz
	AN-100U	SU-O	AN-100U	SU-O
	SC	SU-O	SC	SU-O
BPSK1/2	-97	-97	-95	-94
QPSK1/2	-95	-94	-92	-91
QPSK3/4	-93	-93	-90	-89
16QAM1/2	-88	-87	-85	-84
16QAM3/4	-86	-86	-83	-82
64QAM1/2	-80	-81	-77	-77
64QAM3/4	-78	-78	-75	-75

Πίνακας 9.1: Ενδεικτικά όρια ευαισθησίας κεραιών σταθμού βάσης και συνδρομητή ανά συνδυασμό διαμόρφωσης-κωδικοποίησης και εύρους ραδιοδιαύλου.

Στο συγκεκριμένο σταθμό βάσης που εξετάζουμε έχουμε κανάλια των 3.5 MHz. Συνεπώς, η ευαισθησία του κάθε sector στο Δ.Μ.Ο.Τ.Ε. ισούται με -97 dBm

Παρατήρηση: Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, διπλασιασμός του μεγέθους του καναλιού συνεπάγεται υποδιπλασιασμό της ευαισθησίας της κεραιάς κατά τη λειτουργία λήψης, για δεδομένο BER και είδος διαμόρφωσης.

ΒΗΜΑ 4:

Ορισμός μοντέλου διάδοσης, απαιτούμενης χρονικής και χωρικής διαθεσιμότητας κάλυψης και ιδιοτήτων περιβάλλοντος.

Propagation Models

Global 1 | Global 2 | Global 3 | Global 4 | Global 5

Models:

Model category: Basic

Model type: Free Space + RMD

Supplemental model parameters...

Percentage of time: 90.0

Percentage of location: 90.0

Margin: 2.0 dB

Suggest Model...

Environment:

k factor: 1.333

Ground conductivity: 8.0 mS/m

Ground dielectric constant: 15.0

Atmospheric absorption: none

Climate type: Continental Temperate

use terrain data include ground reflection

use building data include Fresnel zone loss

add clutter loss

add clutter height to terrain height add clutter pass-through loss

clutter exclusion distance: 0.000 km

show on legend

Reliability parameters...

OK

Cancel

Help

Σχόλια:

Τα μοντέλα ραδιοκάλυψης που εξετάζονται διεθνώς για την εφαρμογή τους στη ζώνη συχνοτήτων των 3.5 GHz παρουσιάστηκαν στο ΚΕΦ.3 του Α΄ Μέρους. Για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου στο παρόν σημείο αναφέρουμε συνοπτικά τα ακόλουθα:

Το μοντέλο COST 231 Walfisch-Ikegami αποτελεί ημι-εμπειρικό μοντέλο διότι εκτός από εκτεταμένες μετρήσεις που λαμβάνει υπόψη του από αντίστοιχα

περιβάλλοντα διάδοσης, χρησιμοποιεί ως παραμέτρους το ύψος των παρεμβλλόμενων κτηρίων ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη, το πλάτος των δρόμων καθώς και τη γωνία που σχηματίζουν οι δρόμοι σε σχέση με τη δέση ακτινοβολίας από τον πομπό. Θεωρείται ίσως το πιο αποτελεσματικό μοντέλο από όσα αναφέρονται. Το EDX απαιτεί για την εφαρμογή του κτηριακή βάση της περιοχής κάλυψης σε μορφή vector και όχι raster, την οποία είχαμε διαθέσιμη.

Το μοντέλο ECC-33 δεν ήταν διαθέσιμο στο EDX.

Σχετικά με το μοντέλο COST 231-Hata αναφέρουμε ότι το EDX δεν επιτρέπει την εφαρμογή του για συχνότητες εκτός του προβλεπόμενου φάσματος (1500-2000MHz).

Τα SUI μοντέλα αποτελούν ημι-στατιστικά μοντέλα ραδιοκάλυψης για εφαρμογή στη ζώνη των 2.4 GHz. Βασίζονται σε υποθέσεις-συμβάσεις για το περιβάλλον διάδοσης. Δεν υπάρχει πιστότητα στη συσχέτισή τους με το συγκεκριμένο περιβάλλον που έχουμε κάθε φορά. Υπάρχει επιφύλαξη ως προς την εφαρμογή τους σε αστικά περιβάλλοντα διάδοσης. Συνεπώς, κρίνονται λιγότερο κατάλληλα για το σχεδιασμό τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που θα καλύπτουν συγκεκριμένη περιοχή.

Στη συγκεκριμένη λοιπόν περίπτωση ραδιοκάλυψης χρησιμοποιούμε το μοντέλο Free Space + RMD. Πρόκειται για μοντέλο εκτίμησης απωλειών λόγω διάδοσης ελευθέρου χώρου, ανάκλασης και πολλαπλής περίθλασης. Η ανάκλαση χρησιμοποιείται στο μοντέλο όταν υπάρχει οπτική επαφή πομπού- δέκτη. Στην υλοποίηση του μοντέλου ορίζεται ως σημείο ανάκλασης το σημείο της διαδρομής στο οποίο η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης. Στην περίπτωση μη ύπαρξης οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη, οι απώλειες διάδοσης του σήματος υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την προσέγγιση Epstein-Peterson για συνδυασμό των απωλειών περίθλασης έως και 10 διαδοχικών εμποδίων λόγω του ανάγλυφου του εδάφους.

BHMA 5:

Ορισμός χαρακτηριστικών της μελέτης ραδιοκάλυψης.

5 A) Προσδιορισμός του πεδίου στο οποίο θα τρέξει η μελέτη ραδιοκάλυψης.

Βόρειος sector:

Study Sector

Start azimuth: -45.0 °

Stop azimuth: 45.0 °

Azimuth increment: 1.0 °

Use odd azimuth:

Odd azimuth: °

Study radius: 25.000 km

Study point spacing on radials: 0.0100 km

Approximate sector range: 25.000 km

OK Cancel Help

Νότιος sector:

Study Sector

Start azimuth: 165.0 °

Stop azimuth: 255.0 °

Azimuth increment: 1.0 °

Use odd azimuth:

Odd azimuth: °

Study radius: 25.000 km

Study point spacing on radials: 0.0100 km

Approximate sector range: 25.000 km

OK Cancel Help

5 Β) Ορισμός κατώφλιων ισχύος αλλαγής τύπου διαμόρφωσης (προσαρμοστική διαμόρφωσης)

Modulation/Coding	Channel		Bandwidth	
	3.5 MHz	7 MHz	7 MHz	7 MHz
	AN-100U	SU-O	AN-100U	SU-O
	SC	SU-O	SC	SU-O
BPSK1/2	-97	-97	-95	-94
QPSK1/2	-95	-94	-92	-91
QPSK3/4	-93	-93	-90	-89
16QAM1/2	-88	-87	-85	-84
16QAM3/4	-86	-86	-83	-82
64QAM1/2	-80	-81	-77	-77
64QAM3/4	-78	-78	-75	-75

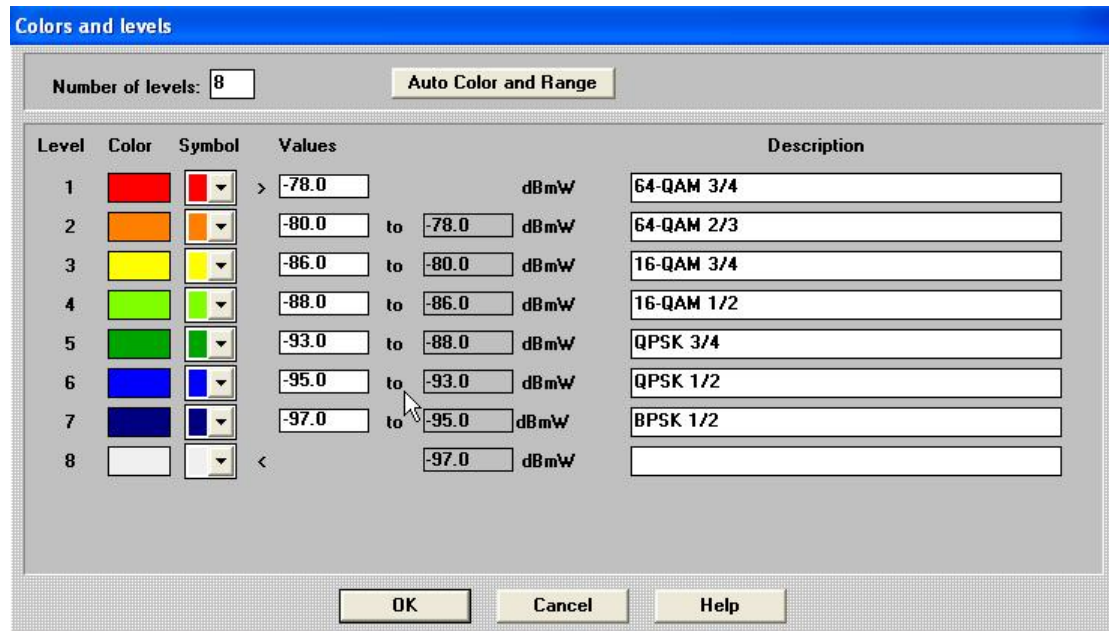
Πίνακας 9.1: Ενδεικτικά όρια ευαισθησίας κεραιών σταθμού βάσης και συνδρομητή ανά συνδυασμό διαμόρφωσης-κωδικοποίησης και εύρους ραδιοδιαύλου.

Σχόλιο:

Η στήλη SC αναφέρεται στα κατώφλια ισχύος αλλαγής τύπου διαμόρφωσης του σταθμού βάσης, ενώ η SU-O στήλη αναφέρεται στο αντίστοιχο μέγεθος για τα εξωτερικού χώρου CPEs των συνδρομητών.

5 Γ) Χρωματική κωδικοποίηση των ζωνών διαμόρφωσης.

Στο screenshot που ακολουθεί παρουσιάζονται τα παραπάνω όρια (thresholds) της στάθμης ισχύος λήψης του σταθμού βάσης συνδεδεμένα με μια χρωματική κωδικοποίηση και περιγραφή του είδους διαμόρφωσης / κωδικοποίησης.



BHMA 6:

Στοιχεία CPE του συνδρομητή.

Mobile/Remote Unit

Mobile1 | Mobile2 | Mobile3 | Mobile4 | Mobile5

Mobile/remote Unit name:

Antenna height above ground: m Height reference: AGL AMSL

Co-polarized antenna:

gain: dBi type: DA Omni Adaptive

pattern file:

Cross polarization rejection: dB

use mobile/remote type database Mobile/remote type:

Receiver:

Required service threshold: dBmW

Required service C/(I+N): dB

Receiver noise level: dBmW

Receiver noise figure: dB

Equivalent receiver noise bandwidth: MHz

Receive filter file code:

Adjacent channel rejection: dB

Nominal RAKE receiver gain: dB

Receiver simulcast capture ratio range: dB

Transmitter:

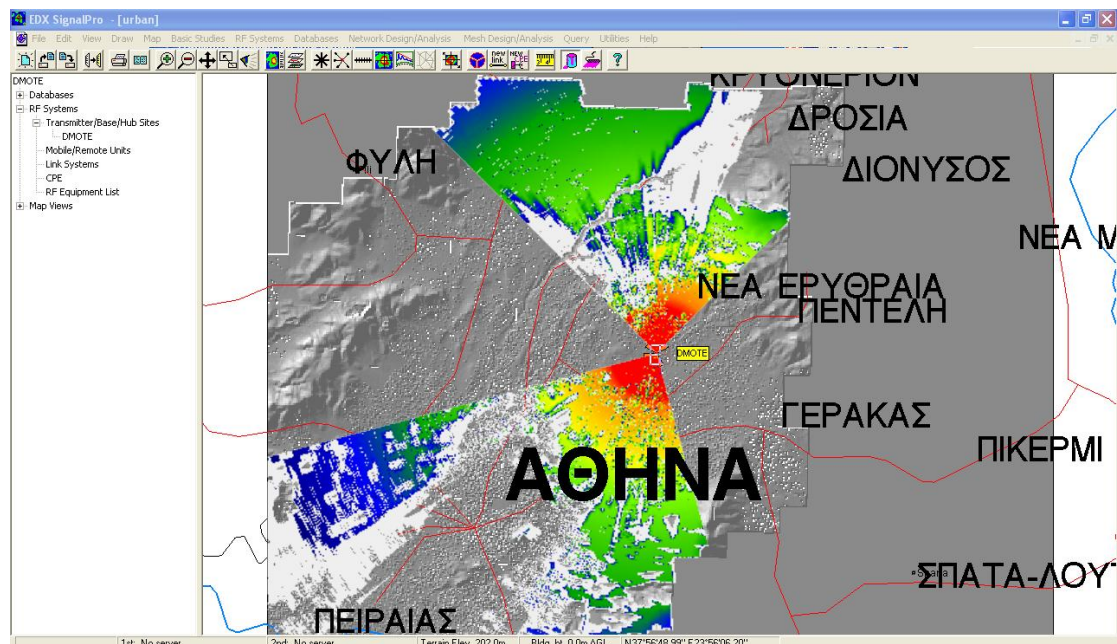
Max ERPi: dBmW

Min ERPi: dBmW

APC headroom: dB

ΒΗΜΑ 7:

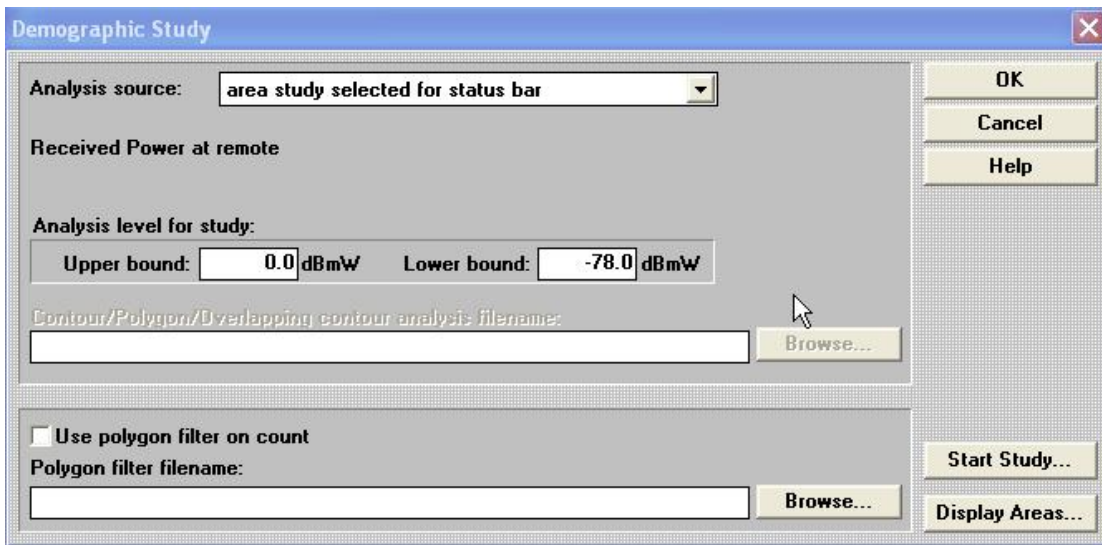
Η εκτιμώμενη θεωρητική ραδιοκάλυψη των Σταθμών Βάσης WiMAX στο ΔΜΟΤΕ φαίνεται στο παρακάτω screenshot.



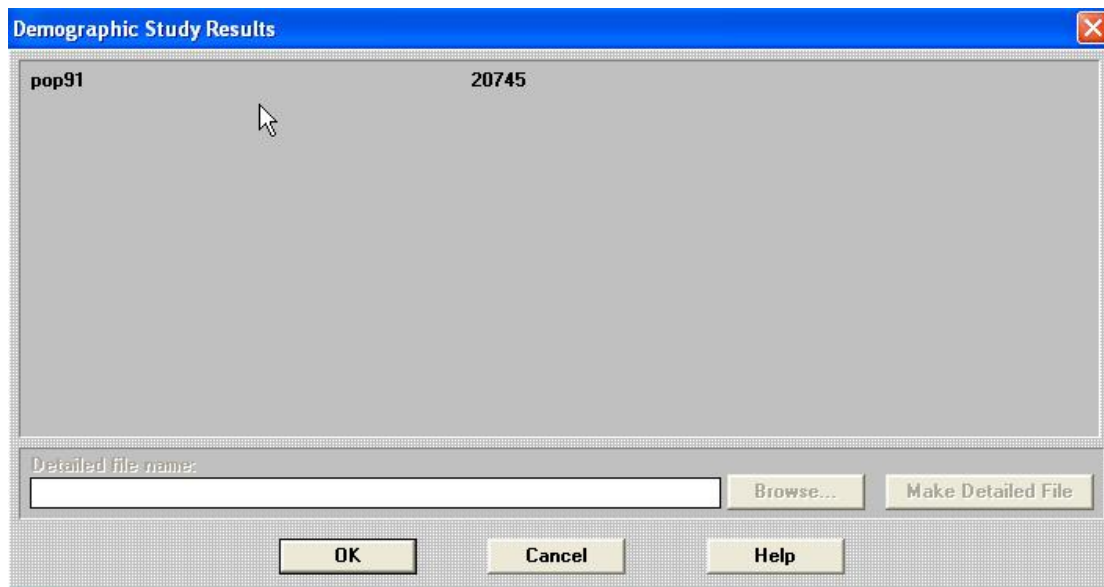
Εικόνα 9.1: Εκτιμώμενη Θεωρητική Ραδιοκάλυψη σταθμού Βάσης WiMAX Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.

ΒΗΜΑ 8:

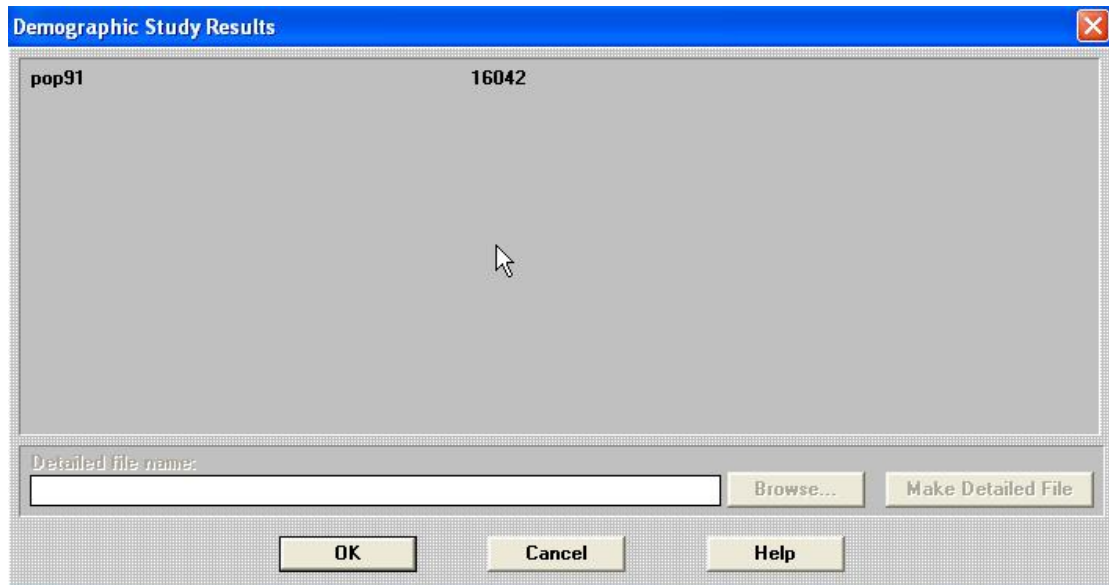
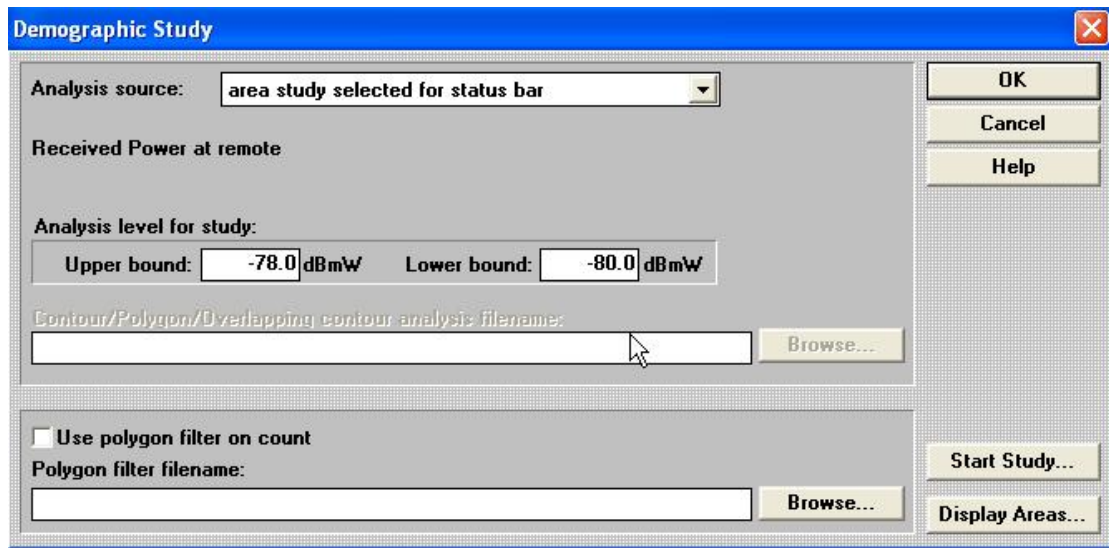
Δημογραφική μελέτη της περιοχής κάλυψης. Έχοντας στη διάθεσή μας δημογραφικά στοιχεία για το λεκανοπέδιο Αττικής από την απογραφή του 1991, τρέξαμε τη σχετική μελέτη για τον υπολογισμό του πληθυσμού σε κάθε ζώνη διαμόρφωσης της περιοχής κάλυψης. Τα όρια ισχύος λήψης που καθορίζουν το είδος διαμόρφωσης ανά ζώνη κάλυψης, όπως χρησιμοποιούνται στα ακόλουθα screenshots είναι από τον Πίνακα 9.1.



Θέτοντας τα όρια ισχύος για την εφαρμογή της 1^{ης} ζώνης διαμόρφωσης (64 - QAM 3/4 - κόκκινο χρώμα) υπολογίζεται ο πληθυσμός.



Θέτοντας τα όρια της δεύτερης ζώνης διαμόρφωσης (64-QAM 2/3 - πορτοκαλί χρώμα) υπολογίζεται ο υπάρχων πληθυσμός στη συγκεκριμένη ζώνη:



Με τον ίδιο τρόπο θέτουμε διαδοχικά το όρια όλων των ζωνών διαμόρφωσης και παίρνουμε τα αντίστοιχα πληθυσμιακά στοιχεία, τα οποία και παρουσιάζουμε στον παρακάτω πίνακα (Η τρίτη στήλη δείχνει τον πληθυσμό κάθε ζώνης διαμόρφωσης σε ποσοστό % επί της συνολικής περιοχής που καλύπτει ο σταθμός βάσης :

Ζώνη διαμόρφωσης	Πληθυσμός	Ποσοστό πληθυσμού (%)
64-QAM 3/4	20745	4.39
64-QAM 2/3	16042	3.4
16-QAM 3/4	90904	19.25
16-QAM 1/2	40486	8.58
QPSK 3/4	106757	22.61
QPSK 1/2	81586	17.28
BPSK 1/2	115592	24.48

Πίνακας 9.2: Δημογραφικά δεδομένα ανά ζώνη διαμόρφωσης για την περιοχή κάλυψης από τους σταθμούς βάσης στο ΔΜΟΤΕ.

9.2.2 NYMA

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία (βλ. Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.) ρυθμίσαμε τις παραμέτρους λειτουργίας του Σταθμού Βάσης στο NYMA.

Transmitter/Base/Hub Site Details

Site properties:

Site name: NYMA

Site elevation: 150.0 m

Coordinates:

Latitude: 37° 59' 16.62" North

Longitude: 23° 43' 41.87" East

Transmitters/Sectors:

ID	Active (A)	Ant. height (m)	Max ERP Prop. (dBW)	Antenna	Frequency (MHz)	Delay off. (μSec)	Channels	Study radius (km)	Override MLS (Y/N)
ACCESS	A	7.0	0.0 mod 2	0M-VV/0°	3452.00000	0.00	0	30.0	N

Transmitter/Sector properties:

ID: ACCESS

Frequency: 3452.00000 MHz

System name or type: WiMAX

Most likely server color and symbol:

Override the study assigned color and symbol:

MLS color/symbol: ■ ■

Backhaul selection:

type: none

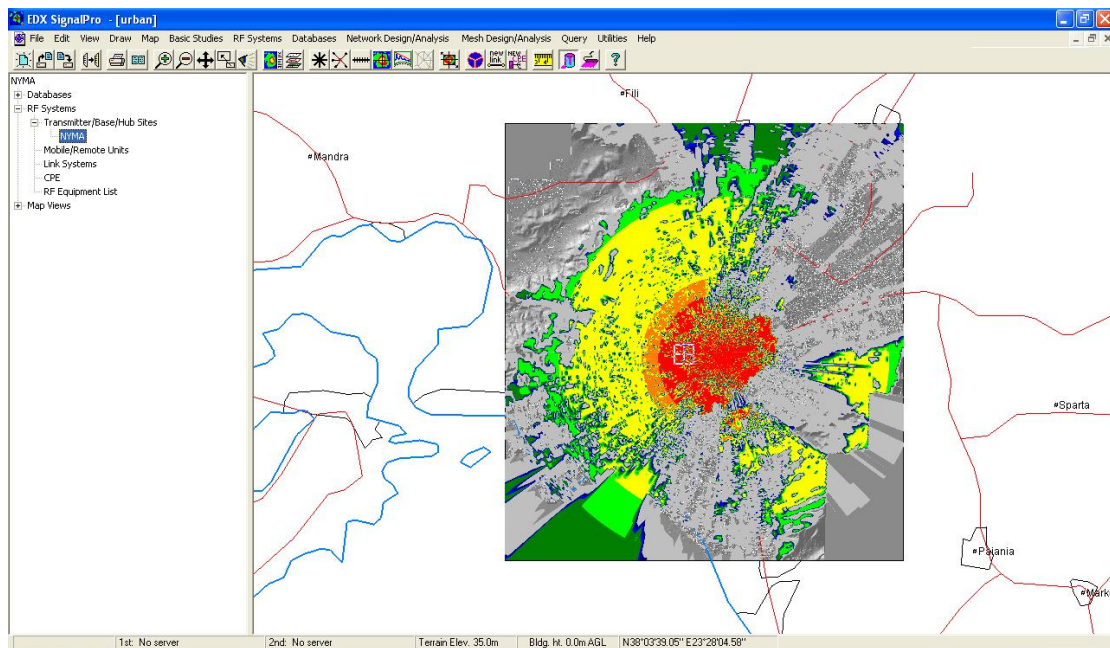
item: none

Buttons: Transmit Parameters..., Receive Parameters..., Propagation model..., Channels / Traffic..., Study sector / Sector range..., Quick contours...

Όπως έχει αναφερθεί στο frequency planning στην εισαγωγή του Β Μέρους, στο NYMA διαθέτουμε κανάλι λειτουργίας εύρους 7 MHz. Για την κάλυψη της περιοχής επιλέξαμε omni κεραία.

Παρατήρηση: Στο EDX η omni κεραία που μας προσφέρεται ως επιλογή δεν εκφράζει απλά ομοιοκατευθυντική κεραία, αλλά ιστροπική. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι έχουμε διάχυση της ακτινοβολούμενης ισχύος ισοδύναμα όχι μόνο προς όλες τις κατευθύνσεις του οριζώντιου επιπέδου, αλλά προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου. Έτσι, η εκτιμώμενη ραδιοκάλυψη αναμένουμε να είναι υποτιμημένη σε σχέση με την πραγματική.

Η εκτιμώμενη θεωρητική ραδιοκάλυψη του Σταθμού Βάσης WiMAX στο NYMA φαίνεται στο παρακάτω screenshot.



Εικόνα 9.2: Εκτιμώμενη θεωρητική Ραδιοκάλυψη σταθμού Βάσης WiMAX στο NYMA

Μέσω της αντίστοιχης διαδικασίας που ακολουθήσαμε στην περίπτωση του ΔΜΟΤΕ από τη δημογραφική μελέτη για την περιοχή κάλυψης του Σταθμού Βάσης στο NYMA προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας.

Ζώνη διαμόρφωσης	Πληθυσμός	Ποσοστό πληθυσμού (%)
64-QAM 3/4	177916	14.69
64-QAM 2/3	80164	6.62
16-QAM 3/4	418181	34.54
16-QAM 1/2	108620	8.97
QPSK 3/4	217157	17.93
QPSK 1/2	83675	6.91
BPSK 1/2	125141	10.33

Πίνακας 9.3: Δημογραφικά δεδομένα ανά ζώνη διαμόρφωσης για την περιοχή κάλυψης από το σταθμό βάσης στο ΝΥΜΑ.

9.2.3 A/T O.T.E. YMHTTOY

Αντίστοιχη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων λειτουργίας του Σταθμού Βάσης στο A/T Υμηττού.

Transmitter/Base/Hub Site Details

Site properties:

Site name:

Site elevation: m

Coordinates:

Latitude: ° ' " North South

Longitude: ° ' " East West

Transmitters/Sectors:

ID	Active (A)	Ant. height Focus (F)	Ant. height (m)	Max ERP (dBW)	Prop. model	Antenna	Frequency (MHz)	Delay off. (µSec)	Channels	Study radius (km)	Override MLS (Y/N)
YMHT_ACC	A		6.0	2.0	mod 2	DA-WV/330°	3452.00000	0.00	0	25.0	N

Transmitter/Sector properties:

ID: Focus: Frequency: MHz

Simulcast delay offset: µSec

System name or type:

Repeater All co-channel Gain: dB

Specified donor:

Effective power at remote:

Most likely server color and symbol:

Override the study assigned color and symbol:

MLS color/symbol:

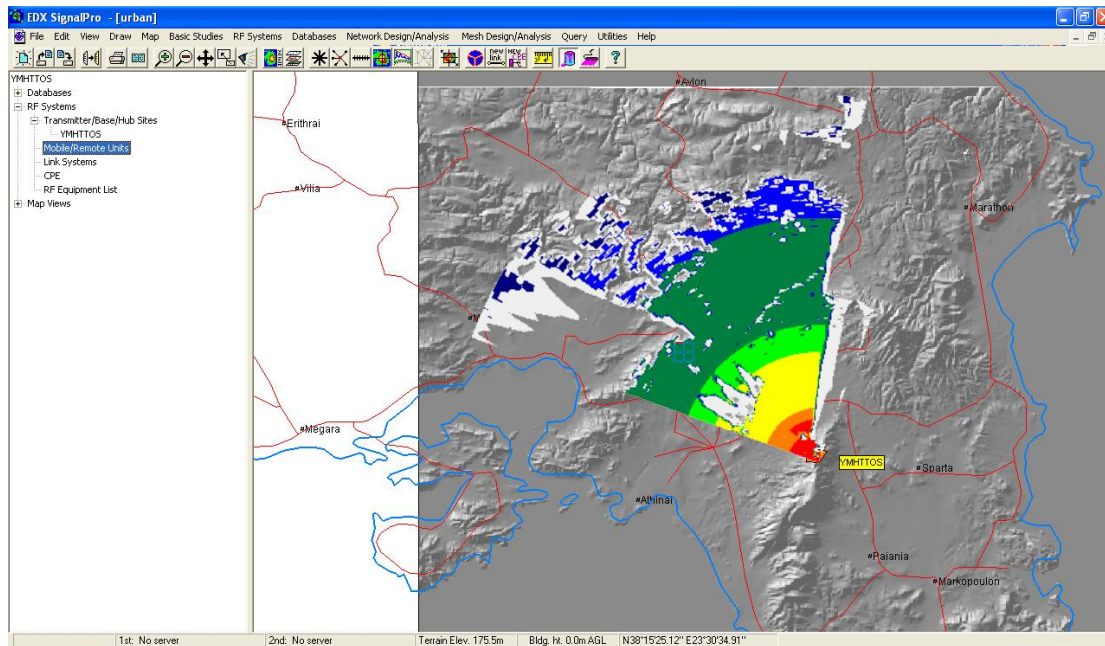
Backhaul selection:

type:

item:

Οι σταθμοί βάσης στο A/T Πάρνηθας και A/T Υμηττού έχουν το ρόλο σταθμών «ομπρέλας», δηλ. λόγω του μεγάλου υψομέτρου στο οποίο βρίσκονται, κάποιος συνδρομητής που δε θα καλύπτεται από τους σταθμούς στο NYMA και στο ΔΜΟΤΕ θα μπορεί να έχει πρόσβαση μέσω αυτών. Έτσι, αντί για χωρική και χρονική κάλυψη 90% που θέσαμε στην περίπτωση των ΔΜΟΤΕ και στο NYMA, εδώ επιλέξαμε 75%.

Η εκτιμώμενη θεωρητική ραδιοκάλυψη του Σταθμού Βάσης WiMAX A/T Υμηττού φαίνεται στο παρακάτω screenshot.



Εικόνα 9.3: Εκτιμώμενη Θεωρητική Ραδιοκάλυψη στο σταθμού Βάσης WiMAX YMHTTOY A/T

Τα διαθέσιμα δημογραφικά στοιχεία για περιοχές κάλυψης εντός του λεκανοπεδίου Αττικής λαμβάνονται υπόψη από το EDX μόνο στην περίπτωση που οι αντίστοιχοι σταθμοί βάσης βρίσκονται εντός του Athens terrain. Έτσι, δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν δημογραφικά στοιχεία για τις περιοχές κάλυψης από τους σταθμούς βάσης στο A/T Πάρνηθας και A/T Υμηττού.

9.2.4 Α/Τ Ο.Τ.Ε. ΠΑΡΝΗΘΑΣ

Αντίστοιχη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων λειτουργίας του Σταθμού Βάσης στην Πάρνηθα.

Transmitter/Base/Hub Site Details

Site properties:

Site name:

Site elevation: m

Coordinates:

Latitude: ° ' '' North South

Longitude: ° ' '' East West

Transmitters/Sectors:

ID	Active (A)	Ant. height Focus (F)	Max ERP (dBW)	Prop. model	Antenna	Frequency (MHz)	Delay off. (µSec)	Channels	Study radius (km)	Override MLS (Y/N)
ACCESS	A	2.0	0.0	mod 2	DA-VV/180°	3443.25000	0.00	0	30.0	N

Transmitter/Sector properties:

ID: Focus: Frequency: MHz

Simulcast delay offset: µSec

System name or type:

MIMO/Adaptive

Repeater All co-channel Gain: dB

Specified donor:

Effective power at remote:

Most likely server color and symbol:

Override the study assigned color and symbol:

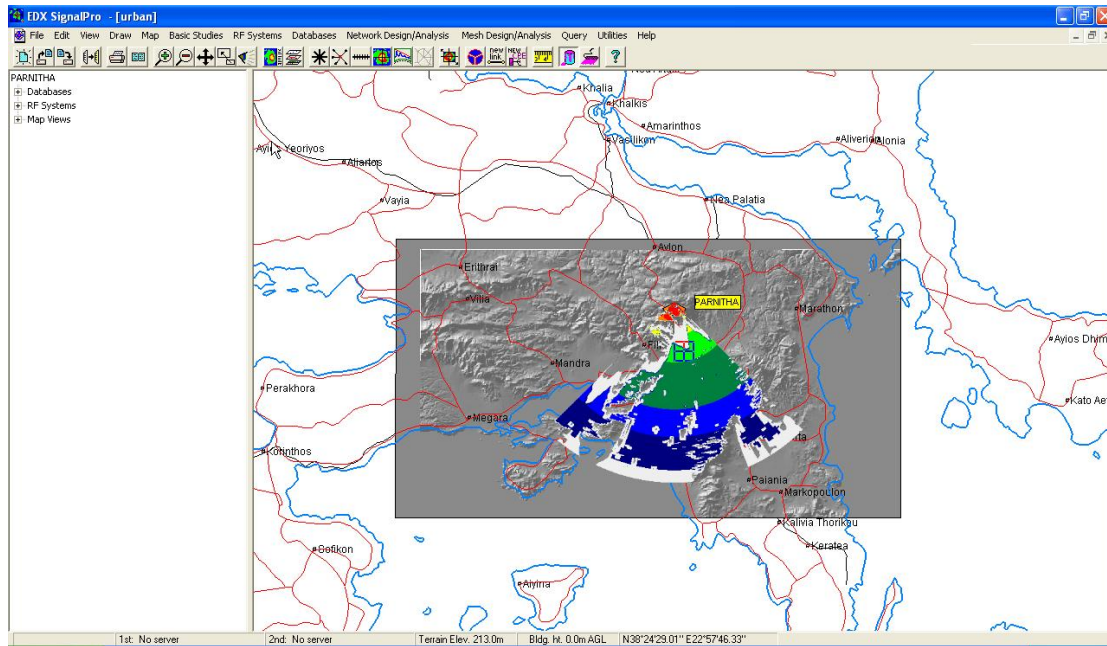
MLS color/symbol:

Backhaul selection:

type:

item:

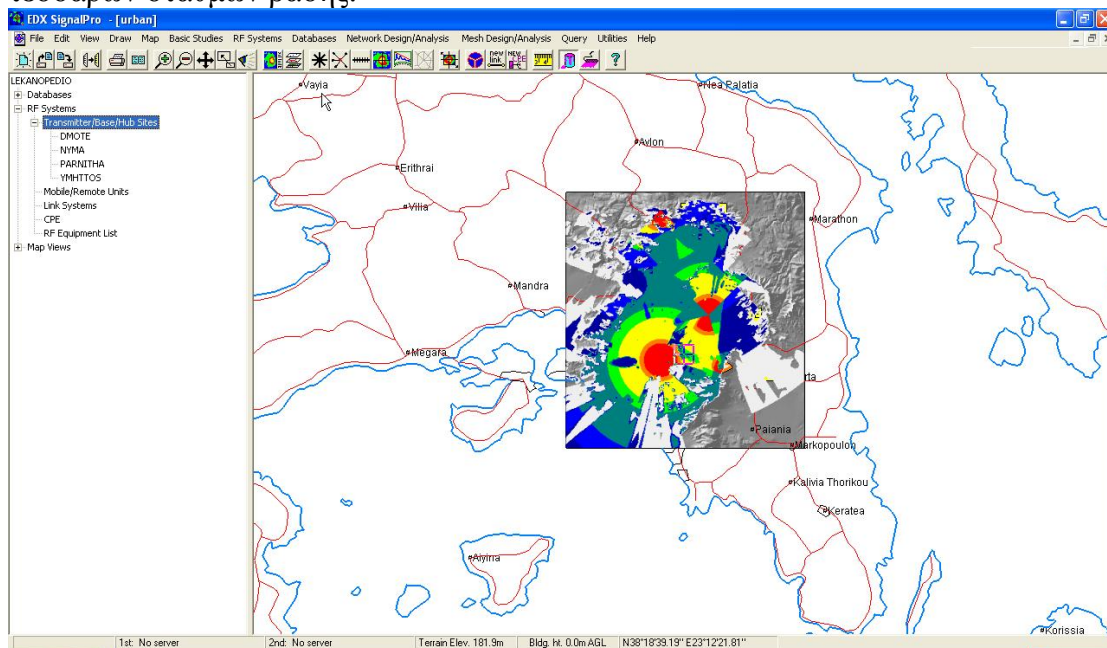
Η εκτιμώμενη θεωρητική ραδιοκάλυψη του Σταθμού Βάσης WiMAX A/T Πάρνηθας φαίνεται στο παρακάτω screenshot.



Εικόνα 9.4: Εκτιμώμενη Θεωρητική Ραδιοκάλυψη τμήμα του σταθμού Βάσης WiMAX ΠΑΡΝΗΘΑΣ

9.2.5 Συνολική ραδιοκάλυψη στο Λεκανοπέδιο Αττικής

Τέλος, πραγματοποιούμε την προσομοίωση της συνολικής ραδιοκάλυψης των τεσσάρων σταθμών βάσης:

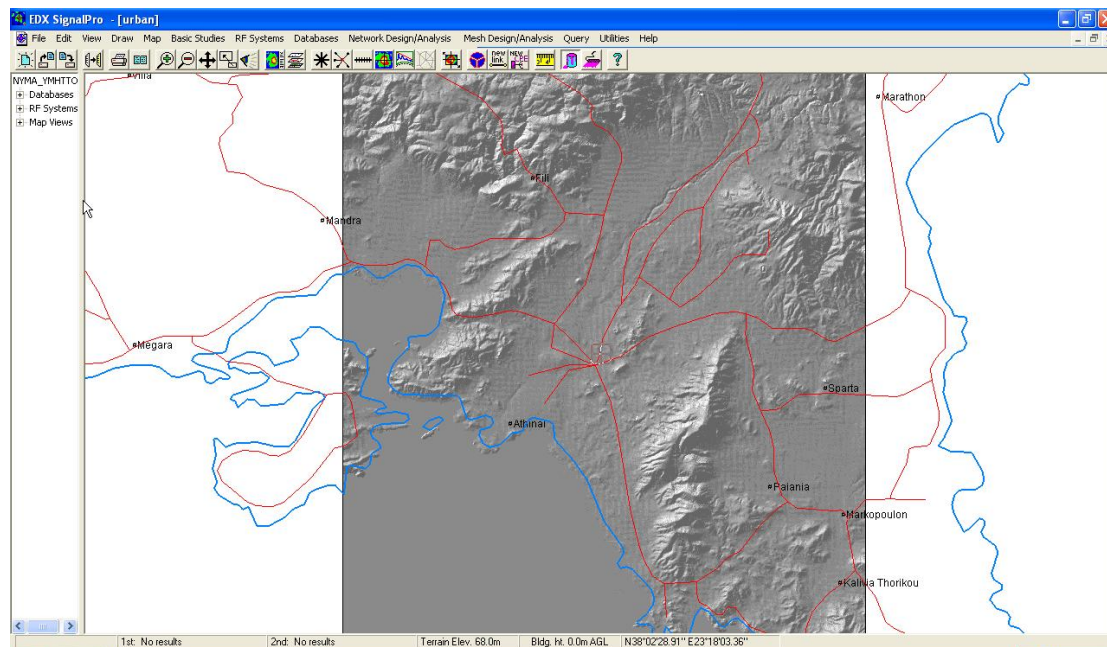
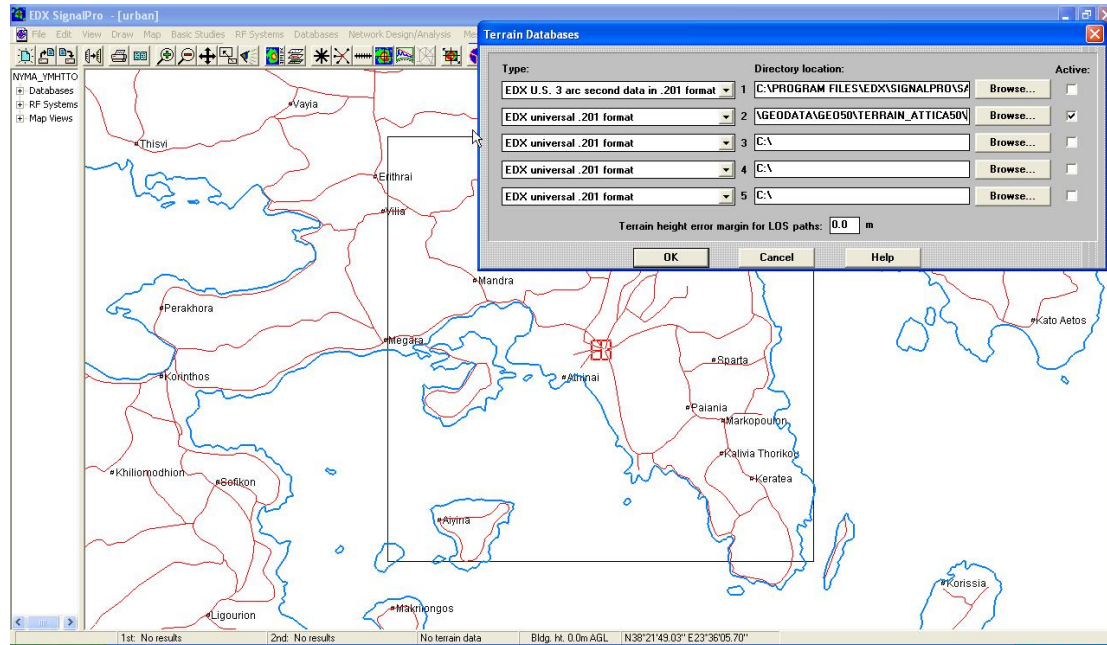


Εικόνα 9.5: Συνολική εκτιμώμενη θεωρητική Ραδιοκάλυψη στο λεκανοπέδιο Αττικής από τους Σταθμούς Βάσης WiMAX (ΔΜΟΤΕ, ΝΥΜΑ, Α/Τ ΥΜΗΤΤΟΥ, Α/Τ ΠΑΡΝΗΘΑΣ)

9.2.6 Διασύνδεση ΝΥΜΑ- Α/Τ Υμηττού

ΒΗΜΑ 1:

Εισαγωγή terrain, που περιλαμβάνει τα άκρα της ζεύξης, με την καλύτερη δυνατή κλίμακα. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέξαμε το terrain Attica 50.



BHMA 2:

Εισαγωγή δεδομένων άκρων της ζεύξης (γεωγραφικές συντεταγμένες, υψόμετρο) και συχνότητας λειτουργίας.

Link Details

Site 1

Site ID:

Site name:

Site Elevation: m

Coordinates:

Latitude: ° ' '' North South

Longitude: ° ' '' East West

Site 2

Site ID:

Site name:

Site elevation: m

Coordinates:

Latitude: ° ' '' North South

Longitude: ° ' '' East West

Link 1 ----->

Focus?

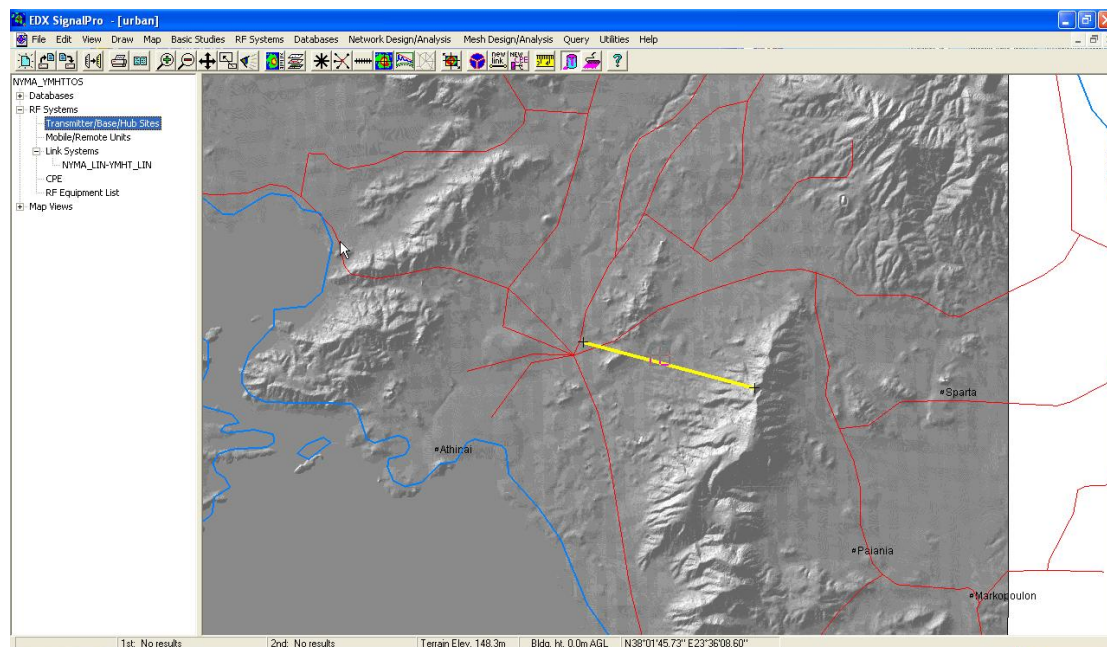
Study point spacing: km Free space optics Frequency: MHz

Link 2 <-----

Focus?

Study point spacing: km Free space optics Frequency: MHz

Link 1 path azimuth: ° Path length: km



BHMA 3:

Εισαγωγή παραμέτρων εκπομπής του πρώτου άκρου της ζεύξης (τύπος κεραίας, πόλωση, αζιμουθιο και κλίση λοβού, ύψος κεραίας στον ιστό, εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης, ισχύς πομπού, κέρδος κεραίας, απώλειες)

Link Transmitter Parameters

Antenna:

Use antenna type?
Antenna type: LMDS customer antenna type 1

Antenna type: DA Omni

Polarization: Horizontal Vertical

Antenna pattern file name:
C:\Program Files\EDX\SignalF Browse... Display pattern...

Set Antenna orientation/tilt toward receiver site?

Az. orient.: 103.42° Beam tilt: 3.83° Beam tilt az.: 103.42°

Antenna COR height (AGL): 7.00 m

Cross polarization attenuation: 22.00 dB

Transmission system:

Transmission line type: custom

Transmission line length: 0.00 m

Transmission line loss: 3.00 dB

Multiplexer/circ. loss: 0.00 dB

Misc. system losses: 1.00 dB

Antenna gain: 18.00 dBi

Radome loss: 2.00 dB

Total ERP: 30.00 dBmW

Set modulation(air interface) types

Transmitter:

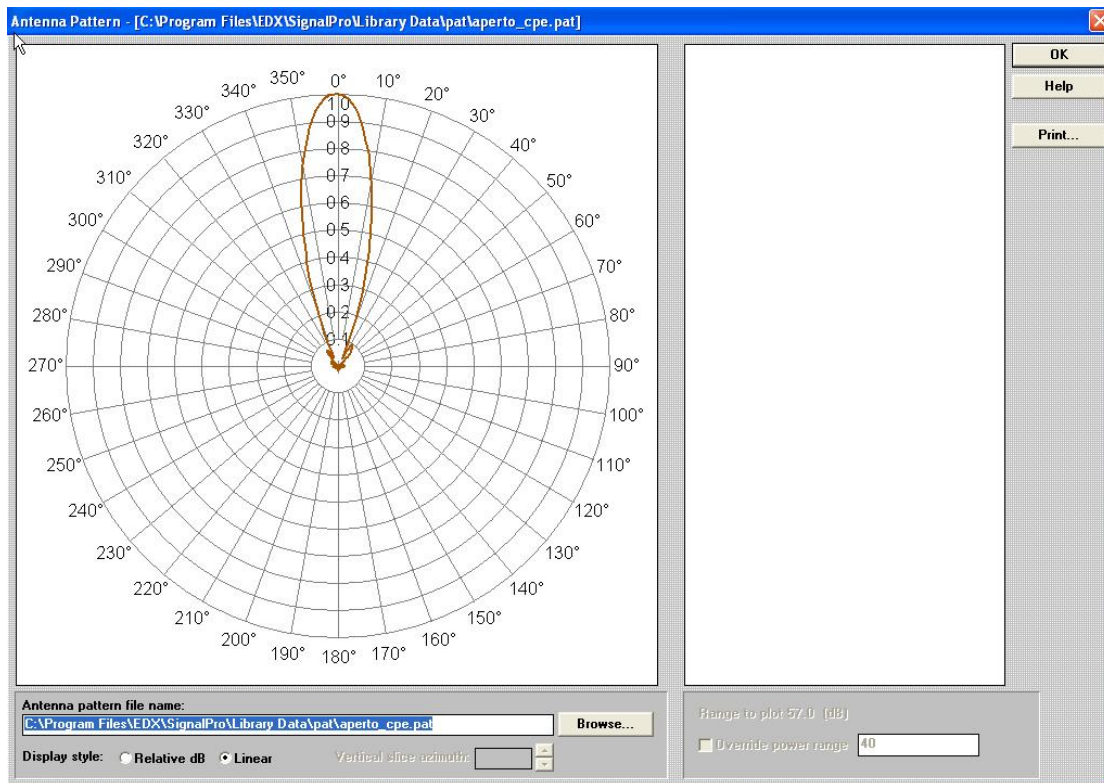
Use transmitter type database?
Transmitter type: Cellular (850MHz) 20 watt

Maximum transmit power per channel: 18.00 dBmW

Minimum transmit power per channel: 18.00 dBmW

Power spectral density file code: 0

OK Cancel Help



BHMA 4:

Εισαγωγή παραμέτρων λήψης του πρώτου άκρου της ζεύξης (τύπος κεραίας, αζιμούθιο και κλίση λοβού, ύψος κεραίας στον ιστό, εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης, κατώφλι ισχύος λήψης, κέρδος κεραίας, απώλειες)

Link Receiver Parameters

Antenna:

Use antenna type?
Antenna type: LMSD customer antenna type 1

Antenna type: DA Omni

Antenna pattern file name: C:\Program Files\EDX\SignalP

Set Antenna orientation/tilt toward transmitter site?

Az. orient.: 283.48 * Beam tilt: -3.84 * Beam tilt az.: 283.48 *

Antenna COR height (AGL): 7.00 m

Cross polarization rejection: 22.00 dB

Receiver:

Use Receiver Type Database:
Receiver Type: Cellular/PCS CDMA

Required service threshold: -97.0 dBmW

Required service C/(I+N) ratio: 25.2 dB

Receiver noise level: -122.2 dBmW

Receiver noise figure: 6.0 dB

Equivalent receiver noise bandwidth: 0.0500 MHz

Receiver filter file code: 0

Adjacent Channel Rejection: 0.0 dB

Transmission system:

Transmission line type: custom

Transmission line length: 0.00 m

Transmission line loss: 3.00 dB

Multiplexer/circ. loss: 0.00 dB

Misc. system losses: 1.00 dB

Antenna gain: 18.00 dBi

Radome loss: 2.00 dB

Diversity operation:

Diversity type: unprotected

Diversity antenna gain: 5.00 dB

Diversity antenna spacing: 0.00 m

BHMA 5: Εισαγωγή παραμέτρων εκπομπής του δεύτερου άκρου της ζεύξης (τύπος κεραίας, αζιμούθιο και κλίση λοβού, ύψος κεραίας στον ιστό, εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης, κατώφλι ισχύος λήψης, κέρδος κεραίας, απώλειες)

Link Transmitter Parameters

Antenna:

Use antenna type?
Antenna type: LMSD customer antenna type 1

Antenna type: DA Omni

Polarization: Horizontal Vertical

Antenna pattern file name: C:\Program Files\EDX\SignalP

Set Antenna orientation/tilt toward receiver site?

Az. orient.: 283.48 * Beam tilt: -3.83 * Beam tilt az.: 283.48 *

Antenna COR height (AGL): 6.00 m

Cross polarization attenuation: 22.00 dB

Transmission system:

Transmission line type: custom

Transmission line length: 0.00 m

Transmission line loss: 3.00 dB

Multiplexer/circ. loss: 0.00 dB

Misc. system losses: 1.00 dB

Antenna gain: 18.00 dBi

Radome loss: 2.00 dB

Total ERP: 30.00 dBmW

Transmitter:

Use transmitter type database?
Transmitter type: Cellular (850MHz) 20 watt

Maximum transmit power per channel: 18.00 dBmW

Minimum transmit power per channel: 18.00 dBmW

Power spectral density file code: 0

BHMA 6:

Εισαγωγή παραμέτρων λήψης του δεύτερου άκρου της ζεύξης (τύπος κεραίας, πόλωση, αζιμούθιο και κλίση λοβού, ύψος κεραίας στον ιστό, εξασθένηση λόγω ορθογώνιας πόλωσης, ισχύς πομπού, κέρδος κεραίας, απώλειες).

Link Receiver Parameters

Antenna:

Use antenna type?
Antenna type: LMD5 customer antenna type 1

Antenna type: DA Omni

Antenna pattern file name:
C:\Program Files\EDX\SignalP Browse... Display pattern...

Set Antenna orientation/tilt toward transmitter site?

Az. orient.: 103.42° Beam tilt: 3.84° Beam tilt az.: 103.42°

Antenna COR height (AGL): 6.00 m

Cross polarization rejection: 22.00 dB

Receiver:

Use Receiver Type Database:
Receiver Type: Cellular/PCS CHDA

Required service threshold: -97.0 dBmW

Required service C/(I+N) ratio: 25.2 dB

Receiver noise level: -122.2 dBmW

Receiver noise figure: 6.0 dB

Equivalent receiver noise bandwidth: 0.0500 MHz

Receiver filter file code: 0

Adjacent Channel Rejection: 0.0 dB

Diversity operation:

Diversity type: unprotected

Diversity antenna gain: 5.00 dBi

Diversity antenna spacing: 0.00 m

Transmission system:

Transmission line type: custom

Transmission line length: 0.00 m

Transmission line loss: 3.00 dB

Multiplexer/circ. loss: 0.00 dB

Misc. system losses: 1.00 dB

Antenna gain: 18.00 dBi

Radome loss: 2.00 dB

OK Cancel Help

BHMA 7:

Μοντέλο διάδοσης:

Propagation Models

Global 1 | Global 2 | Global 3 | Global 4 | Global 5

Models:

Model category: Basic

Model type: Free Space + RMD

Supplemental model parameters...

Percentage of time: 90.0

Percentage of location: 90.0

Margin: 0.0 dB

Suggest Model...

Environment:

k factor: 1.333

Ground conductivity: 8.0 mS/m

Ground dielectric constant: 15.0

Atmospheric absorption: none

Climate type: Continental Temperate

use terrain data include ground reflection

use building data include Fresnel zone loss

add clutter loss

add clutter height to terrain height add clutter pass-through loss

clutter exclusion distance: 0.000 km

show on legend

Reliability parameters...

OK

Cancel

Help

Παράμετροι αξιοπιστίας (Reliability parameters):

Link Reliability Analysis

Multipath Analysis

Fade outage analysis method: ITU-R 530-8
 Vignati-Barnett C factor: average prop. conditions: C = 1

ITU-R 530-8

Path region: Inland

% time refractivity gradient: 20.0000 % (from maps in manual)

Antenna height coefficient Co: 1.70 dB

Fraction of path over/near: 0.0100

ITU-R 530-10

Planning method
 Detailed method

Terrain standard deviation (roughness): 0.00 m **Calculate**

Automatically calculate roughness during study

Other exterior interference: -150.00 dBmW

Dispersive fade margin (BER = 0.001): 80.00 dB (from equipment)

Fade Occurrence factor: 5.00

Rain Fade Analysis

Rain outage analysis: Crane

Rain rate table: ITU-R data

Rain region: L

ITU-R Rain rate: 1.00 0.01% time (mm/hr)

Use correlated rain fade analysis?

Alternate lognormal fading distribution

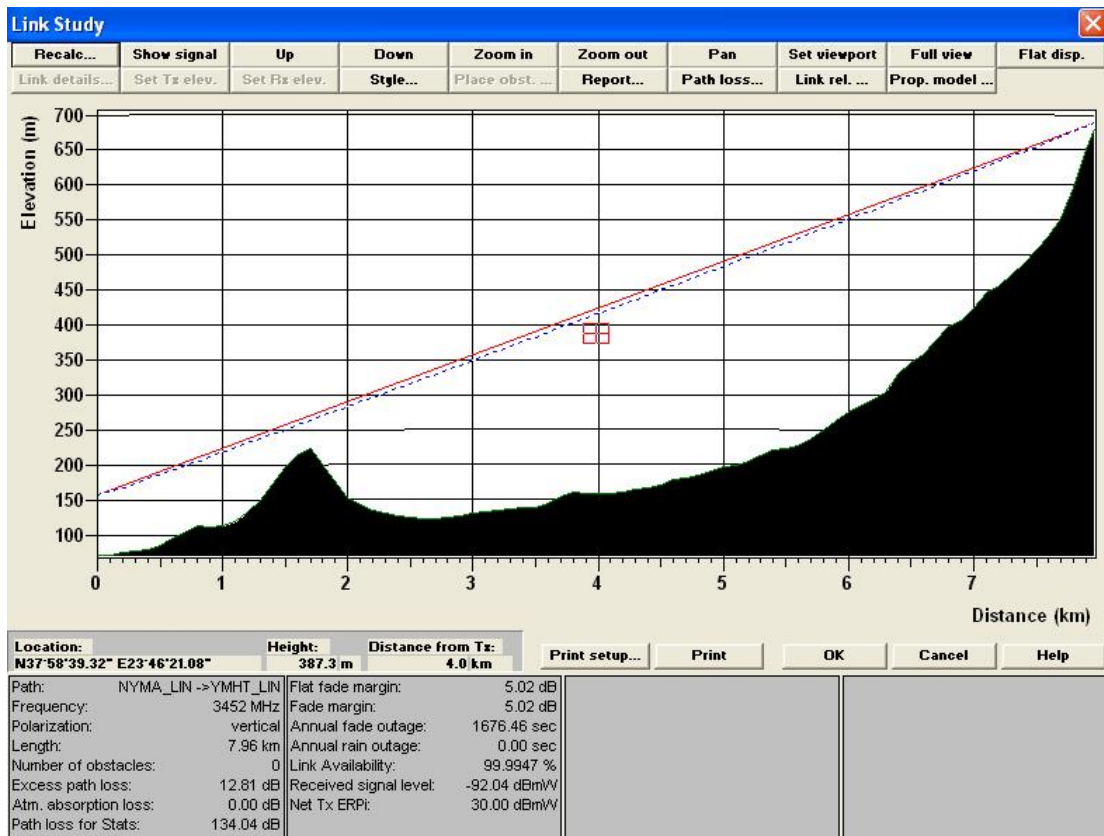
Use alternate distribution?

Set standard deviation from land use (clutter) data

Set standard deviation by path length

Fixed standard deviation of distribution: 1.00 dB

OK **Cancel** **Help**



Εικόνα 9.6: Εκτιμώμενη ραδιοζεύξη NYMA - A/T OTE

9.2.7 Διασύνδεση ΔΜΟΤΕ - Α/Τ Πάρνηθας

Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράψαμε για τη διασύνδεση ΝΥΜΑ-Α/Τ Υμηττού υπολογίζουμε την εκτιμώμενη ραδιοζεύξη ΔΜΟΤΕ - Α/Τ Πάρνηθας.

Link Details

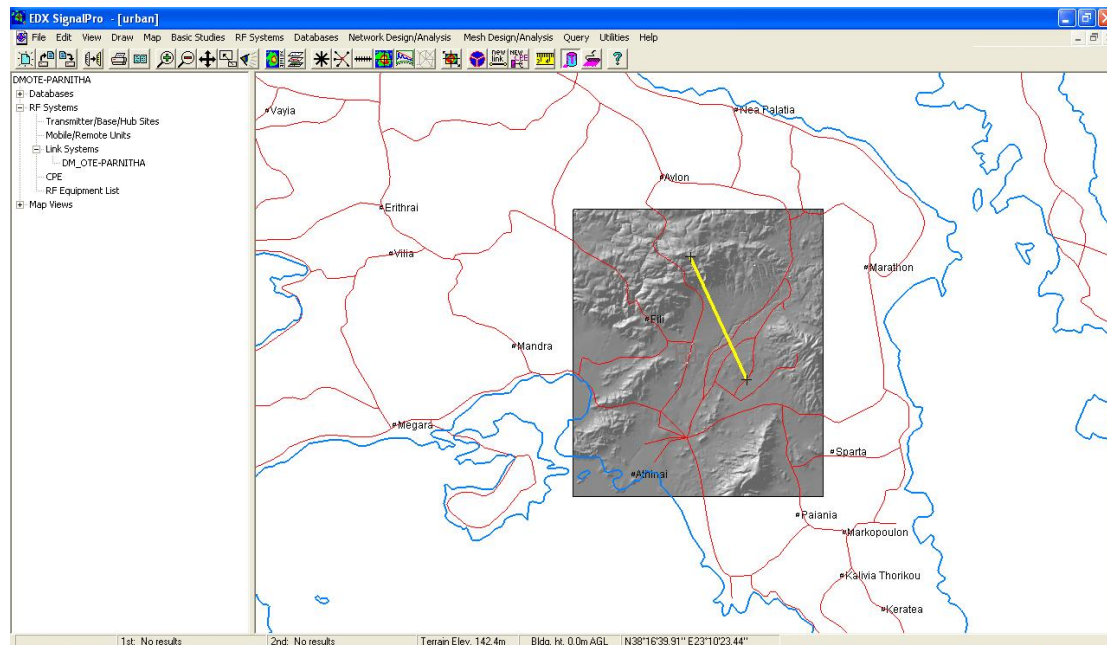
Site 1
Site ID: DM_OTE
Site name: DM_OTE_1
Site Elevation: 288.0 m
Coordinates: Latitude: 38° 2' 33.45" North, Longitude: 23° 48' 8.04" East

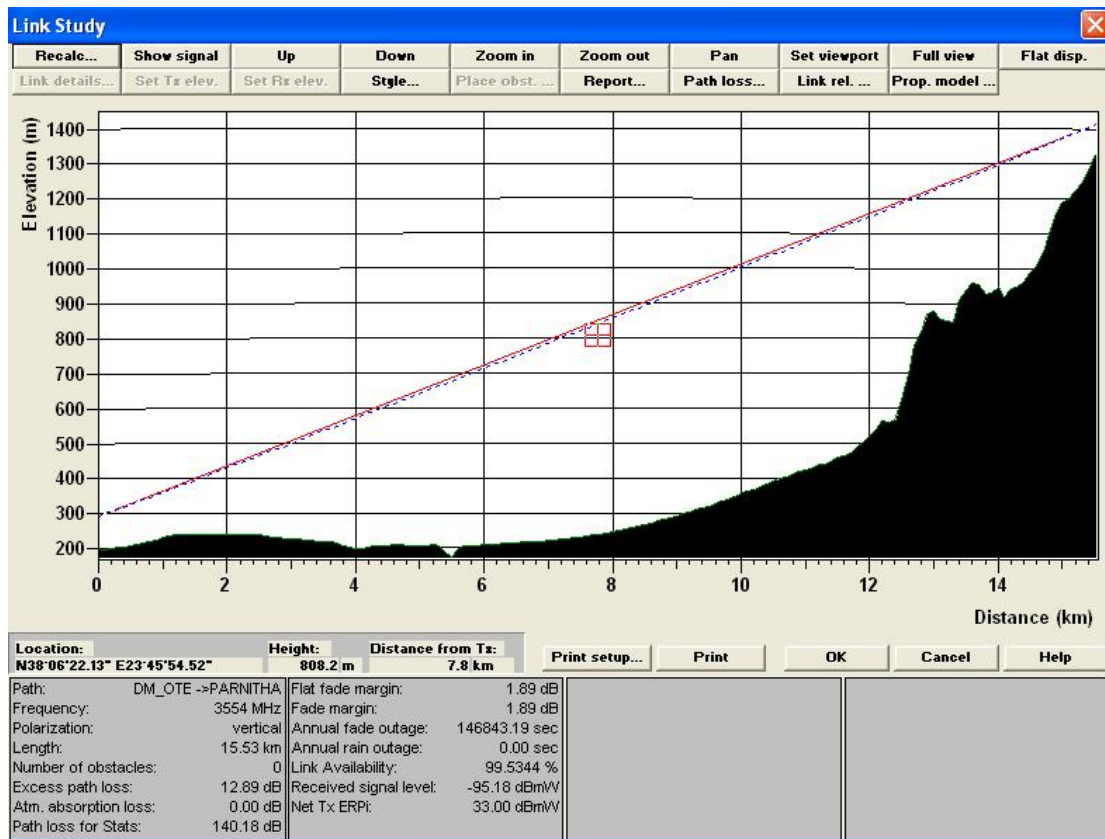
Site 2
Site ID: PARNITHA
Site name: PARN_1
Site elevation: 1408.0 m
Coordinates: Latitude: 38° 10' 10.62" North, Longitude: 23° 43' 40.86" East

Link 1
 Focus? Study point spacing: 0.100 km Frequency: 3553.75000 MHz

Link 2
 Focus? Study point spacing: 0.100 km Frequency: 3553.75000 MHz

Link 1 path azimuth: 335.327° Path length: 15.53 km





Εικόνα 9.7: Εκτιμώμενη ραδιοζεύξη ΔΜΟΤΕ - Α/Τ Πάρνηθας

10

Ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου

10.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα κάνουμε μια εκτίμηση του πλήθους των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένας σταθμός βάσης WiMAX σε κάθε ζώνη διαμόρφωσης για κάθε υπηρεσία. Πρώτα θα γίνει θεωρητική μελέτη του πλήθους και μετά θα εξειδικεύσουμε στους τέσσερις σταθμούς βάσης του Λεκανοπεδίου της Αττικής, που μελετήσαμε στα δύο προηγούμενα κεφάλαια.

Ακολουθώς, παρουσιάζονται οι υπηρεσίες που θεωρούμε ότι προσφέρονται από ένα σταθμό βάσης καθώς και το απαιτούμενο bit rate σε παρένθεση.

Υπηρεσία Α:	Internet 1024/256 kbps	(1280 kbps)
Υπηρεσία Β:	Internet 768/128 kbps	(896 kbps)
Υπηρεσία Γ:	Movie Streaming 2048 kbps	(2048 kbps)
Υπηρεσία Δ:	Video Conference 1024/1024 kbps	(2048 kbps)
Υπηρεσία Ε:	IPTV 2048 kbps	(2048 kbps)
Υπηρεσία ΣΤ:	Voice over IP (VoIP) 64 kbps	(64 kbps)
Υπηρεσία Ζ:	Video Phone 384 kbps	(384 kbps)
Υπηρεσία Η:	VPN 1024/1024 kbps	(2048 kbps)

Πρέπει να πούμε ότι οι τιμές πλήθους χρηστών που θα εξαγάγουμε σαν αποτέλεσμα από τη μελέτη θα είναι μέγιστες. Τις πραγματικές τιμές δεν είναι δυνατόν να τις γνωρίζουμε εκ των προτέρων γιατί εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι α) η σειρά με την οποία θα καταφθάσουν οι αιτήσεις στην εταιρεία από υποψήφιους πελάτες, β) το γεγονός ότι κάποιοι υποψήφιοι πελάτες χρήστες μπορεί να ζητήσουν περισσότερες από μία υπηρεσίες, γ) η πολιτική της εταιρείας (δηλαδή αν δίνει ίση προτεραιότητα σε όλες τις υπηρεσίες ή όχι) και δ) το κέρδος που θα πετύχει προτιμώντας να εξυπηρετήσει αιτούντες για συγκεκριμένο είδος υπηρεσίας έναντι άλλων αιτούντων.

Παρά το γεγονός, όμως, ότι οι πραγματικοί αριθμοί χρηστών θα είναι διαφορετικοί, η χρησιμότητα αυτής της μελέτης είναι μεγάλη. Τα πορίσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από το εμπορικό τμήμα ενός παρόχου ούτως ώστε να γνωρίζει ποιες είναι οι μέγιστες «αντοχές» του σταθμού βάσης WiMAX που πρόκειται να στηθεί, ως προς το πλήθος των συνδρομητών. Όταν, λοιπόν, αρχίσουν να γίνονται οι αιτήσεις από τους υποψήφιους συνδρομητές, το εμπορικό τμήμα θα έχει γνώση των θεωρητικών ορίων, και αν δει ότι οι εξυπηρετούμενοι χρήστες για κάθε υπηρεσία αρχίζουν να τα πλησιάζουν, θα πρέπει να ζητήσει από το τεχνικό τμήμα της εταιρείας να προωθήσει την εγκατάσταση νέου σταθμού βάσης, ώστε να εξυπηρετηθούν όσο το δυνατόν περισσότεροι αιτούντες. Με άλλα λόγια, η μελέτη μας αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για τις κινήσεις του εμπορικού τμήματος, αποτελώντας, κατά κάποιον τρόπο, μία διασύνδεση με το τεχνικό τμήμα.

10.2 Ορισμός εννοιών

Στο σημείο αυτό, ξεκινώντας, τη μελέτη, ορίζουμε κάποιες έννοιες, τις οποίες στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε:

- **Ζώνες διαμόρφωσης:** Το πρότυπο WiMAX προβλέπει διαφορετική διαμόρφωση του σήματος μετάδοσης ανάλογα με τη στάθμη λήψης που επιτυγχάνεται. Έτσι, η περιοχή ραδιοκάλυψης χωρίζεται σε διάφορες ζώνες ανάλογα με το είδος διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Οι ζώνες αυτές αναφέρονται ως ζώνες

διαμόρφωσης και είναι οι ακόλουθες: 64-QAM 3/4, 64-QAM 2/3, 16-QAM 3/4, 16-QAM 1/2, QPSK 3/4, QPSK 1/2, BPSK 1/2 και τις αριθμούμε με το δείκτη $i=1, \dots, 7$.

- **N – Μέγιστο πλήθος συνδρομητών στο σταθμό βάσης:** Οι κατασκευάστριες εταιρείες των κεραιοσυστημάτων θέτουν περιορισμό στο συνολικό πλήθος συνδρομητών που μπορούν να υποστηρίξουν (θεωρώντας ότι σε κάθε συνδρομητή αντιστοιχεί μία MAC address). Συνήθως, το μέγιστο πλήθος των υποστηριζόμενων MAC ανέρχεται στις 128. Θυμίζουμε και πάλι ότι ο αριθμός αυτός είναι μέγιστος, διότι ο πραγματικός αριθμός εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως αναφέραμε και παραπάνω.

- **Q_i ($i=1, \dots, 7$) – Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης μιας ζώνης διαμόρφωσης:** Πρόκειται για το ποσοστό % του συνολικού πληθυσμού της περιοχής ραδιοκάλυψης που βρίσκεται εντός της ζώνης διαμόρφωσης i .

- **R_i ($i=1, \dots, 7$) – Μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης (σε Mbps) με συγκεκριμένη διαμόρφωση:** Τονίζουμε ότι οι τιμές R_i είναι μέγιστες επειδή θεωρούμε ότι κάθε φορά δεν υπάρχει άλλη ζώνη διαμόρφωσης, εκτός απ' τη ζώνη i . Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τιμές R_i ($i=1, \dots, 7$):

Mod	3.5 MHz	7 MHz
Mode	(Mbps)	(Mbps)
64QAM 3/4	10.01	20.49
64QAM 2/3	8.90	18.21
16QAM 3/4	6.67	13.66
16QAM 1/2	4.45	9.11
QPSK 3/4	3.34	6.83
QPSK 1/2	2.22	4.55
BPSK 1/2	1.11	2.28

(Πηγή: [1])

Πίνακας 10.1: Ενδεικτικός μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για κάθε διαμόρφωση ανάλογα και με το εύρος ζώνης καναλιού.

• W_j ($j=A, \dots, H$) – **Συνολική απαιτούμενη ταχύτητα μετάδοσης για κάθε υπηρεσία:** Την είχαμε αναφέρει και παραπάνω, όταν καταγράψαμε τις υπηρεσίες που θεωρούμε ότι προσφέρει ένας σταθμός βάσης:

Υπηρεσία A:	Internet 1024/256 kbps	($W_A=1280$ kbps),
Υπηρεσία B:	Internet 768/128 kbps	($W_B=896$ kbps),
Υπηρεσία Γ:	Movie Streaming 2048 kbps	($W_\Gamma=2048$ kbps)
Υπηρεσία Δ:	Video Conference 1024/1024 kbps	($W_\Delta=2048$ kbps)
Υπηρεσία E:	IPTV 2048 kbps	($W_E=2048$ kbps)
Υπηρεσία ΣΤ:	Voice over IP (VoIP) 64 kbps	($W_{\Sigma T}=64$ kbps)
Υπηρεσία Z:	Video Phone 384 kbps	($W_Z=384$ kbps)
Υπηρεσία H:	VPN 1024/1024 kbps	($W_H=2048$ kbps)

• CR_j ($j=A, \dots, H$) – **Λόγος ανταγωνισμού (Contention Ratio):** Είναι ένας λόγος $1/CR_j$, όπου το CR_j ($j=A, \dots, H$) δείχνει το μέγιστο αριθμό χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα αφιερωμένο κανάλι της υπηρεσίας j . Για παράδειγμα στην υπηρεσία Internet 1024/256 kbps αντιστοιχούμε Contention Ratio $1/25$, που σημαίνει ότι από ένα κανάλι των 1280kbps μπορούν να εξυπηρετηθούν έως 25 χρήστες, θεωρώντας ότι δε θα απαιτούν την υπηρεσία και δε θα θέλουν να χρησιμοποιήσουν ολόκληρο το κανάλι ταυτόχρονα όλοι μαζί. Αυτή η πρακτική είναι αποδεκτή και διαδεδομένη στη σχεδίαση δικτύων, για να μπορούν να εξυπηρετούνται περισσότεροι χρήστες. Βέβαια, σε υπηρεσίες κατά τις οποίες ο χρήστης ζητάει να έχει εξ ολοκλήρου αφιερωμένη (dedicated) γραμμή (π.χ. VoIP, VPN-Leased Lines), προφανώς το Contention Ratio είναι $1/1$.

• P_j ($j=A, \dots, H$) – **Ποσοστό ατόμων επί του συνολικού πληθυσμού μιας περιοχής που ζητά την κάθε υπηρεσία:** Μετά από έρευνα αγοράς, μπορούμε να εξαγάγουμε τα ποσοστά ζήτησης για κάθε υπηρεσία. Μπορεί, όπως είπαμε και παραπάνω, κάποιοι υποψήφιοι χρήστες να ζητούν περισσότερες από μία υπηρεσίες, γι' αυτό και το άθροισμα όλων των ποσοστών P_A, \dots, P_H θα είναι μεγαλύτερο από 100%.

Όλα τα παραπάνω μεγέθη είναι τα δεδομένα, και με τα οποία ως βάση θα φτιάξουμε ένα πρόγραμμα Excel που θα υπολογίζει την κατανομή του μέγιστου πλήθους υποψήφιων συνδρομητών (N_j) στις ζώνες διαμόρφωσης. Η κατανομή θα

γίνει σύμφωνα με δύο πολιτικές, όπως θα δούμε και παρακάτω, και οι οποίες είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους. Το εμπορικό τμήμα ενός παρόχου θα μπορεί να επιλέξει όποια από τις δύο θεωρεί πιο αποδοτική. Ο υπολογισμός της κατανομής γίνεται καθαρά με μαθηματικό τρόπο και επομένως ο χειριστής του προγράμματος θα μπορεί να δίνει κάθε φορά τις τιμές των δεδομένων και θα παίρνει αυτόματα τα αποτελέσματα.

- N_j ($j=A, \dots, H$) – **Μέγιστο πλήθος υποψηφίων συνδρομητών της υπηρεσίας j στην περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης:** Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους από N χρήστες, υπολογίζουμε τα N_j πολλαπλασιάζοντας το N επί το αντίστοιχο ποσοστό ζήτησης P_j :

$$N_j = N \cdot P_j$$

Εφόσον το N είναι μέγιστο, όπως αναφέραμε και παραπάνω, το N_j θα είναι και αυτό μέγιστο.

- F_{ij} – **Μέγιστο δυνητικά πλήθος εξυπηρετούμενων χρηστών σε κάθε ζώνη διαμόρφωσης:** Αυτό το μέγεθος αντιπροσωπεύει τον αριθμό χρηστών που δύναται να υποστηρίξει ο σταθμός βάσης θεωρώντας ότι παρέχεται μόνο η υπηρεσία j και μόνο στη ζώνη διαμόρφωσης i . Με άλλα λόγια, το μέγεθος F_{ij} είναι το άνω φράγμα (supremum) του πλήθους των χρηστών που μπορούν να απολάβουν την υπηρεσία j , όντες στη ζώνη i . Σε καμμία περίπτωση δεν μπορεί να ξεπεραστεί αυτός ο αριθμός. Η τιμή εξαρτάται από το προσφερόμενο bit rate του σταθμού βάσης και προκύπτει από το πηλίκο της διαίρεσης της μέγιστης ταχύτητας μετάδοσης R_i της συγκεκριμένης κάθε φορά διαμόρφωσης προς το απαιτούμενο bit rate W_j της υπηρεσίας. Λαμβάνουμε υπ' όψιν μας όμως την αποκοπή του πηλίκου. Π.χ. αν το πηλίκον είναι 6.8, το F_{ij} θα ισούται με 6. Την αποκοπή αυτή την πολλαπλασιάζουμε επί το CR_j για να συνυπολογιστεί και ο λόγος ανταγωνισμού. Στην περίπτωση, όμως, που η τελική τιμή υπερβαίνει το N , τότε το F_{ij} τίθεται ίσο με N , αφού δεν μπορούν σε καμμία περίπτωση οι χρήστες να ξεπεράσουν τους N . Με άλλα λόγια, το μέγεθος F_{ij} μάς δίνει τη μέγιστη «αντοχή» του σταθμού βάσης από τεχνικής απόψεως.

$$F_{ij} = \min \left\{ \left\lfloor \frac{R_i}{W_j} \right\rfloor \cdot CR_j, N \right\}$$

• S_{ij} – Μέγιστο πλήθος χρηστών σε κάθε ζώνη συνυπολογίζοντας την πρόβλεψη ζήτησης: Αυτό το μέγεθος περιορίζει ακόμα περισσότερο το F_{ij} . Ο παράγοντας περιορισμού είναι το μέγιστο πλήθος υποψηφίων συνδρομητών (N_j), διότι θεωρώντας ως αξιόπιστη την έρευνα αγοράς που έχουμε κάνει, δεν μπορούμε να έχουμε σε κάποια ζώνη διαμόρφωσης περισσότερους από N_j χρήστες της υπηρεσίας j . Έτσι, το S_{ij} ισούται με το ελάχιστο των F_{ij} και N_j .

$$S_{ij} = \min\{N_j, F_{ij}\}$$

• K_{ij} – Ανηγμένη κατανομή στις ζώνες διαμόρφωσης, τού μέγιστου πλήθους υποψηφίων συνδρομητών (N_j) με βάση το μέγιστο πλήθος χρηστών S_{ij} για την αντίστοιχη ζώνη: Το πλήθος N_j των υποψηφίων συνδρομητών πρέπει με κάποιον τρόπο να κατανεμηθεί στις ζώνες διαμόρφωσης. Ένας τρόπος κατανομής είναι η αναγωγή του N_j ανά ζώνη διαμόρφωσης ως προς το S_{ij} , δηλαδή ως προς το μέγιστο πλήθος χρηστών σε κάθε ζώνη με βάση την πρόβλεψη ζήτησης. Έτσι, πολλαπλασιάζουμε το N_j με το λόγο του S_{ij} προς το άθροισμα των S_{ij} από $i=1$ έως $i=7$. Παίρνουμε την αποκοπή του αποτελέσματος αφού το K_{ij} πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός.

$$K_{ij} = \min\left\{ \left\lfloor N_j \cdot \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^7 S_{ij}} \right\rfloor, F_{ij} \right\}$$

• M_{ij} – Ανηγμένη κατανομή στις ζώνες διαμόρφωσης, τού μέγιστου πλήθους υποψηφίων συνδρομητών (N_j) με βάση τα ποσοστά πληθυσμιακής κάλυψης των ζωνών διαμορφώσεως: Αυτός είναι ένας δεύτερος τρόπος να κατανείμουμε το N_j στις ζώνες διαμόρφωσης. Δηλαδή το κατανέμουμε με βάση τα πληθυσμιακά ποσοστά της κάθε ζώνης. Και εδώ, προφανώς, παίρνουμε την αποκοπή του αποτελέσματος.

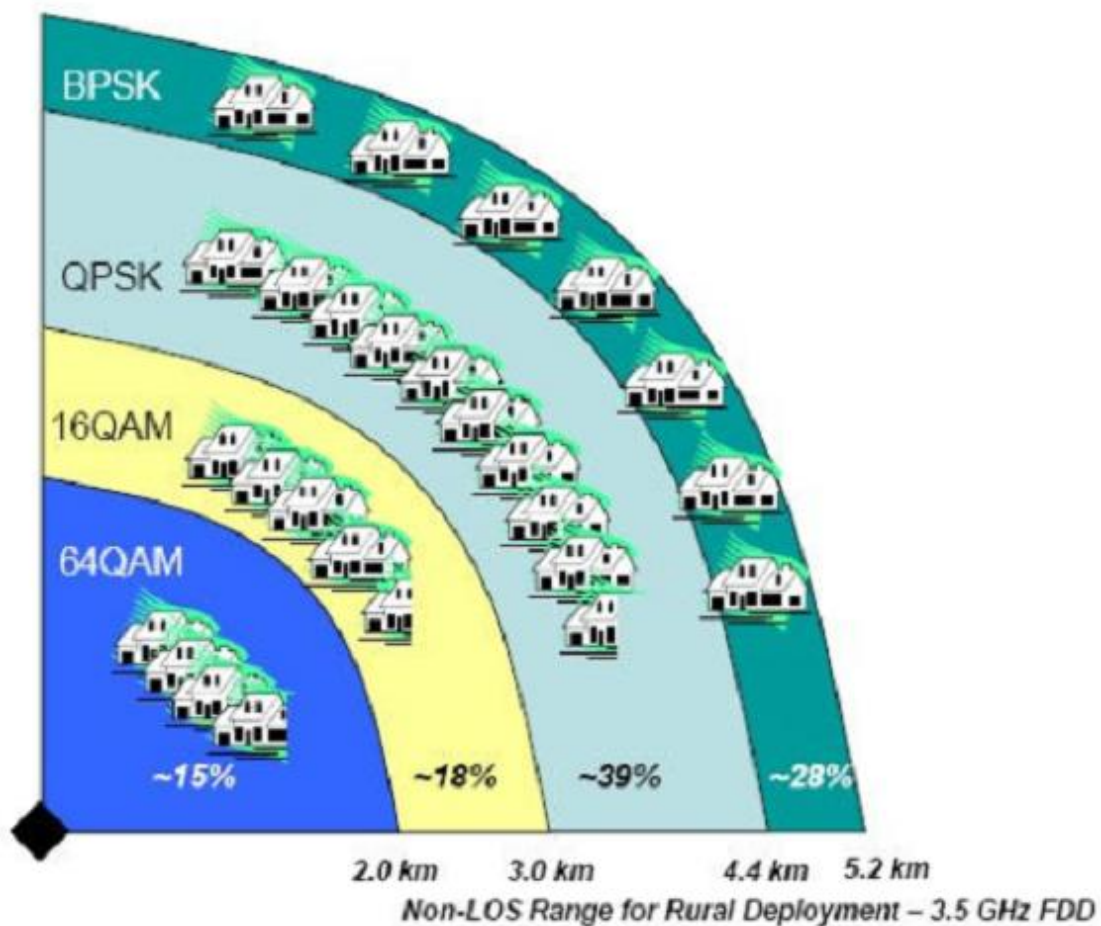
$$M_{ij} = \min\left\{ \left\lfloor N_j \cdot Q_i \right\rfloor, F_{ij} \right\}$$

Σχόλιο: Στα δύο παραπάνω μεγέθη (M_{ij} , K_{ij}), όπως και στα προηγούμενα, έχουμε εφαρμόσει μέσω του $\min\{\dots, F_{ij}\}$ το γεγονός ότι το F_{ij} είναι άνω φράγμα.

Όλα τα παραπάνω, όπως αναφέραμε και παραπάνω, τα έχουμε εφαρμόσει στο πρόγραμμα Excel που φτιάξαμε.

10.3 Θεωρητική μελέτη

Ο όρος «θεωρητική» έγκειται στο ότι δε θα χρησιμοποιήσουμε πραγματικά δεδομένα πληθυσμιακής κάλυψης (Q_i). Για να εξαγάγουμε κάποιες τιμές για τα Q_i θα χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω εικόνα που δείχνει την πληθυσμιακή κατανομή στις ζώνες διαμόρφωσης σε αγροτική περιοχή:



Εικόνα 10.1: Θεωρητικά ποσοστά κάλυψης της κάθε διαμόρφωσης επί της συνολικής περιοχής κάλυψης της κεραίας σε αγροτική περιοχή για NLOS διάδοση.

Θεωρούμε ότι έχουμε ομοιόμορφη κατανομή του πληθυσμού εντός της περιοχής ραδιοκάλυψης. Συνεπώς, τα ποσοστά εμβαδού επιφανείας που

παρουσιάζονται στην παραπάνω εικόνα ταυτίζονται με τα ποσοστά πληθυσμιακής κάλυψης των αντίστοιχων ζωνών διαμόρφωσης.

Δεδομένου όμως ότι θέλουμε να μελετήσουμε αστική περιοχή, όπου οι απώλειες είναι μεγαλύτερες, αναπροσαρμόζουμε τα ποσοστά που φαίνονται στην εικόνα και επίσης χωρίζουμε κάθε περιοχή διαμόρφωσης σε υποπεριοχές. Δηλ. την 64-QAM σε 64-QAM 3/4 και 2/3, την 16-QAM σε 16-QAM 3/4 και 1/2 και την QPSK σε QPSK 3/4 και 1/2. Η εκτίμηση των ποσοστών Q_i ($i=1,\dots,7$) κάθε ζώνης κάλυψης φαίνεται παρακάτω:

Διαμόρφωση	Ποσοστό κάλυψης (Q_i)
64-QAM 3/4	5 %
64-QAM 2/3	7 %
16-QAM 3/4	8 %
16-QAM 1/2	10 %
QPSK 3/4	17 %
QPSK 1/2	23 %
BPSK 1/2	30 %

Πίνακας 10.2: Εκτίμηση των θεωρητικών ποσοστών πληθυσμιακής κάλυψης κάθε ζώνης διαμόρφωσης σε αστική περιοχή.

Επιπροσθέτως, με βάση υποτιθέμενη έρευνα αγοράς έχουμε τα εξής αποτελέσματα για τα ποσοστά ζήτησης επί του συνολικού πληθυσμού για κάθε υπηρεσία:

Υπηρεσία	Ποσοστό ζήτησης (P_j)
Υπηρεσία Α	40 %
Υπηρεσία Β	50 %
Υπηρεσία Γ	25 %
Υπηρεσία Δ	5 %
Υπηρεσία Ε	15 %
Υπηρεσία ΣΤ	35 %
Υπηρεσία Ζ	15 %
Υπηρεσία Η	5 %

Πίνακας 10.3: Εκτίμηση των αποτελεσμάτων έρευνας αγοράς για τα ποσοστά ζήτησης κάθε υπηρεσίας επί του συνολικού πληθυσμού

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από το πρόγραμμα Excel για έναν σταθμό βάσης WiMAX που εκπέμπει με εύρος ζώνης 3.5MHz σε αστική περιοχή, καθώς και για ένα σταθμό που εκπέμπει με εύρος ζώνης 7MHz:

Διαμόρφωση	Ποσοστό πλεθυσματικής κάλυψης (%)	Max Συνολικό Bit Rate (Mbps)	Υπερσύν. Ε			Υπερσύν. ΣΤ			Υπερσύν. Ζ			Υπερσύν. Η				
			Max δυναμικά πλήθος Fij εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμικά πλήθος Fij εξυπηρετούμενων χρηστών	Κατανομή ή Mij μέγιστου πλήθους Nj υποψηφίων συνδρομητών ως προς το ποσοστό πληθυσμιακής λυψης (Qi)	Max δυναμικά πλήθος Fij εξυπηρετούμενων χρηστών	Κατανομή ή Mij μέγιστου πλήθους Nj υποψηφίων συνδρομητών ως προς το ποσοστό πληθυσμιακής λυψης (Qi)	Max δυναμικά πλήθος Fij εξυπηρετούμενων χρηστών	Κατανομή ή Mij μέγιστου πλήθους Nj υποψηφίων συνδρομητών ως προς το ποσοστό πληθυσμιακής λυψης (Qi)	Max δυναμικά πλήθος Fij εξυπηρετούμενων χρηστών	Κατανομή ή Mij μέγιστου πλήθους Nj υποψηφίων συνδρομητών ως προς το ποσοστό πληθυσμιακής λυψης (Qi)	Max δυναμικά πλήθος Fij εξυπηρετούμενων χρηστών	Κατανομή ή Mij μέγιστου πλήθους Nj υποψηφίων συνδρομητών ως προς το ποσοστό πληθυσμιακής λυψης (Qi)			
64-QAM 3/4	5	10.0	12	12	5	44	7	2	78	19	3	0	4	4	1	0
64-QAM 2/3	7	8.9	12	12	5	44	7	3	69	19	3	1	4	4	1	0
16-QAM 3/4	8	6.7	9	9	3	44	7	3	51	19	3	1	3	3	1	0
16-QAM 1/2	10	4.4	6	6	2	44	7	4	33	19	3	1	2	2	0	0
QPSK 3/4	17	3.3	3	3	1	44	7	7	24	19	3	3	1	1	0	1
QPSK 1/2	23	2.2	3	3	1	34	5	10	15	15	2	4	1	1	0	1
BPSK 1/2	30	1.1	0	0	0	17	2	13	6	6	0	5	0	0	0	0

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΟ ΒΑΣΗΣ
ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ 7ΜΗΛ ΣΕ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ**

Μέγιστος επιτρεπόμενος από την εταιρεία αριθμός συνδρομητών N:	128
Αποσπώμενο bit rate Wj (Mbps):	1.280
Ποσοστό ζήτησης Pj (%):	40
Contention ratio (1/CR):	25
Μax πλήθος Nj υποστηρίξιμων συνδρομητών:	51

Διαμόρφωση	Ποσοστό κλάση Qi (%)	Max Συνολικό Bit Rate Ri (Mbps)	Υπηρεσία Α			Υπηρεσία Β			Υπηρεσία Γ			Υπηρεσία Δ		
			Max πλήθος χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij ή μέγιστος πλήθος Nj υποστηρίξιμων φώνων	Κατανομή ή Μij ή μέγιστος πλήθος Nj υποστηρίξιμων φώνων	Max πλήθος χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij ή μέγιστος πλήθος Nj υποστηρίξιμων φώνων	Κατανομή ή Μij ή μέγιστος πλήθος Nj υποστηρίξιμων φώνων	Max πλήθος χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij ή μέγιστος πλήθος Nj υποστηρίξιμων φώνων	Κατανομή ή Μij ή μέγιστος πλήθος Nj υποστηρίξιμων φώνων			
64-QAM 3/4	5	20.5	128	51	7	2	128	64	9	3	100	32	6	0
64-QAM 2/3	7	18.2	128	51	7	3	128	64	9	4	80	32	6	0
16-QAM 3/4	8	13.6	128	51	7	4	128	64	9	5	60	32	6	0
16-QAM 1/2	10	9.1	128	51	7	5	128	64	9	6	40	32	6	0
QPSK 3/4	17	6.8	125	51	7	8	128	64	9	10	30	30	6	0
QPSK 1/2	23	4.5	75	51	7	11	125	64	9	14	20	20	6	0
BPSK 1/2	30	2.2	25	25	3	15	50	50	7	19	10	10	3	0

Διαμόρφωση	Ποσοστό πλεθυσμιακής κάλυψης (%)	Max Συνολικό Bit Rate (Mbps)	Υπηρεσία Ε			Υπηρεσία ΣΤ			Υπηρεσία Ζ			Υπηρεσία Η				
			Κατανομή ή Κij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Κij	Max αριθμός χρηστών Sij				
64-QAM 3/4	5	20.5	30	19	4	4	6	128	44	19	2	0	10	6	1	0
64-QAM 2/3	7	18.2	24	19	4	4	6	128	44	19	2	1	8	6	1	0
16-QAM 3/4	8	13.6	18	18	3	3	6	128	44	19	2	1	6	6	1	0
16-QAM 1/2	10	9.1	12	12	2	2	6	128	44	19	2	1	4	4	0	0
QPSK 3/4	17	6.8	9	9	1	3	6	106	44	19	2	3	3	3	0	1
QPSK 1/2	23	4.5	6	6	1	4	6	70	44	19	2	4	2	2	0	1
BPSK 1/2	30	2.2	3	3	0	3	5	34	34	15	2	5	1	1	0	1

Σχόλιο: Θα περίμενε κανείς, λόγω της φύσης των μεγεθών K_{ij} και M_{ij} , καθένα από τα αθροίσματα των K_{ij} και M_{ij} για όλες τις ζώνες διαμόρφωσης να ισούται με το μέγιστο πλήθος N_j υποψήφιων χρηστών για την υπηρεσία j . Αυτό δεν συμβαίνει διότι, αφενός έχουμε θέσει στον υπολογισμό των μεγεθών αυτών ως άνω φραγμα το F_{ij} και αφετέρου το αποτέλεσμα προέρχεται μετά από αποκοπή αφού δεν νοείται να είναι δεκαδικός αριθμός.

10.4 Πρακτική μελέτη

Τώρα θα έρθουμε στην πρακτική περίπτωση των δύο από τις τέσσερις τοποθεσίες που μελετήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (ΔΜΟΤΕ, ΝΥΜΑ). Για κάθε τοποθεσία θα πάρουμε τα πληθυσμιακά ποσοστά που μετρήσαμε στο Κεφάλαιο 9 μέσω του προγράμματος EDX. Έχοντας, λοιπόν, τα πραγματικά ποσοστά Q_i , μπορούμε μέσω του προγράμματος Excel να βρούμε τις πρακτικές μέγιστες τιμές χρηστών.

Παρακάτω δίνουμε τον πληθυσμό και τα αντίστοιχα ποσοστά που μάς έδωσε το EDX για κάθε τοποθεσία και για κάθε ζώνη διαμόρφωσης:

Διαμόρφωση	ΔΜΟΤΕ		ΝΥΜΑ	
	Πληθυσμός	Ποσοστά Q_i (%)	Πληθυσμός	Ποσοστά Q_i (%)
64-QAM 3/4	20745	4.39	177916	14.69
64-QAM 2/3	16042	3.4	80164	6.62
16-QAM 3/4	90904	19.25	418181	34.54
16-QAM 1/2	40486	8.58	108620	8.97
QPSK 3/4	106757	22.61	217157	17.93
QPSK 1/2	81586	17.28	83675	6.91
BPSK 1/2	115592	24.48	125141	10.33

Πίνακας 10.4: Πληθυσμιακά αποτελέσματα του EDX

Για τα ποσοστά ζήτησης P_j θεωρούμε τις τιμές του Πίνακα 10.3.

Πριν παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα του Excel θα κάνουμε ένα σχόλιο. Στην τοποθεσία του Δ.Μ.ΟΤΕ που έχουμε δύο σταθμούς βάσης, θέτουμε το συνολικό αριθμό εγγεγραμμένων χρηστών N , που επιτρέπει η εταιρεία που προμηθεύει το υλικό, ίσο με $2 \times 128 = 256$. Το εύρος ζώνης προφανώς δεν διπλασιάζεται, αλλά παραμένει 3.5MHz, όσο δηλαδή είναι το εύρος ζώνης καθενός από τους δύο σταθμούς βάσης που έχουμε τοποθετήσει στο Δ.Μ.ΟΤΕ.

Τώρα, λοιπόν, παρουσιάζουμε παρακάτω τα αποτελέσματα που μάς έδωσε το Excel:

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ Δ.Μ.Ο.ΤΕ

		Μέγιστος επιτρεπόμενος από την εταιρεία αριθμός συνδρομητών N:																	
		256																	
		Υ.πρ. Α	Υ.πρ. Β	Υ.πρ. Γ	Υ.πρ. Δ	Υ.πρ. Ε	Υ.πρ. ΣΤ	Υ.πρ. Ζ	Υ.πρ. Η										
Αποσπόμενος bit rate Wj (Mbps):		1.280	0.896	2.048	2.048	2.048	0.064	0.384	2.048										
Ποσοστό ζήτησης Fj (%) :		40	50	25	5	15	35	15	5										
Contention ratio (I/CRj):		25	25	10	3	3	1	3	1										
Μax πλήθος Nj υποστηρίξιμων συνδρομητών:		102	128	64	12	38	89	38	12										
		Υ.πρ.σύν. Α			Υ.πρ.σύν. Β			Υ.πρ.σύν. Γ			Υ.πρ.σύν. Δ			Υ.πρ.σύν. Ε					
Διεπίρραση	Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης Qi (%)	Max Συνολικό Bit Rate Ri (Mbps)	Max λαμβάνονται ως πληθυσμιακή κάλυψης	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Max λαμβάνονται ως πληθυσμιακή κάλυψης	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Max λαμβάνονται ως πληθυσμιακή κάλυψης	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Max λαμβάνονται ως πληθυσμιακή κάλυψης	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Max λαμβάνονται ως πληθυσμιακή κάλυψης	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων	Κατανομή ή Kij μέγιστου πληθυσμιακού Nj υποστηρίξιμων		
			Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi	Fi		
64-QAM 3/4	4.39	10.0	175	102	22	4	256	128	25	5	40	40	17	2	12	12	3	0	
64-QAM 2/3	3.4	8.9	150	102	22	3	225	128	25	4	40	40	17	2	12	12	3	0	
16-QAM 3/4	19.25	6.7	125	102	22	19	175	128	25	24	30	30	12	12	9	9	2	2	
16-QAM 1/2	8.58	4.4	75	75	16	8	100	100	20	10	20	20	8	5	6	6	1	1	
QPSK 3/4	22.61	3.3	50	50	11	23	75	75	15	28	10	10	4	10	3	3	0	2	
QPSK 1/2	17.28	2.2	25	25	5	17	50	50	10	22	10	10	4	10	3	3	0	2	
BPSSK 1/2	24.48	1.1	0	0	0	0	25	25	5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	

Διαμόρφωση	Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης (%)	Max Συνολικό Bit Rate (Mbps)	Υπηρεσία E			Υπηρεσία ΣΤ			Υπηρεσία Z			Υπηρεσία H					
			Κατανομή ή Kij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Mij	Κατανομή ή Kij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Mij	Κατανομή ή Kij	Max αριθμός χρηστών Sij	Κατανομή ή Mij	Κατανομή ή Kij	Max αριθμός χρηστών Sij				
64-QAM 3/4	4.39	10.0	12	12	10	12	89	18	3	78	38	7	1	4	4	3	0
64-QAM 2/3	3.4	8.9	12	12	10	139	89	18	3	69	38	7	1	4	4	3	0
16-QAM 3/4	19.25	6.7	9	9	7	104	89	18	17	51	38	7	7	3	3	2	2
16-QAM 1/2	8.58	4.4	6	6	5	68	68	13	7	33	33	6	3	2	2	1	1
QPSK 3/4	22.61	3.3	3	3	2	51	51	10	20	24	24	4	8	1	1	0	1
QPSK 1/2	17.28	2.2	3	3	2	34	34	6	15	15	15	2	6	1	1	0	1
BPSK 1/2	24.48	1.1	0	0	0	17	17	3	17	6	6	1	6	0	0	0	0

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΝΥΜΑ

Μέγιστος επιτρεπόμενος από την εταιρεία αριθμός συνδρομητών N:																									
		128																							
		Υ.πρ. Α	Υ.πρ. Β	Υ.πρ. Γ	Υ.πρ. Δ	Υ.πρ. Ε	Υ.πρ. ΣΤ	Υ.πρ. Ζ	Υ.πρ. Η																
Αποκατάμενο bit rate W_i (Mbps):		1.280	0.896	2.048	2.048	2.048	0.064	0.384	2.048																
Ποσοστό ζήτησης P_i (%):		40	50	25	5	15	35	15	5																
Contention ratio (1/ CR_i):		25	25	10	3	3	1	3	1																
Μακ. πλήθος N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών:		51	64	32	6	19	44	19	6																
		Υπηρεσία Α						Υπηρεσία Β						Υπηρεσία Γ						Υπηρεσία Δ					
Διαμόρφωση	Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης Q_i (%)	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών	Max δυναμική πληθ. ως εξυπηρετούμενων χρηστών					
		Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης	Κατανομή ή M_{ij} μέγιστου πληθ. N _i υποστηρίξιμων συνδρομητών ως προς το ποσοστό αντίστοιχο S _{ij} της ζώνης				
64-QAM 3/4	14.69	128	51	7	7	128	64	9	9	100	32	5	4	30	6	0	0	0	0	0					
64-QAM 2/3	6.62	128	51	7	3	128	64	9	4	80	32	5	2	24	6	0	0	0	0	0					
16-QAM 3/4	34.54	128	51	7	17	128	64	9	22	60	32	5	11	18	6	0	0	0	2	2					
16-QAM 1/2	8.97	128	51	7	4	128	64	9	5	40	32	5	2	12	6	0	0	0	0	0					
QPSK 3/4	17.93	125	51	7	9	128	64	9	11	30	30	5	5	9	6	0	0	0	1	1					
QPSK 1/2	6.91	75	51	7	3	125	64	9	4	20	20	3	2	6	6	0	0	0	0	0					
BPSK 1/2	10.33	25	25	3	5	50	50	7	6	10	10	1	3	3	3	0	0	0	0	0					

Διεμπόρευση	Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης (%)	Max Συνολικό Bit Rate (Mbps)	Υπηρεσία Ε			Υπηρεσία ΣΤ			Υπηρεσία Ζ			Υπηρεσία Η				
			Max αριθμός χρηστών	Max αριθμός υπηρεσιών	Κατανομή ή Mij ή Kij	Max αριθμός χρηστών	Max αριθμός υπηρεσιών	Κατανομή ή Mij ή Kij	Max αριθμός χρηστών	Max αριθμός υπηρεσιών	Κατανομή ή Mij ή Kij	Max αριθμός χρηστών	Max αριθμός υπηρεσιών	Κατανομή ή Mij ή Kij		
64-QAM 3/4	14.69	20.5	30	19	4	4	2	2	128	19	2	2	10	6	1	0
64-QAM 2/3	6.62	18.2	24	19	4	4	1	2	128	19	2	1	8	6	1	0
16-QAM 3/4	34.54	13.6	18	18	3	3	6	15	105	19	2	6	6	6	1	2
16-QAM 1/2	8.97	9.1	12	12	2	2	1	3	69	19	2	1	4	4	0	0
QPSK 3/4	17.93	6.8	9	9	1	1	3	7	51	19	2	3	3	3	0	1
QPSK 1/2	6.91	4.5	6	6	1	1	1	3	33	19	2	1	2	2	0	0
BPSK 1/2	10.33	2.2	3	3	0	0	1	4	15	15	2	1	1	1	0	0

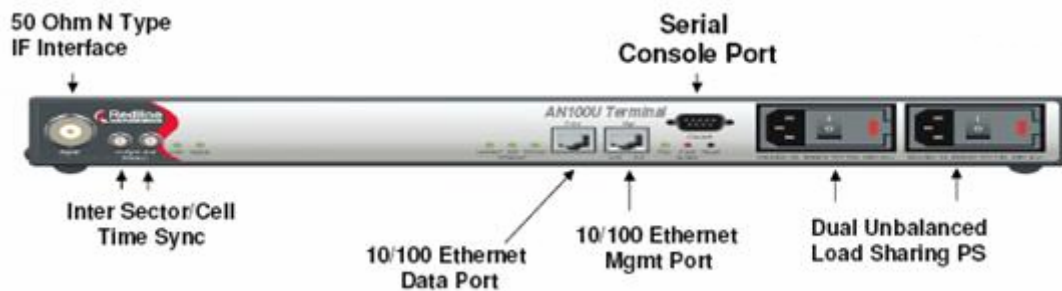
Διαμόρφωση	Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης (%)	Max Συνολικό Bit Rate (Mbps)	Υπηρεσία Ε		Υπηρεσία ΣΤ		Υπηρεσία Ζ		Υπηρεσία Η		Κατανομή ή Mij							
			Max αριθμού χρηστών	Κατανομή ή Kij	Max αριθμού χρηστών	Κατανομή ή Kij	Max αριθμού χρηστών	Κατανομή ή Kij	Max αριθμού χρηστών	Κατανομή ή Kij								
64-QAM 3/4	14.69	20.5	30	19	4	2	128	44	6	6	128	19	2	2	10	6	1	0
64-QAM 2/3	6.62	18.2	24	19	4	1	128	44	6	2	128	19	2	1	8	6	1	0
16-QAM 3/4	34.54	13.6	18	18	3	6	128	44	6	15	105	19	2	6	6	6	1	2
16-QAM 1/2	8.97	9.1	12	12	2	1	128	44	6	3	69	19	2	1	4	4	0	0
QPSK 3/4	17.93	6.8	9	9	1	3	106	44	6	7	51	19	2	3	3	3	0	1
QPSK 1/2	6.91	4.5	6	6	1	1	70	44	6	3	33	19	2	1	2	2	0	0
BPSK 1/2	10.33	2.2	3	3	0	1	34	34	5	4	15	15	2	1	1	1	0	0

Για τις άλλες δύο τοποθεσίες (Υμηττός, Πάρνηθα), όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 9, δεν μπορούμε να λάβουμε δημογραφικά στοιχεία μέσω του EDX. Οπότε δεν μπορούμε να εξαγάγουμε τα πρακτικά αποτελέσματα από το Excel.

11

Στοιχεία υλοποίησης δικτύου-Τοπολογίες

Ξεκινώντας από το site του σταθμού βάσης αναφέρουμε ότι απαιτείται τοποθέτηση κεραίας GPS και σύνδεσή της με το σταθμό βάσης προκειμένου να υπάρχει συγχρονισμός όλου του WiMAX δικτύου μέσω του ομοιόμορφου χρονισμού που θα διατίθεται από τους δορυφόρους. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η αντικεραυνική θωράκιση του κεραιοσυστήματος. Η κεραία WiMAX συνδέεται μέσω RF καλωδίου με το ODU (:Outdoor Unit), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση του σήματος. Συνήθως τοποθετείται κάτω από την κεραία. Το ODU συνδέεται με το BS μέσω IF καλωδίου. Η IF συχνότητα του WiMAX είναι 70 MHz. Η χρήση της ενδιάμεσης συχνότητας είναι απαραίτητη προκειμένου να υπάρξει τυποποίηση των συστημάτων BS των διαφόρων εταιρειών, αλλά και ελαχιστοποίηση των απωλειών ενσύρματης μετάδοσης σε σχέση με την αντίστοιχη μετάδοση του RF σήματος. Ακολουθεί ενδεικτική εικόνα ενός σταθμού βάσης.



(Πηγή: [1])

Εικόνα 11.1: Εενδεικτική απεικόνιση Σταθμού Βάσης (BS) WiMAX

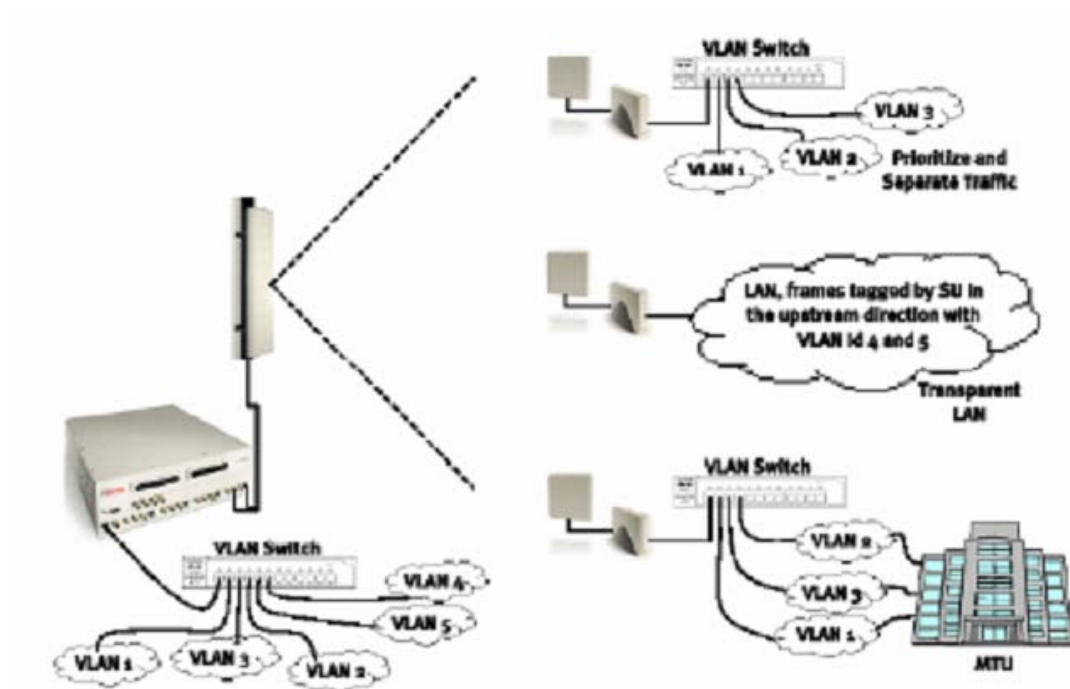
Ο σταθμός βάσης μπορεί να υποστηρίξει ξεχωριστή κίνηση προς το διασυνδεδεμένο ενσύρματο δίκτυο των δεδομένων πληροφορίας και των δεδομένων διαχείρισης μέσω δύο ξεχωριστών UTP καλωδίων.

Οι σταθμοί βάσης WiMAX θα προσφέρουν IP υπηρεσίες. Συνεπώς, απαιτείται η διασύνδεσή τους με το IP core δίκτυο του Ο.Τ.Ε. Ως IP core ορίζεται η διασύνδεση γεωγραφικών διεσπαρμένων σημείων παρουσίας (POP, Points of Presence) και τοπικών δικτύων διαμέσου ενός δημόσιου IP δικτύου. Η διασύνδεση αυτή προσφέρεται με χαρακτηριστικά ασφάλειας & ποιότητας ίδια με αυτά ενός κλειστού ιδιωτικού δικτύου (VPN). Η άμεση σύνδεση με το IP core αποτελεί προϊόν χονδρικής και απευθύνεται σε παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου (ISPs) αλλά και σε αδειοδοτημένους από την Ε.Ε.Τ.Τ. εναλλακτικούς τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. Βασίζεται στην τεχνολογία του Metro Ethernet, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η διάφανη αντιμετώπιση των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιεί ο πελάτης, αφού στην ουσία παρέχεται ένα Layer 2 VPN, ενώ η μεταγωγή των πακέτων γίνεται με τη βοήθεια του MPLS που είναι εγκατεστημένο στο δίκτυο. Η χρήση του IP core, δηλαδή η διασύνδεση των τοπικών σημείων του πελάτη στα διαφορετικά σημεία παρουσίας (sites) του, μέσω του δημόσιου και πλήρως διαχειριζόμενου, IP δικτύου κορμού του Ο.Τ.Ε., διευκολύνει στην υλοποίηση και λειτουργία μέρους ή ολόκληρου του δικτύου του [2]. Η υπηρεσία αφορά στη μεταφορά κίνησης IP μεγάλων ταχυτήτων μεταξύ πόλεων στις οποίες βρίσκονται οι κόμβοι κορμού του δικτύου IP του ΟΤΕ, όπως:

- Αθήνα (Κωλέττη, NYMA)
- Θεσσαλονίκη (Ερμού)

- Πάτρα (Σκαγιοπούλειο)
- Ηράκλειο (Αριάδνη)

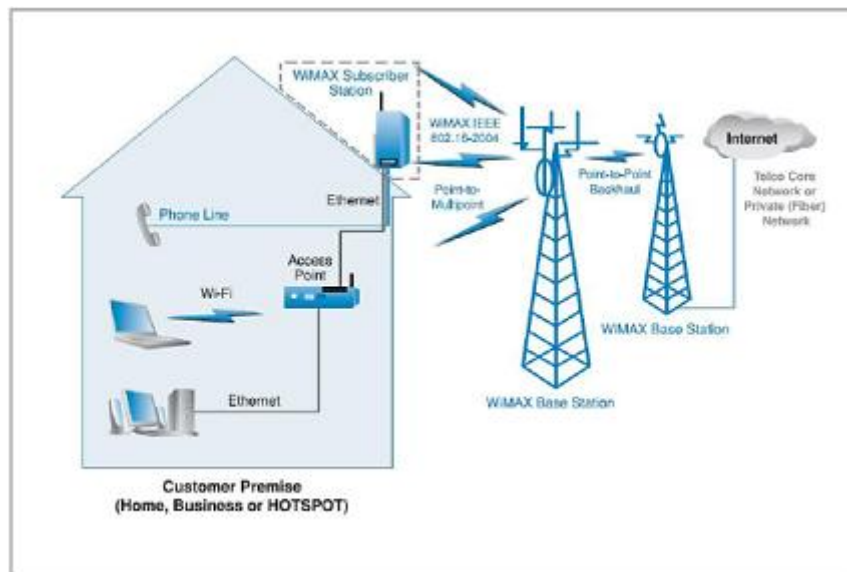
Όπως αναφέραμε, τα δεδομένα στην πόρτα εξόδου ενός BS είναι σε επίπεδο Ethernet. Για το λόγο αυτό το UTP καλώδιο που ξεκινά από την πόρτα εξόδου του συνδέεται σε έναν router. Έτσι, τα δεδομένα της κίνησης του WiMAX από το router και μετά είναι σε πακέτα επιπέδου IP. Ο router στη συνέχεια συνδέεται σε ένα POP (Point of Presence) του IP core. Στην περίπτωση τοποθέτησης σταθμού βάσης πρόσβασης και σταθμού βάσης διασύνδεσης στο ίδιο site τοποθετείται κοινός router. Σε περίπτωση που επιθυμούμε υποστήριξη υπηρεσίας VLAN στην περιοχή που καλύπτει η κεραία πρόσβασης τοποθετούμε ανάμεσα στο σταθμό βάσης και στο POP σημείο του IP core ένα VLAN aware Switch. Η ακόλουθη εικόνα αποτυπώνει σενάριο υλοποίησης VLAN δικτύων μέσω WiMAX. Υπενθυμίζουμε ότι η κίνηση από το VLAN aware switch μέχρι το POP είναι σε επίπεδο 2.



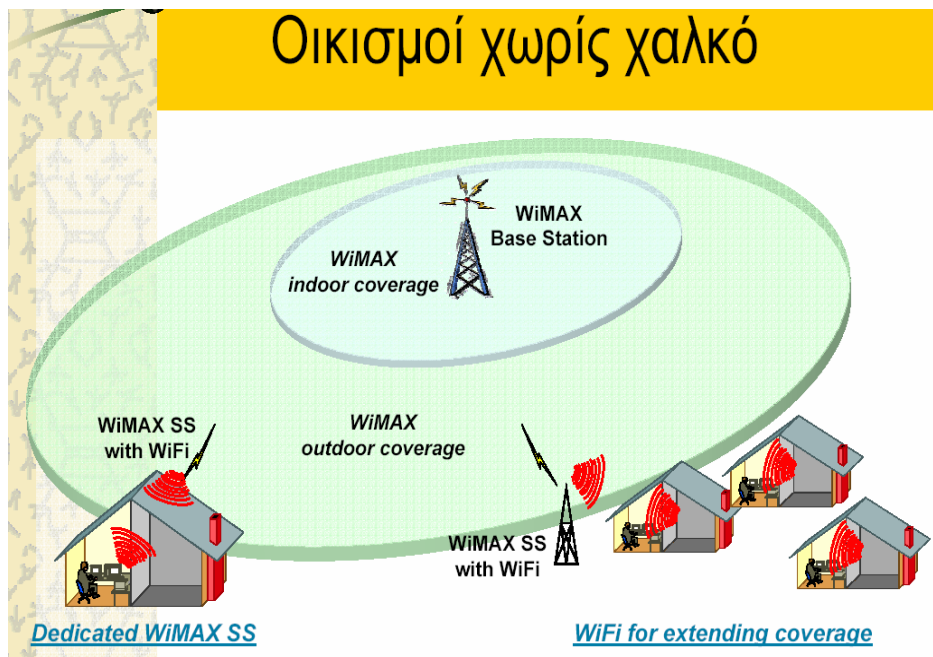
(Πηγή: [3])

Εικόνα 11.2: Ενδεικτική υλοποίηση VLANs μέσω WiMAX δικτύου.

Ακολουθούν ενδεικτικά πιθανές τοπολογίες του δικτύου WiMAX.



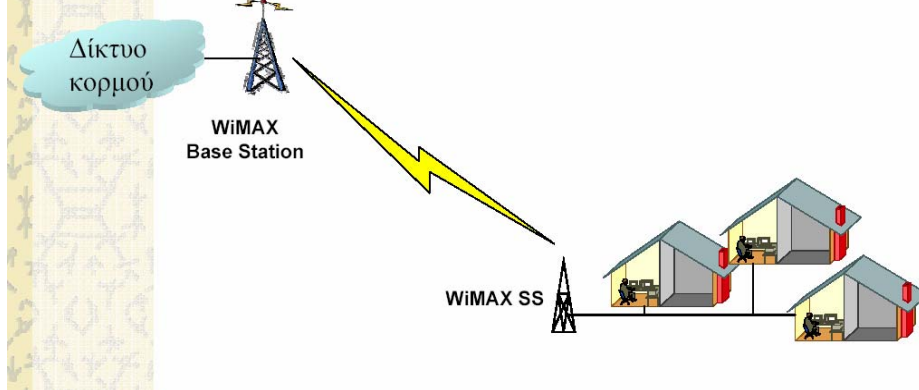
Εικόνα 11.3: Απλή τοπολογία πρόσβασης



(Πηγή: [4])

Εικόνα 11.4: Τοπολογία δικτύου WiMAX για οικιακούς χρήστες

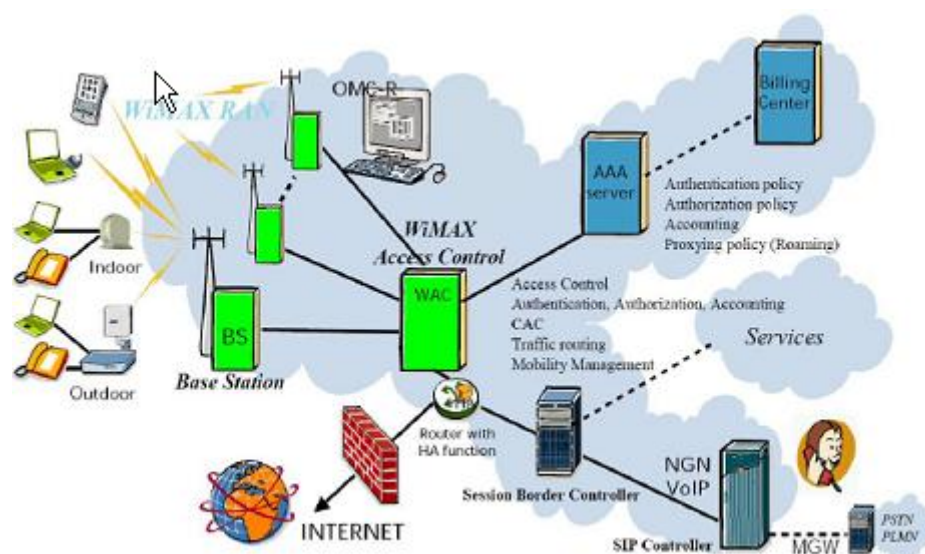
Οικισμοί χωρίς χαλκό στον κορμό



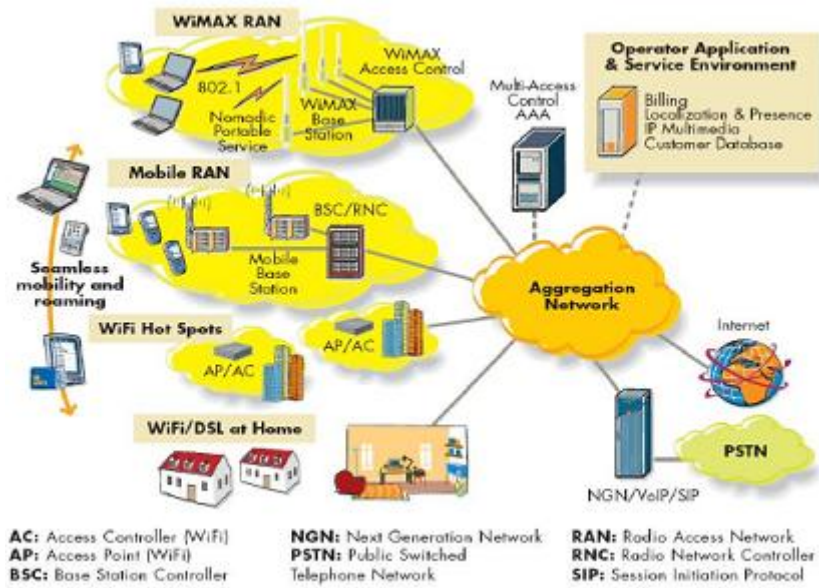
(Πηγή: [4])

Εικόνα 11.5: Τοπολογία δικτύου WiMAX για οικιακούς χρήστες

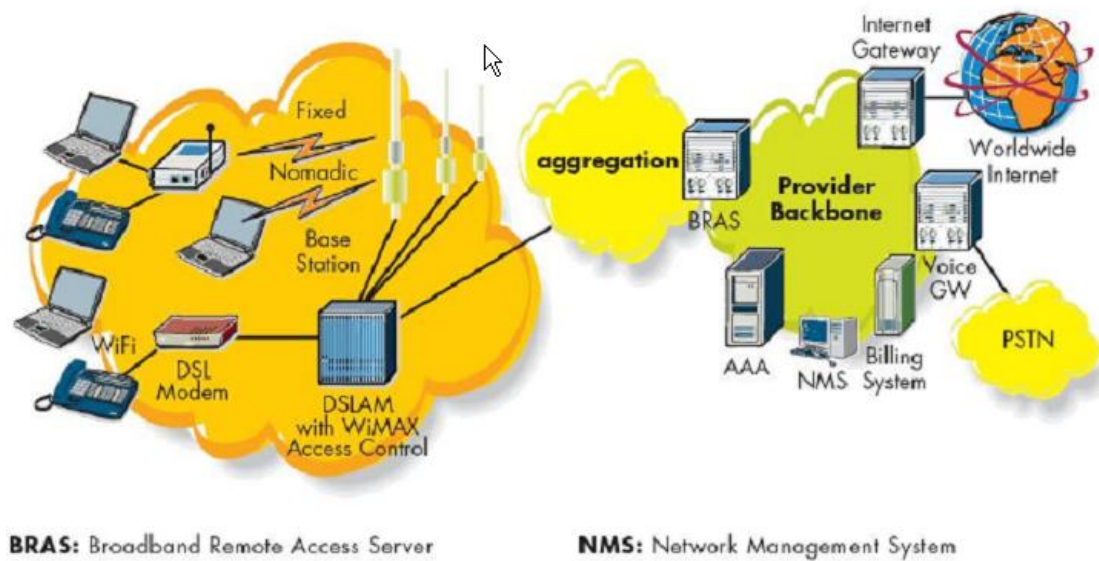
Μέσω του IP core οι σταθμοί βάσης συνδέονται με την εταιρεία παροχής υπηρεσιών WiMAX. Στην εταιρεία παροχής υπηρεσιών υπάρχει ο AAA server για τις λειτουργίες: Authentication policy, Authorization Policy, Accounting, IP Multimedia server, application servers, billing server. Ακολουθούν σχετικές εικόνες περιγραφής δικτύου WiMAX.



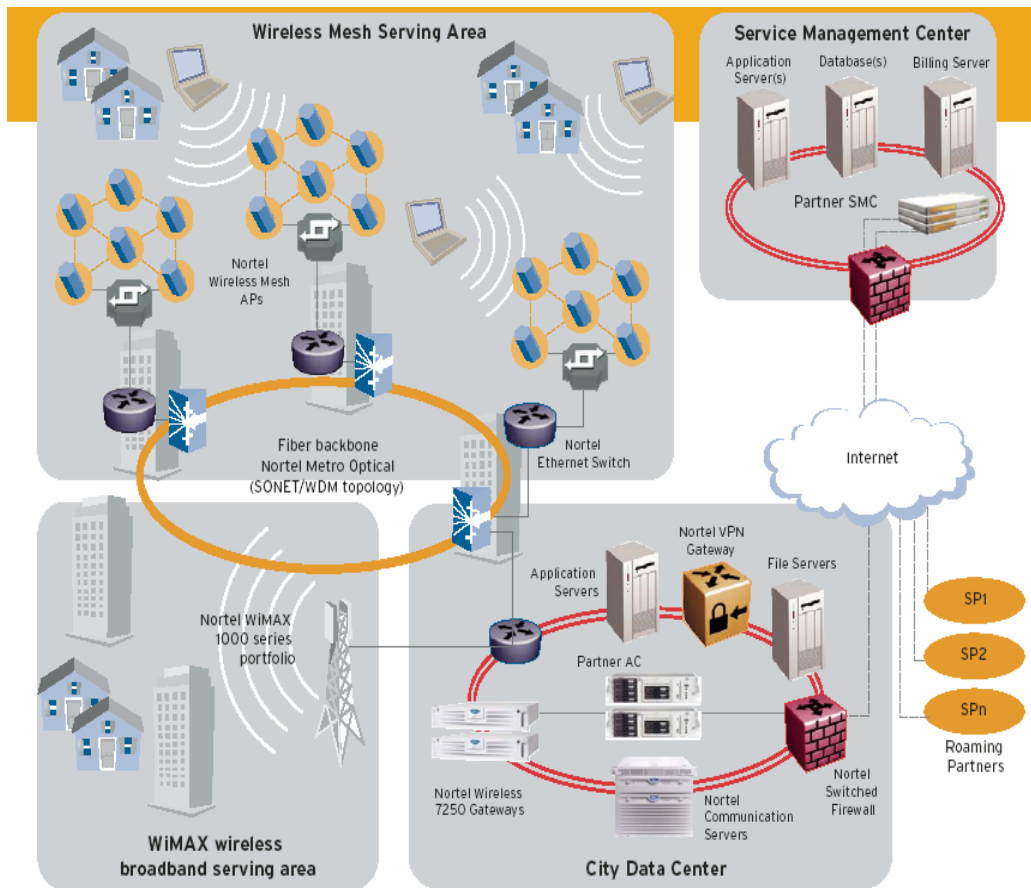
Εικόνα 11.6: Ενδεικτική αρχιτεκτονική WiMAX.



Εικόνα 11.7: Ενσωμάτωση WiMAX στο υπάρχον δίκτυο τηλεπικοινωνιακού παρόχου

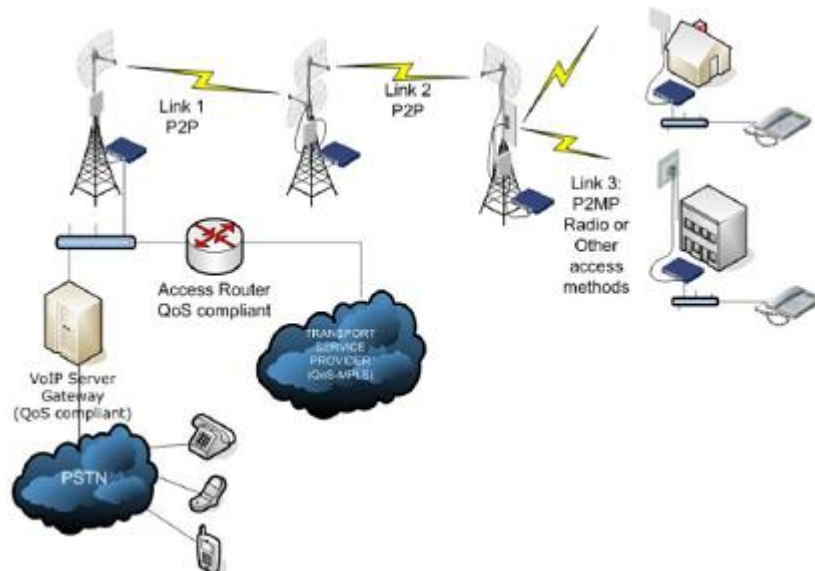


Εικόνα 11.8: Συνδυάζοντας DSL και WiMAX

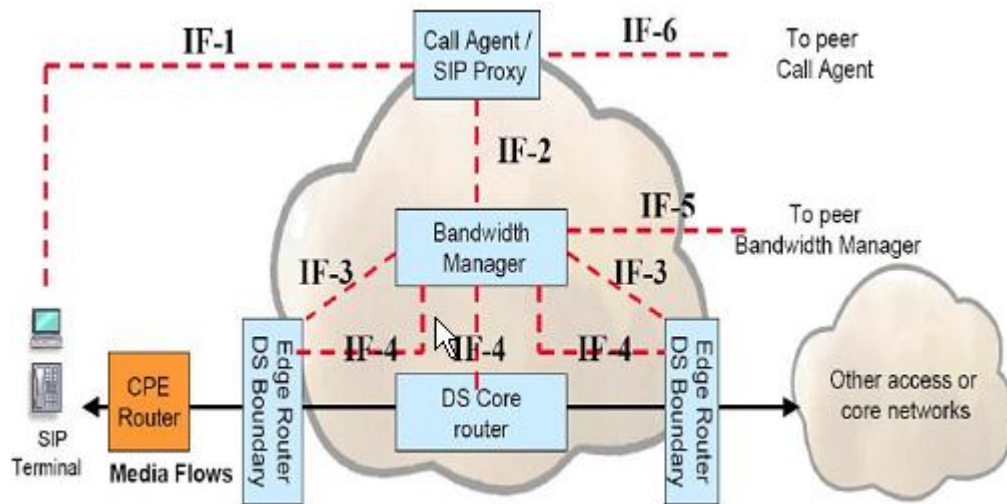


(Πηγή: [4])

Εικόνα 11.9: Ενδεικτική τοπολογία δικτύου WiMAX σε μητροπολιτικό περιβάλλον

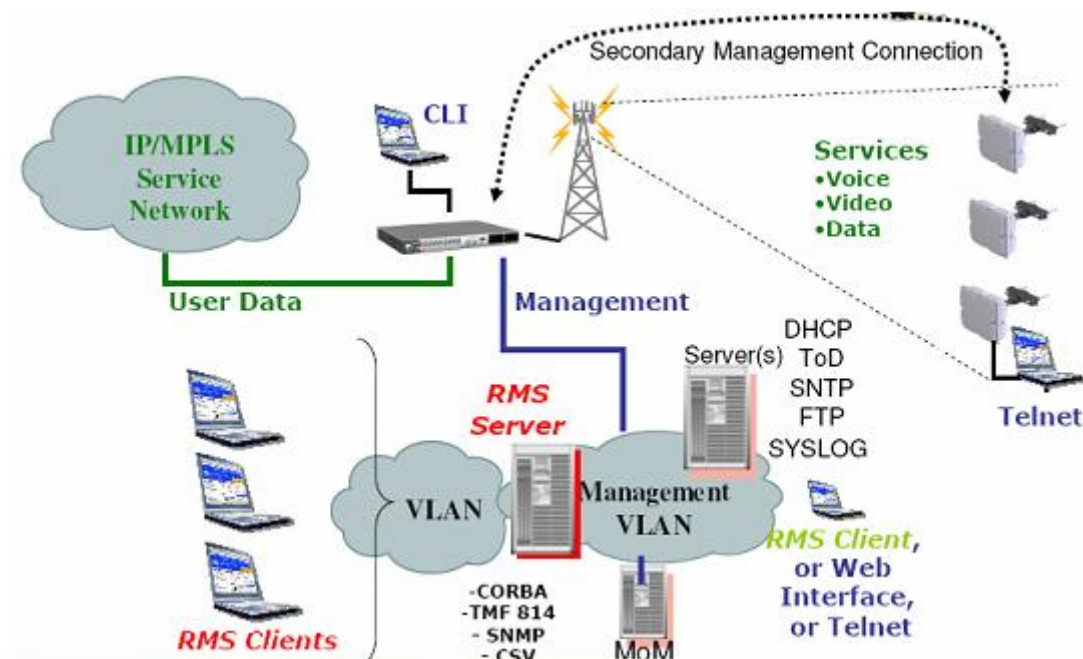


Εικόνα 11.10: Μεταφορά υπηρεσίας VoIP σε ασύρματα δίκτυα Ευρείας Περιοχής



Εικόνα 11.11: Αρχιτεκτονική VoIP με QoS

Η διαχείριση του WiMAX δικτύου γίνεται μέσω του NMS (Network Management System) - στην παρακάτω εικόνα αναφέρεται ως RMS. Η διαχείριση γίνεται μέσω δεσμευμένου VLAN για το σκοπό αυτό (Management VLAN).



(Πηγή : [1])

Εικόνα 11.12: Ενδεικτική αρχιτεκτονική διαχείρισης δικτύου WiMAX

12

Συμπεράσματα

12.1 Σύνοψη

Μέσα από τα κεφάλαια του Α Μέρους αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά-καινοτομίες της τεχνολογίας WiMAX δίνοντας έμφαση στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS) που μπορεί να προσφερθεί εγγυημένα στον τελικό χρήστη. Επίσης, «φωτίσαμε» παράπλευρα πεδία, απαραίτητα για την ολοκληρωμένη προσέγγιση του θέματος και για την ομαλότερη μετάβαση στο Β Μέρος της εργασίας, όπου παρουσιάζεται η σχεδίαση WiMAX συστημάτων.

Ιδιαίτερη αξία για το Α Μέρος έχει το τέταρτο κεφάλαιο, στο οποίο συμπυκνώσαμε τις κυριότερες αναφορές και δημοσιεύσεις σχετικά με μετρήσεις πεδίου που έχουν πραγματοποιηθεί στη ζώνη των 3.5 GHz κατά τη λειτουργία WiMAX συστημάτων στο εξωτερικό. Παρουσιάσαμε για τις περιπτώσεις αυτές την εφαρμογή των υφιστάμενων μοντέλων διάδοσης, αλλά και προσφάτως εισαχθέντων, στην προσομοίωση ραδιοκάλυψης WiMAX συστημάτων και παραθέσαμε τη σύγκριση με μετρούμενες τιμές στην πραγματικότητα. Η διαπίστωσή μας στο συγκεκριμένο πεδίο ήταν ότι μέχρι σήμερα, παρά το γεγονός ότι η μελέτη των

εμπειρικών μοντέλων διάδοσης είναι εξαντλητική για τις κινητές τηλεπικοινωνίες, η καταλληλότητα-αξιοπιστία τους για συστήματα σταθερής ασύρματης πρόσβασης, όπως είναι το WiMAX, μένει να επιβεβαιωθεί.

Στο Β μέρος αποτυπώσαμε με συστηματικό τρόπο τη διαδικασία σχεδιασμού WiMAX δικτύων πρόσβασης και διασύνδεσης, γεγονός ιδιαίτερα χρήσιμο για νέους μηχανικούς στο χώρο των τηλεπικοινωνιών και μηχανικούς που θέλουν να ασχοληθούν με τη σχεδίαση WiMAX συστημάτων στα πρώτα βήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην Ελλάδα.

Ακολουθώντας συγκεκριμένη μεθοδολογία καταγράψαμε τα σημεία ενδιαφέροντος για την αρχική διαδικασία συλλογής των δεδομένων (site survey), που πραγματοποιείται στους υποψήφιους χώρους εγκατάστασης των κεραιοσυστημάτων. Τυποποιώντας τη διαδικασία, ελαχιστοποιήσαμε την πιθανότητα παραλείψεων στη συλλογή των αναγκαίων στοιχείων για τη διαδικασία της προσομοίωσης αλλά και υλοποίησης του δικτύου στη συνέχεια.

Επεξηγήσαμε βήμα-βήμα τη διαδικασία προσομοίωσης ραδιοκάλυψης με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, που αποτελεί την αμέσως επόμενη διαδικασία σχεδιασμού. Αποτέλεσμα ήταν η εκτίμηση της θεωρητικής ραδιοκάλυψης από τους τέσσερις σταθμούς βάσης που επιλέξαμε για την κάλυψη του λεκανοπεδίου της Αττικής. Με βάση το αποτέλεσμα αυτό προχωρήσαμε σε εξαγωγή δημογραφικών δεδομένων για την πληθυσμιακή κατανομή στις περιοχές ραδιοκάλυψης, όπου αυτό ήταν δυνατό.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα αναλύσαμε τη δυνατότητα παροχής διαφόρων υπηρεσιών στις περιοχές ραδιοκάλυψης, αξιοποιώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του WiMAX ως προς τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας που μπορούν να προσφερθούν στους τελικούς χρήστες. Κατασκευάσαμε ένα χρήσιμο εργαλείο για τον υπολογισμό των άνω ορίων του πλήθους χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από τους σταθμούς βάσης συναρτήσει των παρεχόμενων υπηρεσιών και του είδους διαμόρφωσης του σήματος που επιτυγχάνεται ανάλογα με τη στάθμη λήψης. Επίσης, θεωρήσαμε συγκεκριμένα στοιχεία από υποτιθέμενη έρευνα αγοράς σχετικά με τη ζήτηση ανά υπηρεσία. Ορίσαμε δύο αλγόριθμους υπολογισμού των ορίων του πλήθους συνδρομητών που μπορεί να εγγράψει ανά υπηρεσία και ανά ζώνη διαμόρφωσης μια εταιρεία παροχής υπηρεσιών. Ο πρώτος αλγόριθμος έχει σχέση με τη ζήτηση, ενώ ο δεύτερος στηρίζεται στα δημογραφικά δεδομένα των

ζωνών διαμόρφωσης. Και οι δύο αλγόριθμοι λαμβάνουν υπ' όψιν τα όρια αντοχής του σταθμού βάσης.

Τέλος, αναφέραμε στοιχεία από τη διαδικασία σύνδεσης σταθμών βάσης με το IP core δίκτυο για την παροχή IP υπηρεσιών.

12.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Για τη ζώνη των 3.5 GHz απαιτείται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να βρεθούν κατάλληλα μοντέλα διάδοσης που θα έχουν αξιόπιστα αποτελέσματα στο σχεδιασμό Ευρυζωνικών Δικτύων Σταθερής Ασύρματης Πρόσβασης (BFWA). Στην κατεύθυνση αυτή θα μπορούσε να συμβάλει σειρά μετρήσεων π.χ. στο λεκανοπέδιο της Αττικής, ώστε να διαπιστωθούν οι διορθωτικές παρεμβάσεις που απαιτούνται στα ήδη υπάρχοντα μοντέλα διάδοσης, που παρουσιάστηκαν διεξοδικά στο τέταρτο κεφάλαιο, προκειμένου να αντιπροσωπεύουν πιο πιστά το περιβάλλον διάδοσης στη χώρας μας.

Επίσης, για την αξιολόγηση των πρώτων δικτύων WiMAX που θα υλοποιηθούν είναι ανάγκη να πραγματοποιηθούν μετρήσεις ραδιοκάλυψης και ποιότητας της ραδιοεπαφής (RX level, BER) καθώς και μετρήσεις χαρακτηριστικών παραμέτρων QoS (π.χ. latency, jitter) του δικτύου (PER, Internet Services). Ιδιαίτερης αξίας κρίνεται η εξαγωγή στοιχείων σχετικά με την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας IP τηλεφωνίας (VoIP) μέσω δικτύου WiMAX προκειμένου να αξιολογηθεί η δυνατότητα αντικατάστασης της παρεχόμενης σταθερής τηλεφωνίας σε ιδιαίτερα δύσβατες περιοχές της χώρας -που σήμερα γίνεται με παλαιάς τεχνολογίας ασύρματα μέσα - με IP τηλεφωνία μέσω WiMAX δικτύων.

ΠΗΓΕΣ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Κεφάλαιο 1

- [1] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006
- [2] <http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>

Κεφάλαιο 2

- [1] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006
- [2] <http://www.techteam.gr/wiki/WiMAX>
- [3] <http://ru6.cti.gr/broadband/el/wimax.php>
- [4] http://www.commsdesign.com/design_corner/showArticle.jhtml?articleID=12802064
- [5] http://searchmobilecomputing.techtarget.com/sDefinition/0,,sid40_gci1003191,00.html
- [6] IEEE 802.16 and WiMAX - Broadband Wireless Access for Everyone, Intel Corporation, White Paper, 2003
- [7] <http://broadband.cti.gr/el/wimax.php>
- [8] Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions/ WiMAX and WiFi solutions, Intel Corporation whitepaper, June 2004
- [9] www.wikipedia.org
- [10] Mobile WiMAX-Part 1: Overview and Performance Evaluation, WiMAX Forum, March 2006
- [11] The WiMAX Forum Certified Program for Fixed WiMAX, WiMAX Forum, May 2006

Κεφάλαιο 3

- [1] Sam W. Ho, Adaptive Modulation (QPSK, QAM), Intel Communications Group
- [2] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications, Artech House, 2003
- [3] Dusan Matiae, OFDM as a possible modulation technique for multimedia applications in the range of mm waves, 30 Oct.1998
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing
- [5] Eugene Crozier (System Architect, SR Telecom), Allan Klein (VP System and Technology, SR Telecom), WiMAX’s technology for LOS and NLOS environments, WIMAX forum.
- [6] Charal Langton, Intuitive Guide to Principles of Communications, Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Tutorial, <http://www.complextoreal.com/chapters/ofdm2.pdf>
- [7] *Mobile WiMAX-Part 1: Overview and Performance Evaluation*, WiMAX Forum, March 2006
- [8] Νέστορας Αλέξανδρος, “WiMAX και διασυνεργασία με το UMTS”, Πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Λάρισας, Λάρισα 2006
- [9] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006

- [10] Deploying License-Exempt WiMAX solutions, Intel Corporation whitepaper, May 2005
- [11] www.wikipedia.org
- [12] Μπέλλος Χρήστος, “Εξυπνες κεραιές σε συνδυασμό με OFDM”, Διπλωματική ΕΜΠ, Αθήνα, Οκτ.2006

Κεφάλαιο 4

- [1] Walid Y. Ali-Ahmad, Hasna, Dabbous, Yammout, Atwi, “Propagation Model Development and Radio Planning for Future WiMAX Systems”, Deployment in Beirut
- [2] Κωνσταντίνου Φίλιππος, “Κινητές Τηλεπικοινωνίες – Μοντέλα Ραδιοκάλυψης”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, ΕΜΠ, Αθήνα, Δεκ. 2001
- [3] Κωνσταντίνου Φίλιππος, Κανάτας Αθανάσιος, “Συστήματα Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών”, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, ΕΜΠ
- [4] Abhayawardhana et. al, “Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Fixed Wireless Access Systems”, University of Cambridge, 2003
- [5] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006
- [6] Στεφάνου Κωνσταντίνος, “Σχεδίαση και Προσομοίωση Συστήματος WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλ. 2006
- [7] V.Erceg et. al, “Channel Models for Fixed Wireless Applications”
- [8] Alden J. Doyle, Kyungtae Han, Suvid Nadkarni, Kalpana Seshadrinathan, Raghuvver Simha, Ian C. Wong, “Performance Evaluation of the IEEE 802.16a Physical Layer using Simulation”
- [9] Dean Kitchener, Mark Naden, Wen Tong, Peiying Zhu, Gamini Senarnath, Hang Zhang, David Steer, Derek Yu, “Multihop ART-to-ART Path Loss Model”, Document Number: IEEE C802.16j-07/137, Date Submitted: 2007-01-08
- [10] Branka Jakovljevic “Analysis of Propagation Models and their Application in WiMAX Systems”
- [11] Minseok Jeong, Bomson Lee, “Comparison between Path-Loss Prediction Models for Wireless Telecommunication System Design”
- [12] Athanasiadou, Wassell, Hong, “Deterministic Propagation Modelling and Measurements for the Broadband Fixed Wireless Access Channel”

Κεφάλαιο 5

- [1] Παπαγεωργίου Ν. Βάσος, “Μελέτη τεχνικών QoS σε δίκτυα IPv6”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Πάτρα, Ιούλιος 2004
- [2] Μαρκάκη Ουρανία, Χαρίλας Δημήτρης, “ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΥΨΗΛΟΤΕΡΗ QoS ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ 4^{HS} ΓΕΝΙΑΣ”, Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλιος 2006
- [3] Βενιέρης Στ. Ιάκωβος, Νικολούζου Ευγενία, “Τεχνολογίες Διαδικτύου”, 2^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα
- [4] James F. Kurose, Keith W. Ross, “Δικτύωση Υπολογιστών”, εκδόσεις Γκιούρδας
- [5] Παπαχαραλάμπους Αναστάσιος, “Μελέτη υποστήριξης υπηρεσιών Quality of Service σε IPv6 δίκτυα”, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Πάτρα 2005
- [6] www.wikipedia.org
- [7] Provisioning of a DiffServ-based priority service Αφροδίτη Σεβαστή ΕΑ Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών (ΕΑΙΤΥ) και Γμήμα Μηχ. Η/Υ και Πληροφορικής Πανεπιστήμιο Πατρών

- [8] <http://www.grnet.gr/>, E.Δ.Ε.Τ.
- [9] Koliass Christos, “Flow-Based Networking”, AIT Seminar, November 29, 2004
- [10] Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., “Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών”, 6^η έκδοση
- [11] “Virtual Local Area Network (VLAN) Operation Mode of PacketWave”, white paper of Aperto Networks, January 2004
- [12] <http://www.ucdavis.edu>
- [13] “IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks” (IEEE Std 802.1Q-1998), Sponsor: LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, Approved 8 December 1998 IEEE-SA Standards Board
- [14] Niclas Ek, “IEEE 802.1 P,Q - QoS on the MAC level”, Department of Electrical Engineering, Helsinki University of Technology, 24.4.1999

Κεφάλαιο 6

- [1] “Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, WiMAX FORUM, August 2006
- [2] Ashish Sharma, “WiMAX and its Applications”, CDOT New Delhi, Dec 8, 2005, WiMAX Forum
- [3] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006
- [4] http://www.lightreading.com/document.asp?doc_id=98869
- [5] Bashir Hayat, Raheel Mansoor Abdul Nasir, “802.16 2001 MAC Layer QoS”
- [6] Tanenbaum S. Andrew, “Δίκτυα Υπολογιστών”, 4^η αμερικανική έκδοση, εκδόσεις Κλειδάριθμος
- [7] Στεφάνου Κωνσταντίνος, “Σχεδίαση και Προσομοίωση Συστήματος WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Ιούλ. 2006
- [8] Aarne Hummelholm, “Wimax MAC – Upperlayer Services”, S-72.4210 Postgraduate Seminar on Wideband RadioCommunications, Communications Laboratory 28.3.2006
- [9] Karim M. El Defrawy, “WiMAX for Broadband Wireless Access”, 9-16-05, ICS, UCI-2005
- [10] Νέστορας Αλέξανδρος, “WiMAX και διασυνεργασία με το UMTS”, Πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Λάρισας, Λάρισα 2006
- [11] Ιάκωβος Στ. Βενιέρης, “Δίκτυα Ευρείας Ζώνης”, 2^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα
- [12] “Κείμενο δημόσιας διαβούλευσης για τα τοπικά ασύρματα δίκτυα WLAN”, EETT, 5 Αυγ. 2004
- [13] Michael F. Finneran, “WiMAX versus Wi-Fi, A Comparison of Technologies, Markets and Business Plans”, dBrn Associates, Inc., June 1, 2004
- [14] “Understanding WiFi and WiMAX as Metro-Access Solutions”, Intel, white paper
- [15] “WiMAX”, Shashi Jakku

Κεφάλαιο 7

- [1] <http://www.redlinecommunications.com/>

Κεφάλαιο 9

[1] www.edx.com

Κεφάλαιο 10

[1] <http://www.redlinecommunications.com/>

Κεφάλαιο 11

[1] <http://www.redlinecommunications.com/>

[2] http://www.otewholesale.gr/ip-core_gr.htm

[3] <http://www.apertonet.com>

[4] Alda Saini, Siemens solution for WiMAX Broadband Access Technology, Athens, May 2005

ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΠΗΓΕΣ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. WiMAX Forum (www.wimaxforum.org) - WiMAX Forum Whitepapers, περιεχόμενα ιστοσελίδων WiMAX Forum και παραπομπές (links)
2. Περιεχόμενα ιστοσελίδων, Whitepapers και Positionpapers Εταιρειών από δικτυακούς τόπους Μελών του WiMAX Forum (Νοέμβριος 2006)
3. www.wimax.org
4. www.80216news.com
5. WiMAX World Conference & Exposition:, www.wimaxworld.com
6. “The Advantages of TDD over FDD in Wireless Data Applications”, Raze Technologies, http://www.razetechnologies.com/text_only/TDDvsFDD.htm
7. Intel White Paper, “IEEE 802.16 and WiMAX, Broadband Wireless Access for Everyone”
8. Kim Tran, “WiMAX– Market, technology and early solutions for the physical layer”, Agilent Technologies
9. Intel Paper, “Adaptive Modulation (QPSK, QAM)”
10. Alcatel Technology White Paper, D. Renaudeau, D. Boettle, H. Steyaert, “WiMAX: From Fixed Wireless Access to Internet in the Pocket”
11. WiMAX Forum WhitePaper, “Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks”, November 2005, Prepared by Senza Fili Consulting on behalf of the WIMAX Forum
12. WiMAX Forum WhitePaper, “Can WiMAX Address Your Applications?”, October 24, 2005, Prepared by Westech Communications Inc. on behalf of the WiMAXForum
13. WiMAX Forum WhitePaper, “WiMAX Forum Certification of Broadband Wireless Systems”, 2005, Prepared by Redline Communications on behalf of the

WiMAX Forum

14. Codium Networks, “Implementing VoIP in a Radio-Based Wide Area Network”
15. “COMPETITIVE POTENTIAL OF WIMAX IN THE BROADBAND ACCESS MARKET: A TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS”, *Timo Smura*, Helsinki University of Technology, Networking Laboratory
16. Intel Whitepaper, “Deploying License-Exempt WiMAX Solutions”
17. Intel Corp., “IEEE 802.16 and WiMAX: Broadband Wireless Access for Everyone”, 2003., http://www.intel.com/ebusiness/pdf/wireless/intel/80216_wimax.pdf
18. WiMAX Forum, “WiMAX’s Technical Advantage for Coverage in LOS and NLOS Conditions”, Aug 2004.
<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>
19. WiMax Forum Whitepaper, “WiMAX Deployment Considerations for Fixed Wireless Access in the 2.5 GHz and 3.5 GHz Licensed Bands”, June 2005
20. IST-1999-11571 EMBRACE, D8, “TDD versus FDD access schemes”
21. “Initial Performance Evaluation and Analysis of the global OFDM Metropolitan Area Network Standard IEEE 802.16a / ETSI HiperMAN”, Christian Hoymann, Markus Püttner, Ingo Forkel, RWTH Aachen University, Chair of Communication Networks, Aachen, Germany
22. Position Paper, Proxim Wireless, “Advantages of Time Division Duplex (TDD) for Broadband Wireless in Last-Mile Applications”, 2006
23. WiMAX Technical Working Group presentation, January 20th 2004, Gordon Antonello WiMAX Board Member and Chair <11GHz TWG Technical Advisor, Wi-LAN Inc., Hassan Yaghoobi Secretary <11GHz TWG Technical Marketing Manager, Intel BWA Division, Aditya Agrawal Board Member, WiMAX Vice-President Sr. Marketing Manager, Fujitsu Microelectronics America, January 20th, 2004
24. Goldman Sachs, Europe Telecom Services, “WiMAX & family: threats and opportunities”, September 7, 2004
25. Huawei Technologies, www.huawei.com, “WiMAX Deployment Strategy for Fixed Network Operator”
26. Intel Whitepaper, “Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions”, 2004
27. WiMaxForum Whitepaper, “Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation”, June 2006
28. WiMaxForum Whitepaper, “Mobile WiMAX – Part II: Mobile WiMAX – Part II: A Comparative Analysis”, May 2006
29. WiMaxForum Whitepaper, “Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary”, Prepared by Doug Gray, July 2006
30. WiMaxForum Whitepaper, “Plugfest, 24 September – 1 October 2006”, Bechtel Labs, USA
31. WiMaxForum Whitepaper, “Mobile WiMAX: The Best Personal Broadband Experience!”, June 2006
32. Fixed Wireless Access Multiple Access Methods”, Martin Lysejko, Airspan Networks
33. “Tutorial on TDD Systems”, FCC Office of Engineering and Technology, Monday, December 3, 2001, “Part 1: Overview of Duplex Schemes”, Remi Chayer, Chairman, TDD Coalition, <http://www.tddcoalition.org>
34. Intel Paper 2004, “Orthogonal Frequency Division Multiplexing”
35. Cisco Systems 2000, “Basics of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)”, Greg DesBrisay, Cisco Systems, Inc., Consulting Systems Engineer Wireless

36. Alcatel 2005, www.alcatel.com, “WiMAX 802.16e”, Cristian Smaia, WiMAX Product Manager
37. “Output of the 802.16 AAS Ad Hoc, IEEE 802.16 Presentation Submission Template (Rev. 8), Document Number:IEEE S802.16a-02/39”, Date Submitted: 2002-03-12.], Source: Randall Schwartz, Phil Kelly Voice: 408- 869-8700, BeamReach Networks
38. “Introduction to WiBro Technology”, September 10, 2004, Soon Youn Yoon, Telecom R&D Center, Samsung Electronics Co, Ltd
39. “Telephony’s Complete Guide to WiMAX, The Business Case For Service Provider Deployment”, May 31, 2004
40. Motorola 2005, www.motorola.com, “The Promise of WiMAX, Paul Sargeant, Senior Manager, Alternative Access Networks”
41. www.alvarion.com, “Standards versus Proprietary Solutions - The Case for WiMAX Industry Standards”, April 25, 2005
42. Unstrung Insider, Vol3, No7, July 2004, “WiMAX: Going the distance. An Analysis of vendor strategies and the market potential of wireless MAN’s”, April 25, 2005
43. WiMAX Forum, “REGULATORY POSITION AND GOALS OF THE WIMAX FORUM”, Version August 09, 2004
44. Alcatel, MVD Telcom 2006, WiMAX, “Enabling a world of broadband wireless opportunities”, Ing.Armando Ragusci
45. WiMax Forum Whitepaper, “WIMAX, AN EFFICIENT TOOL TO BRIDGE THE DIGITAL DIVIDE”, November, 2005, Prepared by Guy Cayla, Stephane Cohen and Didier Guigon, on behalf of WiMAX Forum
46. WiMax Forum Whitepaper, “WiMAX’s technology for LOS and NLOS environments”
47. WiMax Forum Whitepaper, “Business Case Models for Fixed Broadband Wireless Access based on WiMAX Technology and the 802.16 Standard”, October 10, 2004
48. www.zte.com.cn
49. www.ebusinessforum.gr
50. Πρακτικά και Παρουσίαση Ημερίδας Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου: «WiMAX: Ευκαιρία για την Ελλάδα;», Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 23 Μαΐου 2005
51. Πρακτικά και Παρουσίαση Ημερίδας στο ΕΒΕΑ από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας & ΕΜΗΕΤ-ΟΤΕ: «Σύγχρονες τάσεις στις τηλεπικοινωνίες και τεχνολογίες αιχμής», Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 10 Ιανουαρίου 2006
52. BT, “End to End Qos for Voice Services in NGNs”, Ian Jenkins, Chief Voice Technologist, BT Group CTO
53. www.msforum.org, “Multiservice Switching Forum, MSF Technical Report, MSF-TR-ARCH-001- FINAL, Next-Generation VoIP Network Architecture”, Paul Drew MetaSwitch, Chris Gallon Fujitsu, March, 2003
54. www.msforum.org, Multiservice Switching Forum, MSF Technical Report MSF-TR QoS-001-FINAL, “Quality of Service for Next Generation Voice Over IP Networks”, Chris Gallon, Fujitsu, February, 2003
55. www.ieee.org
56. www.ieee802.org/16/
57. www.ieee802.org/11/
58. <http://www.ieee.org/web/standards/home/index.html>
59. IEEE 802.16 Standards
60. www.etsi.org
61. ETSI HIPERMAN Standards
62. Thomas, Willis, Craig, Ryan, Taplin, Allen, Hurley, Radiowave Propagation Models for Improved Performance and Use of Spectrum.
63. Eugene Crozier (System Architect, SR Telecom); Allan Klein (VP System and

Technology, SR Telecom), WiMAX's technology for LOS and NLOS environments, WIMAX forum.

64. "Can WiMAX Address Your Applications?", October 24, 2005, Prepared by Westech Communications Inc. on behalf of the WiMAX Forum, WiMAX Forum
65. ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ, "ΔΙΚΤΥΑ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ", ΠΑΝΕΠΙΣΤ/ΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΠΑΤΡΑ 2005
66. "WiFi and WiMAX Networks", Κατσίδου Μαρία, Θεσ/νίκη, Δεκ. 2005

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Θεωρητικές (αριστερά) και πρακτικές (δεξιά) τιμές της ακτίνα. ραδιοκάλυψης στο WiMAX.....	24
Εικόνα 2.2: Κυματομορφή OFDM.....	25
Εικόνα 2.3: Προσαρμοστική διαμόρφωση και ακτίνα κάλυψης στο WiMAX.....	26
Εικόνα 2.4: Η εξέλιξη των προτύπων μέχρι το 2004.....	28
Εικόνα 2.5: Διάδοση οπτικής επαφής (LOS) και 1 ^η ζώνη Fresnel.....	29
Εικόνα 2.6: Διάδοση μη οπτικής επαφής (NLOS).....	30
Εικόνα 2.7: Τοπολογία πρόσβασης WiMAX.....	31
Εικόνα 2.8: Δυνατότητες χρήσης WiMAX.....	32
Εικόνα 2.9: Σύγκριση TDD και FDD.....	34
Εικόνα 2.10: Σύγκριση των προτύπων 802.16-2004 και 802.16e.....	36
Εικόνα 2.11: Τα σενάρια χρήσης του Mobile WiMAX.....	38
Εικόνα 2.12: Το λογότυπο του WiMAX Forum.....	39
Εικόνα 3.1: Binary Phase Shift Keying (BPSK)	42
Εικόνα 3.2: Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)	42
Εικόνα 3.3: Διάγραμμα αστερισμού για 16-QAM.....	43
Εικόνα 3.4: Διάγραμμα αστερισμού 64-QAM.....	44
Εικόνα 3.5: Προσαρμοστική διαμόρφωση.....	45
Εικόνα 3.6: Σήματα που λαμβάνει ο δέκτης από κανάλι επιλεκτικής εξασθένισης ως προς τη συχνότητα, στις περιπτώσεις μετάδοσης μονού φέροντος και πολλαπλών φερόντων.....	48
Εικόνα 3.7: Σύγκριση του διατιθέμενου εύρους ζώνης στις δύο πολυπλεξίες FDM και OFDM.....	48
Εικόνα 3.8: Εξυπηρέτηση πολλών χρηστών με OFDM.....	49
Εικόνα 3.9: Παράδειγμα OFDM φάσματος. (α) ένα υπο-φέρον, (β) πέντε υπο-φέροντα.....	50
Εικόνα 3.10: Δομή πλαισίου OFDM με κυκλικό πρόθεμα.....	51
Εικόνα 3.11: Φασματική περιγραφή OFDM.....	52
Εικόνα 3.12: OFDMA.....	53
Εικόνα 3.13: Εξυπηρέτηση πολλών χρηστών με OFDMA.....	54
Εικόνα 3.14: Scalable OFDMA.....	54
Εικόνα 3.15: Η τεχνική FDD.....	55
Εικόνα 3.16: Η τεχνική TDD.....	56
Εικόνα 3.17: Ευέλικτη κατανομή χρονικής διάρκειας Downlink και Uplink κατά την TDD.....	58
Εικόνα 3.18: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας switched beams.....	61
Εικόνα 3.19: Τρεις σταθεροί λοβοί ακτινοβολίας για κάλυψη τομέα εύρους 120°.....	62
Εικόνα 3.20: Κεραία phased array.....	63
Εικόνα 3.21: Κεραία adaptive array.....	64
Εικόνα 3.22: Λειτουργία κεραίας adaptive array όταν υπάρχει και παρεμβάλλον χρήστης.....	65
Εικόνα 4.1: Κατοπτρική ανάκλαση σε διδιάστατη	

γεωμετρία.....	69
Εικόνα 4.2: Περιτεθλασμένο κύμα με χρήση του Wedge μοντέλου.....	69
Εικόνα 4.3: Ανάκλαση και σκέδαση σε τραχεία επιφάνεια.....	70
Εικόνα 4.4: 1 ^η Ζώνη Fresnel.....	71
Εικόνα 4.5: Καθαρότητα 1 ^{ης} ζώνης Fresnel.....	71
Εικόνα 4.6: LOS διάδοση.....	75
Εικόνα 4.7: NLOS διάδοση σε αγροτική περιβάλλον.....	75
Εικόνα 4.8: NLOS διάδοση σε αστικό περιβάλλον.....	75
Εικόνα 4.9: Εξάρτηση της ισχύος του σήματος με την απόσταση και τη συχνότητα.....	76
Εικόνα 4.10: Ανάκλαση σήματος.....	78
Εικόνα 4.11: Περιθλώμενη ακτίνα.....	80
Εικόνα 4.12: Παγκόσμιος χάρτης αδειών συστημάτων ασύρματης πρόσβασης.....	82
Εικόνα 4.13: Παρασταστική απεικόνιση των παραμέτρων του COST 321 W-I μοντέλου.....	90
Εικόνα 4.14: Συνολική άποψη του μοντέλου δέκα ακτίνων.....	93
Εικόνα 4.15: Σύγκριση των εμπειρικών μοντέλων με τις μετρήσεις από ένα τυπικό αγροτικό περιβάλλον.....	99
Εικόνα 4.16: Σύγκριση των εμπειρικών μοντέλων με τις μετρήσεις από ένα τυπικό ημιαστικό περιβάλλον.....	100
Εικόνα 4.17: Σύγκριση των εμπειρικών μοντέλων με τις μετρήσεις από ένα τυπικό αστικό περιβάλλον.....	101
Εικόνα 5.1: Καθυστερήση, jitter και απώλεια πακέτων σε μεταγωγή πακέτων.....	107
Εικόνα 5.2: Στοίβα πρωτοκόλλων τερματικού Διαδικτύου.....	118
Εικόνα 5.3: Ενεργοποίηση υπηρεσίας με RSVP.....	120
Εικόνα 5.4: Λειτουργικό μοντέλο κόμβου IntServ.....	122
Εικόνα 5.5: Πεδίο Διαφοροποιημένων Υπηρεσιών (DS field)	126
Εικόνα 5.6: Η λειτουργία της αστυνόμευσης	137
Εικόνα 5.7: Οι βασικοί μηχανισμοί της DiffServ αρχιτεκτονικής.....	137
Εικόνα 5.8: Διαφοροποίηση εξυπηρέτησης.....	138
Εικόνα 5.9: Παράδειγμα εφαρμογής της λειτουργίας VLAN δικτύων σε επιχειρησιακό περιβάλλον.....	146
Εικόνα 5.10: Σχέση του προτύπου 802.1 με τα υπόλοιπα πρότυπα της σειράς 802.....	150
Εικόνα 6.1: Κλάσεις εφαρμογών του WiMAX.....	155
Εικόνα 6.2: Διαστρωμάτωση επιπέδου MAC.....	162
Εικόνα 6.3: Αντιστοίχιση MAC SDU σε CS PDU	163
Εικόνα 6.4: Δυναμική ροή υπηρεσίας.....	166
Εικόνα 6.5: Θεωρία λειτουργίας του μοντέλου αντικειμένου.....	167
Εικόνα 6.6: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο SS.....	168
Εικόνα 6.7: Ροή μηνύματος DSA που εκκινεί ο BS.....	168
Εικόνα 6.8: Προδιατιθέμενο μοντέλο εξουσιοδότησης.....	169
Εικόνα 6.9: Δυναμικό μοντέλο αυθεντικοποίησης.....	170
Εικόνα 6.10: Υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας στο Mobile WiMAX.....	171
Εικόνα 6.11: WiMAX διασύνδεση για Wi-Fi τοπολογία πλέγματος (mesh topology).....	181
Εικόνα 8.1: Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στο Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.	203
Εικόνα 8.2: Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στην Πάρνηθα.....	206
Εικόνα 8.3 : Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στον Υμηττό.....	209
Εικόνα 8.4: Γεωγραφική θέση Σ. Β. WiMAX στο NYMA.....	212
Εικόνα 9.1: Εκτιμώμενη Θεωρητική Ραδιοκάλυψη σταθμού Βάσης WiMAX Δ.Μ.Ο.Τ.Ε.....	228
Εικόνα 9.2: Εκτιμώμενη θεωρητική Ραδιοκάλυψη σταθμού Βάσης WiMAX στο	

NYMA.....	232
Εικόνα 9.3: Εκτιμώμενη Θεωρητική Ραδιοκάλυψη στο σταθμού Βάσης WiMAX ΥΜΗΤΤΟΥ Α/Τ.....	235
Εικόνα 9.4: Εκτιμώμενη Θεωρητική Ραδιοκάλυψη τμήμα του σταθμού Βάσης WiMAX ΠΑΡΝΗΘΑΣ.....	237
Εικόνα 9.5: Συνολική εκτιμώμενη θεωρητική Ραδιοκάλυψη στο λεκανοπέδιο Αττικής από τους Σταθμούς Βάσης WiMAX (ΔΜΟΤΕ, NYMA, Α/Τ ΥΜΗΤΤΟΥ, Α/Τ ΠΑΡΝΗΘΑΣ)	237
Εικόνα 9.6: Εκτιμώμενη ραδιοζεύξη NYMA - Α/Τ ΟΤΕ.....	244
Εικόνα 9.7: Εκτιμώμενη ραδιοζεύξη ΔΜΟΤΕ - Α/Τ Πάρνηθας.....	246
Εικόνα 10.1: Θεωρητικά ποσοστά κάλυψης της κάθε διαμόρφωσης επί της συνολικής περιοχής κάλυψης της κεραίας σε αγροτική περιοχή για NLOS διάδοση	
Εικόνα 11.1: Ενδεικτική απεικόνιση Σταθμού Βάσης (BS)WiMAX.....	270
Εικόνα 11.2: Ενδεικτική υλοποίηση VLANs μέσω WiMAX δικτύου.....	271
Εικόνα 11.3: Απλή τοπολογία πρόσβασης.....	272
Εικόνα 11.4: Τοπολογία δικτύου WiMAX για οικιακούς χρήστες.....	272
Εικόνα 11.5: Τοπολογία δικτύου WiMAX για οικιακούς χρήστες.....	273
Εικόνα 11.6: Ενδεικτική αρχιτεκτονική WiMAX.....	273
Εικόνα 11.7: Ενσωμάτωση WiMAX στο υπάρχον δίκτυο τηλεπικοινωνιακού παρόχου.....	274
Εικόνα 11.8: Συνδυάζοντας DSL και WiMAX.....	274
Εικόνα 11.9: Ενδεικτική τοπολογία δικτύου WiMAX σε μητροπολιτικό περιβάλλον..	275
Εικόνα 11.10: Μεταφορά υπηρεσίας VoIP σε ασύρματα δίκτυα Ευρείας Περιοχής..	275
Εικόνα 11.11: Αρχιτεκτονική VoIP με QoS.....	276
Εικόνα 11.12: Ενδεικτική αρχιτεκτονική διαχείρισης δικτύου WiMAX.....	276

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Κατηγοριοποίηση περιοχών.....	96
Πίνακας 4.2: Προϋποθέσεις-περιορισμοί για αποδοτική εφαρμογή των μοντέλων.....	97
Πίνακας 4.3: Στατιστική λαθών μοντέλου προβλέψεων συγκρινόμενο με παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για αγροτικό περιβάλλον.....	99
Πίνακας 4.4: Στατιστική λαθών μοντέλου προβλέψεων συγκρινόμενο με παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για αγροτικό περιβάλλον.....	100
Πίνακας 4.5: Στατιστική λαθών μοντέλου προβλέψεων συγκρινόμενο με παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων για αγροτικό περιβάλλον.....	101
Πίνακας 4.6: Εκθέτες απωλειών διαδρομής.....	102
Πίνακας 5.1: Κατηγορίες εφαρμογών και απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας.....	108
Πίνακας 5.2: Απαιτήσεις διαφόρων υπηρεσιών.....	128
Πίνακας 5.3: Οι δώδεκα κωδικοποιήσεις DSCP.....	130
Πίνακας 5.4: BestEffort και Less than Best Effort (LBE).....	143
Πίνακας 5.5: Προτεραιότητα χρήση ανά είδος τηλεπικοινωνιακής κίνησης.....	151
Πίνακας 6.1: Εφαρμογές ανά κλάση και απαιτούμενο εύρος ζώνης.....	156
Πίνακας 6.2: Αντιστοιχία κλάσεων εφαρμογών και κλάσεων ποιότητας υπηρεσίας.....	157
Πίνακας 6.3: Κλάσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που υποστηρίζονται στο 802.16e (Mobile WiMAX)	157
Πίνακας 6.4: Συγκετρωτική παρουσίαση τύπου υπηρεσιών.....	161
Πίνακας 6.5: Περιγραφή των προτύπων της οικογένειας 802.11.....	176
Πίνακας 6.6: Βασικά χαρακτηριστικά των προτύπων 802.11a,b και g.....	178
Πίνακας 6.7: Σύγκριση σταθερού WiMAX και WiFi.....	183
Πίνακας 9.1: Ενδεικτικά όρια ευαισθησίας κεραιών σταθμού βάσης και συνδρομητή ανά συνδυασμό διαμόρφωσης-κωδικοποίησης και εύρους ραδιοδιαύλου.....	221
Πίνακας 9.2: Δημογραφικά δεδομένα ανά ζώνη διαμόρφωσης για την περιοχή κάλυψης από τους σταθμούς βάσης στο Δ.Μ.ΟΤΕ.....	231
Πίνακας 9.3: Δημογραφικά δεδομένα ανά ζώνη διαμόρφωσης για την περιοχή κάλυψης από τους σταθμούς βάσης στο ΝΥΜΑ.....	233
Πίνακας 10.1: Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για κάθε διαμόρφωση ανάλογα και με το εύρος ζώνης καναλιού.....	249
Πίνακας 10.2: Εκτίμηση των θεωρητικών ποσοστών πληθυσμιακής κάλυψης κάθε ζώνης διαμόρφωσης σε αστική περιοχή.....	254
Πίνακας 10.3: Εκτίμηση των αποτελεσμάτων έρευνας αγοράς για τα ποσοστά ζήτησης κάθε υπηρεσίας επί του συνολικού πληθυσμού.....	255
Πίνακας 10.4: Πληθυσμιακά αποτελέσματα του EDX.....	261

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

2D	Two-dimensional
2G	2nd Generation
3D	Three-dimensional
3G	3rd Generation
AAA	Authentication, Authorization, Accounting,
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
AES-CCM	Advanced Encryption Std-Counter with Cipher-block chaining Message authentication code
AF	Assured Forwarding
AGL	Above Ground Level
AP	Access Point
ARQ	Automatic Repeat reQuest
ASK	Amplitude Shift Keying
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Applications Working Group
BB	Bandwidth Broker
BE	Best-Effort Service
BER	Bit Error Ratio
BFWA	Broadband Fixed Wireless Access
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
CBQ	Class Based Queuing
CCK	Complementary Code Keying
CDMA	Code Division Multiple Access
CID	Connection Identifier
CMAC	Cipher-based Message Authentication Code
CP	Cyclic Prefix
CQICH	Channel Quality Indicator sub-Channel
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance
CPE	Customer Premises Equipment
DCF	Distributed Control Function
DdoS	Distributed denial of Service
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ	Differentiated Services Framework
DL	DownLink22
DoA	Direction of Arrival
DoS	Denial of Service
DS	Differentiated Services
DSA	Dynamic Service Activate

DSA-ACK	Dynamic Service Activate-Acknowledgement
DSA-REQ	Dynamic Service Activate-Request
DSA-RSP	Dynamic Service Activate-Response
DSC	Dynamic Service Change
DSCP	DiffServ Code Point
DSD	Dynamic Service Delete
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EAP	Extensible Authentication Protocol
ΕΓΣΑ87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
ECC	Electronic Communication Committee
EDCA	Enhanced Distributed Control Access
E.Δ.E.T.	Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας
E.E.T.T	Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων
EF	Expedited Forwarding
EIRP	Equivalent Isotropically radiated power
ErtPS	Enhanced real-time Polling Service
ETSI	European Telecommunication and Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FFT	Fast Fourier Transform
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FIFO	First In First Out
FSK	Frequency Shift Keying
FSL	Free Space Loss
FTP	File Transfer Protocol
FWA	Fixed Wireless Access
FWB	Fixed Wireless Broadband
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System ²
GSM	GSM Global System for Mobile communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
HIPERMAN	High Performance Radio MAN
HMAC	Hash Message Authentication Code
ICI	Inter-Carrier-Interference
ID	Identifier
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IF	Intermediate Frequency
IMS	IP Multimedia System
IntServ	Integrated Services Architecture
IntServ	Integrated Services Architecture
IP	Internet Protocol

IPTV	Internet Protocol TeleVision
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunications Union
ITU-R	International Radiocommunications Union
LAN	Local Area Network
LOS	Line Of Sight
LS	Least Squares
MAC	Medium Access Control
MAC-CP	MAC - Common Part
MAC-CS	MAC - Convergence Sublayer
MAC-PS	MAC - Privacy Sublayer
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple-In-Multiple-Out
MIMO-SCM	Multiple Input Multiple Output-Single Carrier Modulation
MMDS	Multipoint Microwave Distribution System
MPLS	MultiProtocol Label Switching
NLOS	Non Line of Sight
NMS	Network Management System
nrtPS	Non-Real-Time Polling Services
ODU	OutDoor Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PDU	Protocol Data Unit
PER	Packet Error Ratio
PHB	Per-Hop Behavior
PHY	PHYSical Layer
PKM	Privacy Key Management
PMP	Point-to-MultiPoint
POP	Point of Presence
PQ	strict Priority Queuing
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTM	Point-to-Multipoint
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quatradure PSK
RF	Radio Frequency
RFC	Request for Comments

RMD	Reflection plus Multiple Diffraction loss
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTG	Receive Transition Gap
rtPS	Real-Time Polling Services
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDUs	Service Data Units
SFID	Service Flow ID
SINR	Signal to Noise and Interference Ratio
SIR	Signal to Interference Ratio
SLA	Service Level Agreement
SNR	Signal to Noise Ratio
SOFDMA	Scalable OFDMA
SS	Subscriber Station
SUI	Stanford University Interim
SU-O	Subscriber's Unit-Outdoor
TC	Traffic Control
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
ToS	Type of Service
TTA	Telecommunications Technology Association
TTG	Transmit Transition Gap
UDP	User Datagram Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UHF	Ultra High Frequency
UL	UpLink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTP	UnTwisted Pair
VLAN	Virtual Local Area Network
VLL	Virtual Leased Line
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
WEP	Wired Equivalent Privacy
WFQ	Weighted Fair Queuing
WGS84	World Geodetic System dating from 1984
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Wireless Interoperability for Microwave Access
WISP	Wireless Internet Service Provider
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WME	WiFi Multimedia Extensions
WRR	Weighted Round Robin

WSM
WSM

WiFi Scheduled Multimedia
WiFi Scheduled Multimedia