



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
& ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΜΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ & ΔΙΚΤΥΑ

Σχεδίαση Δικτύων WiMAX σε πόλεις της Ελλάδας με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Όνοματεπώνυμο: **Μπουρδένα Αθηνά**

Επιβλέπων: **Αναπληρωτής Καθηγητής Κανάτας Αθανάσιος**

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2009

ΓΑΛΕΡΙΟ ΤΗΜΟ ΠΕΡΑΙΑ

Στην Οικογένειά μου,
με ιδιαίτερη εκτίμηση και αγάπη

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	3
Πίνακας Σχημάτων.....	6
Ευχαριστίες	10
1. Εισαγωγή	11
1.1. Γενική Περιγραφή και Στόχοι.....	11
1.2. Δομή	11
2. Το Πρότυπο IEEE 802.16 (WiMAX).....	13
2.1. Οικογένεια Προτύπων IEEE 802.16	13
2.1.1. Γενικά.....	13
2.1.2. Πρότυπο Αναφοράς	16
2.1.3. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 a.....	18
2.1.4. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 b.....	18
2.1.5. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 c.....	19
2.1.6. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 d.....	19
2.1.7. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 e.....	19
2.1.8. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 – 2004 (Fixed WiMAX)	19
2.1.9. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 – 2004 (Mobile WiMAX).....	22
2.2. Αρχιτεκτονική Δικτύου	25
2.3. Τεχνολογίες Συστημάτων WiMAX.....	27
2.4. Ζώνες Συχνοτήτων WiMAX	29
Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 2 ^ο	30
3. Χαρακτηριστικά της Τεχνολογίας WiMAX	31
3.1. Τα Επίπεδα του WiMAX.....	31
3.2. Το Φυσικό Επίπεδο του WiMAX.....	31
3.2.1. Ανάλυση της OFDM Διαμόρφωσης.....	32
3.2.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της OFDM Διαμόρφωσης.....	35
3.2.3. Παράμετροι της OFDM Διαμόρφωσης	37
3.2.3.1. Δομή Πλαισίων (Frames) και Σχισμών (Slots) του OFDM.....	38

3.2.4. Παράμετροι της OFDM Διαμόρφωσης στο WiMAX.....	41
3.2.5. Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση στο WiMAX.....	44
3.2.6. Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων	46
3.2.7. FDD – TDD	48
3.2.7.1. Γενικά.....	48
3.2.7.2. FDD	48
3.2.7.3. TDD.....	49
3.2.7.4. Σύγκριση TDD - FDD	50
3.3. Το Επίπεδο MAC του WiMAX	51
3.3.1. Μια πιο Αναλυτική προσέγγιση στο MAC Επίπεδο.....	53
Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 3 ^ο	58
4. Εμπειρικά Μοντέλα Διάδοσης για Ράδιο-Κάλυψη WiMAX Συστημάτων.....	59
4.1. Εισαγωγή	59
4.1.1. Μηχανισμοί Διάδοσης	59
4.1.2. Κατηγορίες Μοντέλων	63
4.1.2.1. Μοντέλα εσωτερικού χώρου (indoor)	63
4.1.2.2. Μοντέλα εξωτερικού χώρου (outdoor)	63
4.2. Περιγραφή Μοντέλων Διάδοσης.....	65
4.2.1. Μοντέλο Διάδοσης Ελεύθερου Χώρου.....	66
4.2.2. Μοντέλο Διάδοσης Cost-231 Hata	67
4.2.3. Μοντέλο Διάδοσης ECC-33	68
4.2.4. Μοντέλα Διάδοσης SUI.....	69
Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 4 ^ο	71
5. Παρουσίαση Προμελέτης ryWiMAX.....	72
5.1. Εισαγωγή	72
5.2. Περιγραφή Εφαρμογής.....	72
5.3. Εξαγωγή Αναφοράς.....	89
5.4. Περιγραφή Υλοποίησης	92
5.4.1. Ανάλυση Κώδικα	92
Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 5 ^ο	98
6. Ράδιο-κάλυψη Ελληνικής Περιοχής με τη Χρήση του Λογισμικού WinProp	99
6.1. Εισαγωγή	99

6.2. Σενάριο 1° omnidirectional antennas.....	100
6.3. Σενάριο 2° Sectoring.....	110
Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 6°	124

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

Εικόνα 2. 1 Προσαρμοστική διαμόρφωση και ακτίνα κάλυψης στο WiMAX.....	15
Πίνακας 2. 1 Χαρακτηριστικά Προτύπων IEEE 802.16.....	16
Πίνακας 2. 2 Χαρακτηριστικά Προτύπων IEEE 802.16.....	18
Πίνακας 2. 3 Περιγραφή TDD και FDD	21
Εικόνα 2. 2 Αρχιτεκτονική Mobile WiMAX.....	24
Εικόνα 2. 3 Δομή Δικτύου WiMAX.....	25
Εικόνα 2. 4 Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής Δικτύου Πλέγματος	26
Εικόνα 3. 1 Τα Επίπεδα του WiMAX.....	31
Εικόνα 3. 2 Παράμετροι του OFDM που χρησιμοποιούνται στο WiMAX.....	34
Εικόνα 3. 3 Φασματική Περιγραφή OFDM.....	35
Εικόνα 3. 4 Εξυπηρέτηση πολλών Χρηστών με OFDM.....	36
Πίνακας 3. 1 Περιληπτική Παρουσίαση των Παραμέτρων του OFDM στο WiMAX.....	38
Εικόνα 3. 5 Λειτουργία OFDM πλαισίου με χρήση TDD.....	39
Πίνακας 3. 2 Βασικοί Παράμετροι των IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16-2005 Standards	42
Πίνακας 3. 3 Τα profiles των Fixed και Mobile WiMAX.....	44
Εικόνα 3. 6 Προσαρμοστική Διαμόρφωση.....	45
Πίνακας 3. 4 Διαμορφώσεις και Κωδικοποιήσεις που υποστηρίζει το WiMAX.....	46
Πίνακας 3. 5 Data Rate στο Φυσικό Επίπεδο για διάφορες τιμές του Εύρους Ζώνης	47
Εικόνα 3. 7 Η Τεχνική FDD.....	48
Εικόνα 3. 8 Η Τεχνική TDD	49
Εικόνα 3. 9 Ευέλικτη Κατανομή Χρονικής Διάρκειας Downlink και Uplink κατά την TDD..	51
Εικόνα 3.10 Παραδείγματα ποικίλων MAC PDU Frames.....	52
Εικόνα 3. 11 Υποεπίπεδα του MAC Layer.....	54
Πίνακας 3. 6 Τα primitives που υποστηρίζονται από το MAC Επίπεδο.....	56
Εικόνα 3. 12 Επικοινωνία Επιπέδων CS και MAC	56
Εικόνα 4. 1 Κατοπτρική Ανάγλυψη σε Διδιάστατη Γεωμετρία.....	60
Εικόνα 4. 2 Περιτεθλασμένο Κύμα με Χρήση του Wedge Μοντέλου	61

Εικόνα 4. 3 Ανάκλαση και Σκέδαση σε Τραχεία Επιφάνεια	61
Εικόνα 4. 4 1η Ζώνη Fresnel	62
Εικόνα 4. 5 Απαιτούμενη καθαρότητα 1ης ζώνης Fresnel.....	62
Πίνακας 4. 1.....	63
Εικόνα 4. 6 Διάδοση LOS	65
Εικόνα 4. 7 Διάδοση NLOS σε Αγροτική Περιοχή	Εικόνα 4. 8 Διάδοση NLOS σε
Αστικό Περιβάλλον	65
Εικόνα 4. 9 Εξάρτηση της Ισχύος του Σήματος με την Απόσταση και τη Συχνότητα	66
Πίνακας 4. 2 Τιμές για Σταθερές a, b, c για τα SUI Μοντέλα	70
Εικόνα 5. 1 Διάγραμμα Ροής Downlink για τον Υπολογισμό του Ποσοστού Κάλυψης.....	74
Εικόνα 5. 2 Διάγραμμα Ροής Uplink για τον Υπολογισμό του Ποσοστού Κάλυψης	74
Εικόνα 5. 3 Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση.....	76
Εικόνα 5. 4 Διάγραμμα Ροής Downlink για τον Υπολογισμό της Ακτίνας	78
Εικόνα 5. 5 Διάγραμμα Ροής Uplink για τον Υπολογισμό της Ακτίνας.....	78
Εικόνα 5. 6 Εφαρμογή ryWiMAX.....	79
Εικόνα 5. 7 Καρτέλα WiMAX Parameters	80
Εικόνα 5. 8 Καρτέλα Base Station	81
Εικόνα 5. 9 Καρτέλα Subscriber Station	82
Εικόνα 5. 10 Καρτέλα Overall Link Budget.....	83
Εικόνα 5. 11 Καρτέλα Propagation Models Parameters.....	84
Εικόνα 5. 12 Καρτέλα Capacity Estimation	86
Εικόνα 5. 13 Παρεχόμενες Υπηρεσίες.....	87
Εικόνα 5. 14 Πρώτη Αναφορά Εφαρμογής.....	90
Εικόνα 5. 15 Μεγέθυνση Κατηγοριών Πρώτης Αναφοράς	90
Εικόνα 5. 16 Δεύτερη Αναφορά Εφαρμογής.....	91
Εικόνα 5. 17 Μεγέθυνση Κατηγοριών Δεύτερης Αναφοράς	91
Εικόνα 6. 1 Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Ομοιοκατευθυντικές Κεραίες.....	100
Εικόνα 6. 2 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2.....	102
Εικόνα 6. 3 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 16QAM-3/4.....	103
Εικόνα 6. 4 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 64QAM-5/6.....	103
Εικόνα 6. 5 Μέγιστη Ισχύς για κάθε Κυψέλη.....	104
Εικόνα 6. 6 Καλύτερος Εξυπηρετητής.....	105

Εικόνα 6. 7 Περιοχή Κυψέλης	105
Εικόνα 6. 8 Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	106
Εικόνα 6. 9 SNIR	107
Εικόνα 6. 10 CDF για το SNIR.....	108
Εικόνα 6. 11 Excel για τον υπολογισμό του Throughput.....	109
Εικόνα 6. 12 Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών.....	110
Εικόνα 6. 13 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2.....	113
Εικόνα 6. 14 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 16QAM-3/4.....	114
Εικόνα 6. 15 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 64QAM-5/6.....	114
Εικόνα 6. 16 Μέγιστη Ισχύς για κάθε Κυψέλη	115
Εικόνα 6. 17 Καλύτερος Εξυπηρετητής.....	116
Εικόνα 6. 18 Περιοχή Κυψέλης	116
Εικόνα 6. 19 Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	117
Εικόνα 6. 20 SNIR	118
Εικόνα 6. 21 CDF για το SNIR.....	119
Εικόνα 6. 22 Excel για τον υπολογισμό του Throughput.....	120
Εικόνα 6. 23 Ισχύς του Carrier 2 Site 1.....	121
Εικόνα 6. 24 Ισχύς του Carrier 3 Site 2.....	121
Εικόνα 6. 25 Ισχύς του Carrier 1 Site 5.....	122
Εικόνα 6. 26 Ισχύς του Carrier 3 Site 6.....	122
Εικόνα 6. 27 Ισχύς του Carrier 2 Site 7.....	123
Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών.....	139
Rec Probab Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2.....	141
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	141
Ισχύς του Carrier 1 Site 1.....	142
Ισχύς του Carrier 2 Site 1.....	142
Ισχύς του Carrier 2 Site 3.....	143
Ισχύς του Carrier 1 Site 5.....	143
Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών.....	144
Rec Probab Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2.....	145
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	146
Ισχύς του Carrier 2 Site 1.....	146

Ισχύς του Carrier 2 Site 3.....	147
Ισχύς του Carrier 1 Site 4.....	147
Ισχύς του Carrier 2 Site 4.....	148
Ισχύς του Carrier 3 Site 4.....	148
Ισχύς του Carrier 1 Site 5.....	149
Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυφελών.....	150
Rec Probab Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2.....	151
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	152
Ισχύς του Carrier 1 Site 6.....	152
Ισχύς του Carrier 2 Site 6.....	153
Ισχύς του Carrier 3 Site 6.....	153

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, η οποία υλοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πειραιά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους οι οποίοι βοήθησαν στην περάτωση αυτής της εργασίας. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθώ σε όλους εκείνους που συμπαραστάθηκαν σε αυτήν την προσπάθεια.

Κατά κύριο λόγο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή από το Πανεπιστήμιο Πειραιά κ. Κανάτα Αθανάσιο, ο οποίος με υποστήριξε καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας και μου εξασφάλισε την παροχή πλούσιας υλικοτεχνικής υποδομής, πολύτιμης για μια μελέτη όπως αυτή.

Θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση μου προς τους υποψήφιους διδάκτορες, Κυρίτση Κωνσταντίνο και Θεοφυλάκο Παναγιώτη, με τους οποίους με χαρά συνεργάστηκα και να τους ευχαριστήσω για την καθοδήγηση τους προς την επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον αδελφό μου Μπουρδένα Θέμη, για την ανεκτίμητη βοήθεια και την απεριόριστη ψυχολογική υποστήριξη και κατανόηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Πειραιάς, Ιούνιος 2009

Μπουρδένα Αθηνά

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας αυτής επικεντρώνεται στη μελέτη της ραδιοκάλυψης περιοχών της Ελλάδας χρησιμοποιώντας το πρότυπο της ασύρματης μετάδοσης IEEE 802.16 (WiMAX).

Για την επίτευξη του στόχου αυτού υλοποιήθηκε σε πρώτο στάδιο μια εφαρμογή (pyWiMAX), που βασίστηκε στην ανάπτυξη λογισμικού αξιοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Python. Η εφαρμογή αυτή αποτελεί μια υπολογιστική μηχανή, στην οποία εισάγονται δεδομένα που σχετίζονται με τις παραμέτρους του WiMAX, τα γεωγραφικά στοιχεία κάλυψης της περιοχής, καθώς και τα χαρακτηριστικά εκπομπής και διάδοσης.

Η εφαρμογή αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την εκπόνηση της προμελέτης η οποία απαιτείται, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη ραδιοκάλυψη μιας περιοχής με την καλύτερη δυνατή ρυθμαπόδοση (throughput) που μπορεί να προσφερθεί. Στα πλαίσια αυτά η συγκεκριμένη εφαρμογή εξάγει μια σειρά αποτελεσμάτων και δεδομένων, τα οποία απαιτούνται έτσι ώστε να εκπονηθεί μια μελέτη που θα αξιοποιηθεί για την επίτευξη της ραδιοκάλυψης χρησιμοποιώντας το πρότυπο WiMAX.

Στο επόμενο στάδιο της διπλωματικής εργασίας, ολοκληρώνεται η μελέτη αυτή αξιοποιώντας τα δεδομένα εξαγωγής της εφαρμογής που αναπτύχθηκε με το λογισμικό WinProp. Για την ολοκλήρωση της μελέτης και την αξιολόγηση του δικτύου WiMAX, αξιοποιήθηκαν αντικειμενικά κριτήρια (πιθανότητα κάλυψης για κάθε ζώνη διαμόρφωσης, παρεμβολές, μέγιστος ρυθμός δεδομένων, SNIR) για μια σειρά διαφορετικών σεναρίων.

1.2. ΔΟΜΗ

Η διπλωματική εργασία αυτή περιγράφει όλες τις εργασίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν έτσι ώστε να γίνει εφικτή η επίτευξη των παραπάνω στόχων.

Πιο συγκεκριμένα στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται θεωρητικά στοιχεία σχετικά με το πρότυπο της τεχνολογίας IEEE 802.16 (WiMAX). Αναλύεται η αρχιτεκτονική συστημάτων WiMAX και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα δύο βασικά υπο-πρότυπά του (Fixed WiMAX και Mobile WiMAX).

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται το Φυσικό επίπεδο και τεχνικές που χρησιμοποιεί ένα σύστημα WiMAX, αναφορικά με την πολυπλεξία OFDM, την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης OFDMA, την προσαρμοστική διαμόρφωση, καθώς τις τεχνικές FDD – TDD. Επιπρόσθετα περιγράφονται στοιχεία του MAC υποεπιπέδου.

Στο Κεφάλαιο 4, παρατίθενται τα στοιχεία αναφορικά με τα μοντέλα απωλειών και διάδοσης τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή που αναπτύχθηκε.

Το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει διεξοδικά την εφαρμογή η οποία αναπτύχθηκε, περιγράφει αναλυτικά την λειτουργία της και επεξηγεί το λογισμικό της.

Η διπλωματική εργασία αυτή ολοκληρώνεται στο Κεφάλαιο 6, όπου παρουσιάζονται τα στοιχεία αναφορικά με το λογισμικό προσομοίωσης WinProp, έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η μελέτη ραδιοαάλυψης. Παρατίθενται επίσης συμπεράσματα, τα οποία εξάγονται για την βέλτιστη τοποθέτηση σταθμών βάσης συστημάτων WiMAX σε μία πόλη της Ελλάδας.

2. Το ΠΡΟΤΥΠΟ ΙΕΕΕ 802.16 (WiMAX)

2.1. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΙΕΕΕ 802.16

2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

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]

Η ανάπτυξη του προτύπου IEEE 802.16 ξεκίνησε από την αντίστοιχη ομάδα εργασίας της IEEE. Το πρότυπο καθορίζει τη ράδιο-επαφή (air-interface) για ένα ασύρματο δίκτυο μητροπολιτικής κάλυψης (Wireless MAN) που μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σε σταθερούς, φορητούς ή κινούμενους χρήστες. Μια ουσιαστική διαφορά από τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) είναι, όπως είναι προφανές, η διαφορετική ακτίνα κάλυψης, εφόσον πρόκειται για μητροπολιτικά δίκτυα. Επίσης, σε αντίθεση με τα συστήματα Wi-Fi επιτρέπει πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία (full duplex). [2]

Με βάση την οικογένεια προτύπων IEEE 802.16, ένας όμιλος εταιριών με την επωνυμία WiMAX Forum προωθεί την πιστοποίηση προϊόντων και την ανάπτυξη δικτύων με βάση τα πρότυπα αυτά. Στο WiMAX Forum συμμετέχουν περισσότεροι από 500 φορείς (κατασκευαστές εξοπλισμού, πάροχοι δικτύων κ.α.). Αρχικός στόχος της ομάδας 802.16 της IEEE ήταν τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα να εξυπηρετήσουν ζεύξεις Point-to-Multipoint και για το λόγο αυτό το ενδιαφέρον εστιάστηκε σε ζεύξεις με οπτική επαφή πομπού – δέκτη (LOS) και σε συχνότητες 10-66GHz, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για Point-to-Point συνδέσεις. Έτσι προέκυψε το Δεκέμβριο του 2001, το βασικό πρότυπο IEEE 802.16. [2]

Στη συνέχεια, στοχεύοντας σε χρήση σε χαμηλότερες συχνότητες (2-11GHz) και σε λειτουργία χωρίς οπτική επαφή (NLOS), υιοθετήθηκε η εφαρμογή της τεχνολογίας OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) στο φυσικό στρώμα, η οποία πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ό,τι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης, ειδικότερα στις συχνότητες άνω των 2 GHz τις οποίες το πρότυπο χρησιμοποιεί. Όσον αφορά το στρώμα MAC, εφαρμόστηκε η τεχνολογία της OFDMA. Το πρότυπο δέχτηκε διαδοχικές τροποποιήσεις για να καταλήξει, το 2004, στο πρότυπο IEEE 802.16 – 2004 που αποτελεί το

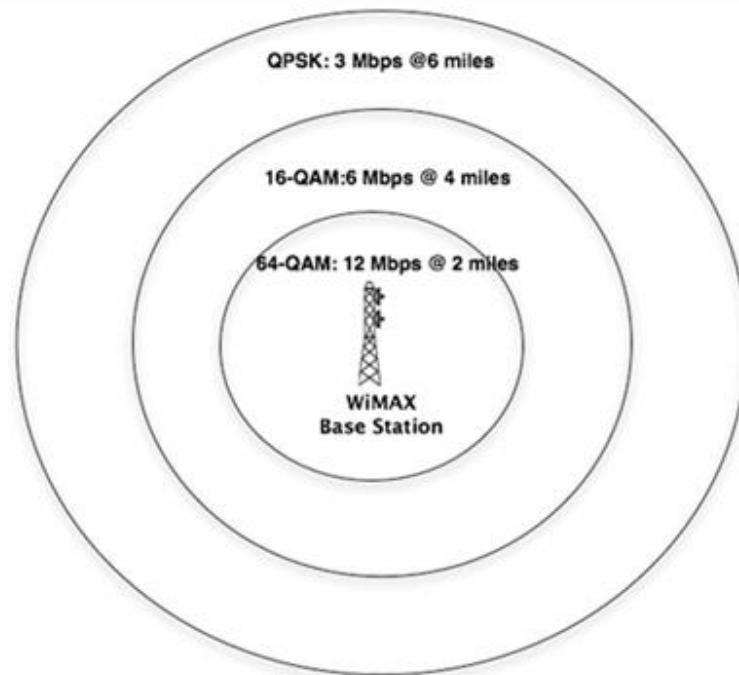
βασικό πρότυπο WiMAX [3]. Επειδή στο πρότυπο αυτό ο δέκτης θεωρείται σταθερός, το πρότυπο αυτό αναφέρεται και ως fixed WiMAX, σε αντίθεση με το πρότυπο IEEE 802.16e – 2005, που αποτελεί επέκταση του βασικού προτύπου και περιλαμβάνει υποστήριξη κινητικότητας των χρηστών και αναφέρεται ως mobile WiMAX [2], [4].

Αρχετοί 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 ολοκληρωμένα κυκλώματα 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 κυβελωτά 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 ελάχιστη 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. Από την Εικόνα 2.1 παρατηρούνται τα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης και τους ρυθμούς μετάδοσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα την απόσταση που έχουν σταθμός βάσης και εγγεγραμμένος σταθμός.



Εικόνα 2.1 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. [5], [6]

Τα βασικά χαρακτηριστικά των τριών προτύπων που αναφέρθηκαν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

	IEEE 802.16	IEEE 802.16-2004 (Fixed WiMAX)	IEEE 802.16e-2005 (Mobile WiMAX)
Έτος παρουσίασης	2001	2004	2005
Ζώνη συχνοτήτων	10-66GHz	2-11GHz	2-11GHz (fixed) 2-6 GHz (mobile)
Κινητικότητα	Fixed	Fixed	Fixed & Mobile
Συνθήκες διάδοσης	LOS	NLOS	LOS
Μέθοδος μετάδοσης	Μονής φέρουσας	Μονής φέρουσας, 256-OFDM, 2048-OFDM	Μονής φέρουσας, 256-OFDM, 128/512/1024/2048-OFDM
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM		
Συνολικός ρυθμός μετάδοσης	32-134.4 Mbps	1-75 Mbps	
Μέθοδος πολυπλεξίας	Burst TDM/TDMA	Burst TDM/TDMA/OFDMA	
Μέθοδος αμφιδρόμησης	TDD, FDD		
Διαυλοποίηση (MHz)	20, 25, 28	1.25, 1.75, 3.5, 5, 7, 8.75, 10, 14, 15	

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά Προτύπων IEEE 802.16

2.1.2. ΠΡΟΤΥΠΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το πρότυπο αναφοράς IEEE 802.16, όπως όλα τα πρότυπα της οικογένειας IEEE 802, καθορίζει τα επίπεδα PHY και MAC, ενώ τα πρωτόκολλα των ανώτερων στρωμάτων δεν περιλαμβάνονται στις προδιαγραφές του προτύπου. Η πρώτη έκδοση του προτύπου (IEEE 802.16-2001) εκδόθηκε τον Απρίλιο του 2002. Η έκδοση αυτή προδιαγράφει ένα σύστημα ικανό να λειτουργήσει σε συχνότητες 10-66GHz, σε συνθήκες οπτικής επαφής (LOS). Χρησιμοποιεί απλή διαμόρφωση, μονής φέρουσας (όχι δηλαδή OFDM), αφού προορίζεται για μετάδοση σε συνθήκες LOS, ενώ προβλέπει διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, ανάλογα με τη συχνότητα, τις συνθήκες διάδοσης, τη μέγιστη επιθυμητή απόσταση κάλυψης κτλ.

Στη συνέχεια (Ιανουάριος 2003), παρουσιάστηκε το πρότυπο IEEE 802.16a, που προδιαγράφει ένα αντίστοιχο σύστημα που λειτουργεί όμως σε συχνότητες 2-11GHz, ακόμη και χωρίς οπτική επαφή. Προκειμένου να υποστηριχτεί η λειτουργία του συστήματος και σε συνθήκες NLOS, υιοθετείται η χρήση της τεχνολογίας OFDM, για να αντιμετωπιστούν τα έντονα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης που εμφανίζονται σε τέτοιες περιπτώσεις. Αυτή η ζώνη συχνοτήτων δεν είναι εξολοκλήρου διαθέσιμη, αφού μεγάλα

τμήματα αυτής έχουν ήδη εκχωρηθεί σε άλλες υπηρεσίες. Είναι όμως πιθανό, στο μέλλον, οι υπηρεσίες αυτές να ενσωματωθούν σε ένα σύστημα ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης και να παρέχονται από αυτό.

Το πρότυπο IEEE 802.16-2004 (Fixed WiMAX) [3], που εκδόθηκε τον Ιούνιο του 2004 προδιαγράφει ένα σύστημα για παροχή υπηρεσίας σε ακίνητους χρήστες. Έχει τρεις βασικούς ρυθμούς λειτουργίας, που διαφοροποιούνται στο φυσικό στρώμα, ενώ έχουν κοινή μορφή του στρώματος MAC. Συγκεκριμένα, ο πρώτος ρυθμός χρησιμοποιεί διαμόρφωση μονής φέρουσας, ο δεύτερος διαμόρφωση OFDM με 256 φέροντα και ο τρίτος OFDM με 2048 φέροντα. Η επιλογή του ρυθμού λειτουργίας γίνεται ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εφαρμογής και του περιβάλλοντος λειτουργίας του συστήματος. Από τους βασικούς αυτούς ρυθμούς μπορούν να προκύψουν και άλλοι, θεωρώντας διαφορετικές παραμέτρους για το OFDM, όπως η διάρκεια του διαστήματος φύλαξης (CP). Στο πρότυπο προβλέπεται, προαιρετικά, η χρήση turbo κώδικα για την αποτελεσματικότερη προστασία του σήματος έναντι των διαλείψεων. Ο συγχρονισμός και η εκτίμηση διαύλου γίνονται με χρήση κατάλληλων επικεφαλίδων (preambles).

Προκειμένου να αναβαθμιστούν οι παρεχόμενες υπηρεσίες του WiMAX και να καταστεί ανταγωνιστικό έναντι των δικτύων τρίτης γενιάς (3G), η IEEE αποφάσισε να προσθέσει στο πρότυπο 802.16 διαδικασίες υποστήριξης κινητικότητας, ώστε οι υπηρεσίες WiMAX να μπορούν να λαμβάνονται και από χρήστες εν κινήσει. Για το σκοπό αυτό προτείνονται σχετικές προσθήκες σε όλα τα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του WiMAX. Στο στρώμα PHY έχει προστεθεί μια ακόμη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης. Στο στρώμα MAC έχουν γίνει πολλές αλλαγές προκειμένου να υποστηρίζεται κινητικότητα των δεκτών εντός των ορίων ενός δικτύου, αλλά και μεταξύ διαφορετικών δικτύων. Επιπλέον, έχουν προστεθεί δυνατότητες διαχείρισης και εξοικονόμησης ισχύος για συσκευές τροφοδοτούμενες από μπαταρίες. Οι δέκτες αναφέρονται πλέον ως κινητοί σταθμοί (KS) αφού μπορούν να μετακινούνται. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την υποστήριξη περιαγωγής, εκτός του δικτύου, προς άλλα εθνικά ή διεθνή δίκτυα, δεν καθορίζονται από το πρότυπο, αφού αυτό περιορίζεται στο σύστημα ραδιο-πρόσβασης.

Το πρότυπο IEEE 802.16-2005 (Mobile WiMAX) [4] εκδόθηκε τον Οκτώβριο του 2005 και προβλέπει λειτουργία σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων μέχρι τα 6GHz για κινούμενους χρήστες, ενώ για χρήστες ακίνητους ή με χαμηλή ταχύτητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι συχνότητες έως τα 11GHz. Στο πρότυπο προβλέπονται διαδικασίες υποστήριξης κινητικότητας χρηστών με ταχύτητες έως 125Km/h. Συγκεκριμένα, προδιαγράφονται διαδικασίες μεταπομπών μεταξύ διαφορετικών κυψελών και διαδικασίες εξοικονόμησης ενέργειας στο φορητό εξοπλισμό (καταστάσεις αδράνειας ή απενεργοποίησης), με στόχο τη συνολική εξυπηρέτηση της κινητικότητας των χρηστών. Στο φυσικό στρώμα προβλέπεται η χρήση διαμόρφωσης/πολυπλεξίας OFDMA με 128, 512, 1024 ή 2048 φέροντα. Για την περίπτωση του OFDMA προβλέπεται και η χρήση πολλαπλών κεραιών στον πομπό και το δέκτη (τεχνολογία MIMO) με 1,2 ή 4

κεραίες λήψης και μέχρι 4 κεραίες εκπομπής. Για τη μείωση του ρυθμού σφαλμάτων που προκαλούνται από διαλείψεις, προαιρετικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κώδικες LDPC (Low Density Parity Codes). Επίσης, για τη διασφάλιση του απόρρητου των επικοινωνιών, προβλέπεται η χρήση τεχνικών κρυπτογράφησης των δεδομένων. [2]

Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων εκδόσεων των προτύπων IEEE 802.16 συνοψίζονται παρακάτω.

Περιγραφή	802.16 2001	802.16a 2003	802.16d 2004	802.16e 2005
	Βασισμένο σε LMDS	Βασισμένο σε MMDS και HiperMAN	Βασισμένο στο 802.16a με βελτίωση του uplink	Βασισμένο στο 802.16d με υποστήριξη μεταπομπών κι εξοικονόμηση ενέργειας
Συχνότητες (GHz)	10-66	2-11	2-11	2-6
Συνθήκες Διάδοσης	LOS	NLOS	NLOS	NLOS
Ρυθμός Μετάδοσης (διαυλοποίηση)	32-134 Mbps (28MHz)	Μέχρι 20 Mbps (20MHz)	Μέχρι 20 Mbps (20MHz)	5 Mbps (20MHz)
Εύρος Ζώνης (MHz)	20, 25MHz (Η.Π.Α.) 28MHz (Ευρώπη)	Πολλαπλάσια των 1.25, 1.5, 1.75 MHz, μέχρι 20MHz	Πολλαπλάσια των 1.25, 1.5, 1.75 MHz, μέχρι 20MHz	Πολλαπλάσια των 1.25, 1.5, 1.75 MHz, μέχρι 20MHz
Κινητικότητα	Fixed	Fixed	Fixed & Nomadic	Fixed & Mobile
Ακτίνα τυπικής κυψέλης (km)	2-5	5-50	5-50	2-5

Πίνακας 2. 2 Χαρακτηριστικά Προτύπων IEEE 802.16

2.1.3. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 a

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

2.1.4. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 b

Το πρότυπο 802.16b ήταν από τα πρώτα που δημιουργήθηκαν. Η δημιουργία του υποπρότυπου αυτού στόχευε στις εφαρμογές που δεν διαθέτουν αδειοδότηση για τις συχνότητες 5-6GHz. Το 802.16b παρέχει

QoS διαβεβαιώνοντας ότι θα υπάρχει προτεραιότητα στη μετάβαση πραγματικού χρόνου εικόνας και ήχου καθώς επίσης παρέχει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσίας για διαφορετικούς τύπους δεδομένων.

2.1.5. Το Υπο-πρωτότυπο IEEE 802.16 c

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

2.1.6. Το Υπο-πρωτότυπο IEEE 802.16 d

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16 d.

2.1.7. Το Υπο-πρωτότυπο IEEE 802.16 e

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

2.1.8. Το Υπο-πρωτότυπο IEEE 802.16 – 2004 (FIXED WiMAX)

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 κεραιά στον τόπο του συνδρομητή. Η κεραιά 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)
- Καθυστερήση 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
Περιγραφή	Είναι μια duplexing τεχνική που χρησιμοποιεί ένα ενιαίο κανάλι και τόσο για το uplink όσο και για το downlink.	Είναι μια duplexing τεχνική που χρησιμοποιεί ένα ζευγάρι συχνοτήτων, ένα για το uplink και ένα για το downlink.
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Έχει ενισχυμένη ευελιξία επειδή δεν απαιτείται ένα ζεύγος Φάσματος. • Μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί με τις έξυπνες κεραίες. • Είναι ασύμμετρο. 	<ul style="list-style-type: none"> • Αποδειγμένη τεχνολογία για χρήση σε εφαρμογές φωνής. • Σχεδιασμένο για συμμετρική κίνηση. • Δεν απαιτεί διάστημα φύλαξης.
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν μπορεί ταυτόχρονα να μεταδίδει και να λαμβάνει 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν μπορεί να εφαρμοστεί όταν το φάσμα δεν είναι σε ζεύγη. • Το φάσμα είναι αδειοδοτημένο. • Έχει μεγάλο κόστος η αγορά του φάσματος.
Χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Σε ασύμμετρες εφαρμογές δεδομένων. • Σε περιβάλλοντα με ποικίλα σχέδια κίνησης. • Όταν η απόδοση των RF είναι πιο σημαντική από το κόστος. 	<ul style="list-style-type: none"> • Σε περιβάλλοντα με προβλεπόμενα σχέδια κίνησης • Όταν το κόστος είναι πιο σημαντικό από την απόδοση των RF.

Πίνακας 2. 3 Περιγραφή 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. Καμία σύγκρουση σημαίνει καμία 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 θορυβώδη διάυλο ή χαμηλή ισχύ σημάτων, το προσαρμοστικό σχέδιο διαμόρφωσης τους 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 υποστηρίζει περισσότερους χρήστες με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης σε μεγαλύτερες αποστάσεις, σε σύγκριση με τις εφαρμογές last-mile που βασίζονται στο πρότυπο 802.11g.
- **Εύρωση carrier-class λειτουργία:** Το πρότυπο σχεδιάστηκε για carrierclass 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. [5], [7],[8]

2.1.9. Το Υπο-πρότυπο IEEE 802.16 – 2004 (MOBILE WiMAX)

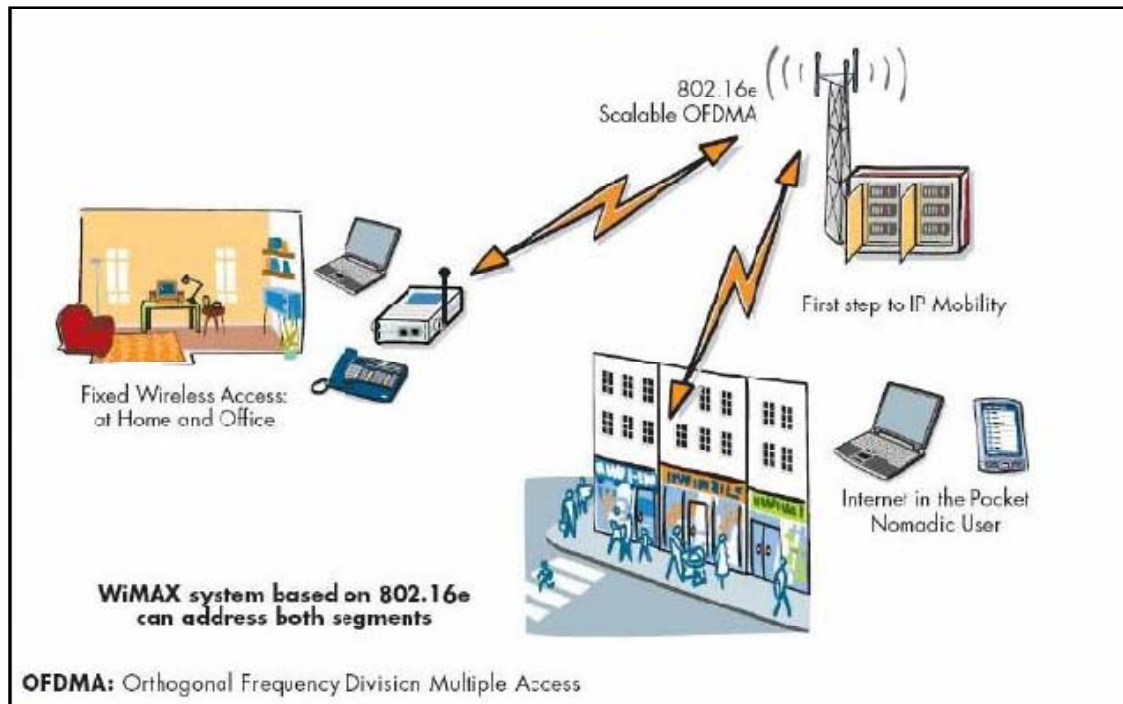
Το Δεκέμβριο του 2005 εκδόθηκε το IEEE 802.16e (ή αλλιώς Mobile WiMAX) που αφορά την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση για κινητά συστήματα. Στο υποπρότυπο αυτό καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες που θα πρέπει να ενσωματωθούν στο βασικό πρότυπο 802.16 προκειμένου να υποστηριχθεί η κινητικότητα 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 ήταν 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 επικαλύψεων (overlay), συσκευές χρηστών διπλής λειτουργίας (dual-mode), σταθμούς βάσεως με λογισμικό που επιδέχεται βελτίωση και σταθμούς βάσεως διπλής λειτουργίας (dual-mode). [5], [9]



Εικόνα 2. 2 Αρχιτεκτονική Mobile WiMAX

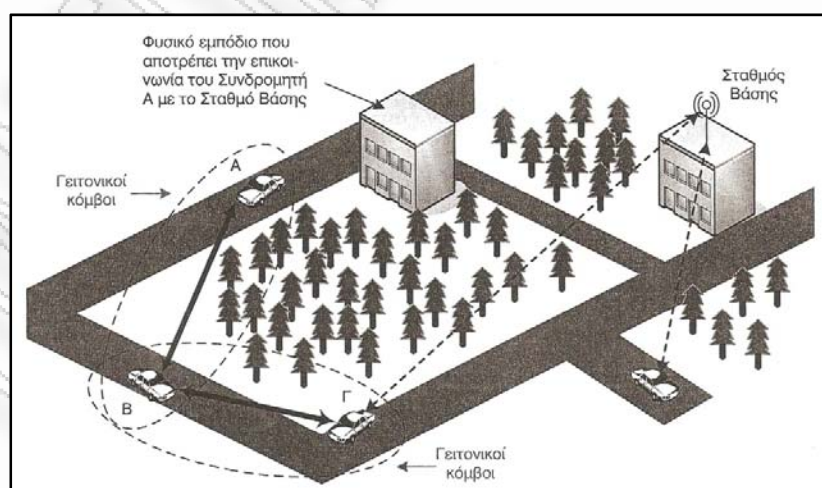
Μερικά από τα γενικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος Mobile WiMAX είναι:

- **Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης:** Η χρήση κεραιών MIMO καθώς και ελέκτων 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 σηματοδότησης που βασίζονται στο MAC παρέχουν έναν ελέκτο μηχανισμό για βέλτιστη κατανομή του διατιθέμενου χώρου, χρόνου και φάσματος στη βάση του εκάστοτε πλαισίου για αύξηση της ποιότητας υπηρεσιών.
- **Κλιμάκωση (Scalability):** Το Mobile WiMAX είναι σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να λειτουργεί σε διάφορα εύρη διαύλου (1.25–20MHz) προκειμένου να είναι πάντα σε συμμόρφωση με τις διαφορετικές προδιαγραφές που συναντώνται σε διαφορετικές χώρες του κόσμου.
- **Ασφάλεια:** Τα χαρακτηριστικά του Mobile WiMAX που αφορούν τα θέματα της ασφάλειας είναι τα καλύτερα της αγοράς και συμπεριλαμβάνουν:
 - Πιστοποίηση με βάση το πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol)
 - Κρυπτογράφηση με χρήση του κώδικα AES-CCM (Advanced Encryption Std-Counter with Cipher- lock chaining Message authentication code)

Το σκέλος της διασύνδεσης των ΣΒ με το δίκτυο κορμού δεν περιλαμβάνεται στις προδιαγραφές του δικτύου WiMAX. Η διασύνδεση αυτή μπορεί να γίνεται μέσω του δικτύου DSL, μέσω οπτικών ινών ή και ασύρματα, μέσω ζεύξεων σημείο-προς-σημείο.

Ένα δίκτυο WiMAX μπορεί να παρέχει ευρυζωνικές διαδικτυακές υπηρεσίες σε οικιακούς χρήστες, όποτε έχουμε Σταθερή Ασύρματη Πρόσβαση (Fixed Wireless Access - FWA), σε χρήστες SOHO (Small Office – Home Office) ή να χρησιμοποιηθεί για την παράκαμψη του τοπικού βρόχου, παρέχοντας υπηρεσίες φωνής, με μεταγωγή πακέτου ή μεταγωγή κυκλώματος. Επίσης, οι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα δίκτυο WiMAX για την αντικατάσταση, εν μέρει, της καλωδίωσης που χρησιμοποιείται από το δίκτυο κορμού. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δίκτυο κορμού για συστήματα WLAN (Εικόνα 2.5), αφού τα σημεία πρόσβασης (Access Points -AP) των WLAN χρειάζονται αξιόπιστη και χαμηλού κόστους ευρυζωνική διασύνδεση, κάτι που εξασφαλίζει το δίκτυο WiMAX.

Στην τοπολογία δικτύου πλέγματος, οι ΣΣ και οι ΣΒ του δικτύου χαρακτηρίζονται ως κόμβοι (nodes). Ο κάθε κόμβος μπορεί να θεωρείται ισότιμος ή ανώτερος από τους άλλους, ανάλογα με το ρόλο που επιτελεί στο δίκτυο. Κάθε κόμβος έχει μια αναγνωριστική MAC διεύθυνση, μήκους 48 bits. Βασική διαφοροποίηση στην τοπολογία δικτύου πλέγματος είναι ότι οι κόμβοι δεν επικοινωνούν μόνο με τους ΣΒ, αλλά μπορούν να επικοινωνούν και μεταξύ τους, είτε απευθείας, είτε μέσω άλλων κόμβων. Άρα, ένα μήνυμα μπορεί να φτάσει στον παραλήπτη του ακολουθώντας μια διαδρομή πολλών ραδιο-ζεύξεων. Δύο κόμβοι που μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους καλούνται γειτονικοί, ενώ ένα σύνολο γειτονικών κόμβων καλείται «γειτονιά» (neighborhood). Για παράδειγμα, στην Εικόνα 2.6 ο συνδρομητής Α επικοινωνεί με το συνδρομητή Γ και με το ΣΒ μέσω του γειτονικού του κόμβου, που είναι ο συνδρομητής Β.



Εικόνα 2. 4 Παράδειγμα Αρχιτεκτονικής Δικτύου Πλέγματος

Ο χρονοπρογραμματισμός (scheduling) για τις μεταδόσεις μεταξύ των κόμβων μπορεί να γίνεται είτε κεντρικά, είτε κατανεμημένα. Στην περίπτωση του κατανεμημένου αλγόριθμου χρονοπρογραμματισμού, οι κόμβοι συντονίζουν τις εκπομπές τους και εκπέμπουν προς όλους τους γειτονικούς κόμβους τις σχετικές πληροφορίες. Στην περίπτωση αυτή, οι διαδικασίες χρονοπρογραμματισμού των μεταδόσεων δεν κάνουν καμία διάκριση μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης. Στον κεντρικό συντονισμό των μεταδόσεων οι αποφάσεις για την ανάθεση πόρων στις διαφορετικές ζεύξεις παίρνονται από το ΣΒ, αφού αυτός λάβει μηνύματα από όλους τους κόμβους που βρίσκονται στην περιοχή του. Η κάθε ζεύξη σε μια γειτονιά χαρακτηρίζεται από ένα αναγνωριστικό μήκους 8 bit, που είναι τμήμα του αναγνωριστικού της σύνδεσης. [2]

2.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ WiMAX

Τα συστήματα WiMAX διαθέτουν ένα σύνολο χαρακτηριστικών που ενισχύει την αποδοτικότητά τους και παράλληλα επιτρέπει την εύκολη ανάπτυξη και διαχείριση τους.

Στο φυσικό στρώμα, χρησιμοποιούν την τεχνολογία OFDM που προσφέρει πλεονεκτήματα στην αντιμετώπιση έντονων φαινομένων πολυδιαδρομικής διάδοσης, με αποτέλεσμα τα συστήματα WiMAX να μπορούν να λειτουργήσουν και σε συνθήκες NLOS μεταξύ πομπού και δέκτη. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ σημαντικό, γιατί διευκολύνει την εγκατάσταση του δικτύου και τη λειτουργία του με Κινητούς Σταθμούς.

Το σύνολο των εξελιγμένων τεχνολογιών που ενσωματώνονται στα συστήματα WiMAX επιτρέπει στα συστήματα αυτά να υποστηρίζουν πολύ υψηλούς ρυθμούς ασύρματης μετάδοσης δεδομένων. Οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας εκείνες τις παραμέτρους που επιτρέπουν την αποδοτικότερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος, δηλαδή διαμόρφωση 64QAM και ρυθμό κωδικοποίησης 5/6. Αν οι συνθήκες μετάδοσης είναι τέτοιες που επιβάλλουν τη χρήση απλούστερων τεχνικών διαμόρφωσης και χαμηλότερου ρυθμού κωδικοποίησης, προκειμένου να μειωθεί ο ρυθμός σφαλμάτων, τότε μειώνεται αντίστοιχα και η ταχύτητα μετάδοσης.

Το WiMAX χρησιμοποιεί την τεχνική OFDM και για πολλαπλή πρόσβαση, οπότε αναφέρεται ως OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Στην τεχνική αυτή, σε κάθε χρήστη εκχωρείται ένα υποσύνολο των διαθέσιμων υπο-καναλιών του OFDM. Η τεχνική OFDM βελτιώνει σημαντικά τη χωρητικότητα του συστήματος, επιτρέποντας το διαφορισμό στο πεδίο της συχνότητας (frequency diversity) [11].

Η αρχιτεκτονική του φυσικού στρώματος του WiMAX μπορεί εύκολα να αναπροσαρμόζεται, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει μεταβαλλόμενο εύρος ζώνης και ρυθμό μετάδοσης. Αυτό γίνεται με τη χρήση της OFDMA, οπότε το μέγεθος του IFFT που χρησιμοποιείται μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το εύρος

ζώνης που διατίθεται (scalable OFDMA). Αυτή η μεταβολή γίνεται με δυναμικό τρόπο, ώστε το σύστημα να μπορεί να υποστηρίξει και περιαγωγή μεταξύ δικτύων που έχουν διαφορετική κατανομή του διαθέσιμου φάσματος.

Για ζεύξεις που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία, το WiMAX προβλέπει αυτόματες αιτήσεις επαναμετάδοσης (Automatic Repeat requests - ARQ). Στις συνδέσεις αυτές, η λήψη του κάθε πακέτου πρέπει να επιβεβαιώνεται από το δέκτη. Τα πακέτα, για τα οποία ο δέκτης δεν έχει αποστείλει μήνυμα επιβεβαίωσης ορθής λήψης, θεωρούνται απολεσθέντα και επανεκπέμπονται.

Το WiMAX υποστηρίζει αμφίδρομη επικοινωνία βασισμένη στο χρόνο (TDD) αλλά και στη συχνότητα (FDD). Όλα τα αρχικά πρότυπα WiMAX βασίζονται στην τεχνική TDD που έχει το πλεονέκτημα της ευελιξίας στη ρύθμιση της ασυμμετρίας των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στην άνω και την κάτω ζεύξη, εκμεταλλεύεται την αμοιβαιότητα του διαύλου, μπορεί να αξιοποιήσει διαφορετικά τμήματα του φάσματος και τέλος, απλουστεύει τη σχεδίαση των πομποδεκτών.

Η διαχείριση των ράδιο-πόρων του συστήματος WiMAX γίνεται με δυναμικό και ευέλικτο τρόπο για κάθε χρήστη. Η διαχείριση των πόρων τόσο για την άνω, όσο και για την κάτω ζεύξη πραγματοποιείται από το ΣΒ. Η συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα του συστήματος διαμοιράζεται μεταξύ των χρηστών, ανάλογα με τις απαιτήσεις τους, χρησιμοποιώντας πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου TDMA και εκχωρώντας διαφορετικό πλήθος χρονοσχισμών σε κάθε χρήστη. Στο ρυθμό λειτουργίας του φυσικού στρώματος που χρησιμοποιεί την τεχνική OFDMA, η διαχείριση των πόρων χρησιμοποιεί επιπλέον και το πεδίο της συχνότητας, αναθέτοντας διαφορετικό πλήθος OFDM υπο-καναλιών σε κάθε χρήστη. Αν το σύστημα χρησιμοποιεί τεχνικές πολλαπλών κεραιών σε πομπό και δέκτη, τότε ένα επιπλέον πεδίο είναι ο χωρικός διαχωρισμός μεταξύ των χρηστών (Space Division Multiple Access - SDMA). Άρα λοιπόν, το σύστημα διαθέτει έναν ευέλικτο μηχανισμό για τη διαχείριση και αξιοποίηση των πόρων του, χρησιμοποιώντας τα πεδία του χώρου, του χρόνου και της συχνότητας.

Το στρώμα MAC έχει αρχιτεκτονική βασισμένη στην σύνδεση (connection oriented), σχεδιασμένη ώστε να υποστηρίξει ένα πλήθος εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών φωνής, των πολυμεσικών εφαρμογών κ.α. Υποστηρίζονται υπηρεσίες με σταθερό ή μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης και υπηρεσίες με ροή δεδομένων πραγματικού χρόνου ή μη πραγματικού χρόνου (real-time ή non-real-time). Το WiMAX είναι σχεδιασμένο για να υποστηρίξει μεγάλο πλήθος χρηστών, με πολλαπλές συνδέσεις ανά τερματικό, που η κάθε μία έχει τις δικές της απαιτήσεις ως προς την ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας.

Για τη διασφάλιση του απορρήτου της επικοινωνίας το WiMAX υποστηρίζει ισχυρή κρυπτογράφηση, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο AES (Advanced Encryption Standard), ενώ επιπλέον διαθέτει ένα ισχυρό πρωτόκολλο για τη διαχείριση των “κλειδιών” πρόσβασης. Ακόμα, το WiMAX υποστηρίζει μια ευέλικτη

μέθοδο πιστοποίησης, που βασίζεται στο πρωτόκολλο EAP (Extensible Authentication Protocol), που επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών μεθόδων πιστοποίησης της ταυτότητας του χρήστη, όπως είναι οι κωδικοί πρόσβασης, ψηφιακά πιστοποιητικά γνησιότητας και έξυπνες κάρτες.

Στην έκδοση mobile WiMAX υποστηρίζεται η ασφαλής και διάφανη μεταπομπή μεταξύ διαφορετικών ΣΒ, με αδιάλειπτη παροχή υπηρεσίας. Επιπλέον, εφαρμόζονται μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας για την επιμήκυνση της διάρκειας λειτουργίας των φορητών τετραπλικών σταθμών. Τέλος, στην έκδοση αυτή του συστήματος οι παράμετροι του φυσικού στρώματος είναι κατάλληλα προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες απαιτήσεις του περιβάλλοντος λειτουργίας ενός ΚΣ.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου WiMAX βασίζεται στο IP-πρωτόκολλο. Όλες οι υπηρεσίες (στρώματος μεταφοράς, διαχείρισης σύνδεσης, ασφάλειας και κινητικότητας) διεκπεραιώνονται μέσω πρωτοκόλλων IP. Το γεγονός αυτό διευκολύνει τη συνεργασία και τη σύγκλιση με τεχνολογίες άλλων επικοινωνιακών δικτύων. [2]

2.4. ΖΩΝΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ WiMAX

Για τα συστήματα WiMAX δεν έχουν καθοριστεί σαφώς οι συχνότητες λειτουργίας. Βάσει των τεχνικών προδιαγραφών τους, τα συστήματα WiMAX μπορούν να λειτουργούν σε συχνότητες μέχρι 66GHz, με μείωση βέβαια της ακτίνας κάλυψης κάθε Σταθμού Βάσης, όσο αυξάνεται η συχνότητα. Το WiMAX Forum, προκειμένου να διευκολύνει την ανάπτυξη συμβατού εξοπλισμού WiMAX που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε, πρότεινε τη χρήση ζωνών συχνότητας στις περιοχές των 2.3GHz, 2.5GHz και 3.5GHz, ενώ επιπλέον προτείνει μια ζώνη στην περιοχή 5.8GHz, για μη αδειοδοτημένη χρήση. Η λειτουργία ενός δικτύου σε μη αδειοδοτημένη ζώνη συχνότητας, επιβάλλει περιορισμούς στην εκπεμπόμενη ισχύ και μειωμένη ευελιξία στη διαχείριση πόρων, αφού τμήματα του φάσματος πιθανόν να είναι κατειλημμένα από άλλα συστήματα.

Υπάρχει επίσης το ενδεχόμενο, τμήμα της ζώνης συχνότητας της αναλογικής τηλεόρασης, το οποίο θα απελευθερωθεί μετά την ψηφιακή μετάβαση, να αποδοθεί και σε συστήματα WiMAX. Στις Η.Π.Α., έχει ήδη αναγγελθεί για τον Ιανουάριο του 2008, δημοπρασία για συχνότητες στη ζώνη άνω των 700MHz, που απελευθερώνονται από την αναλογική τηλεόραση. Στην Ευρώπη υπάρχει η σκέψη της αναδιανομής του φάσματος μεταξύ 500 και 800 MHz και η εκχώρησή του σε ασύρματα συστήματα, μεταξύ των οποίων και το WiMAX. [2]

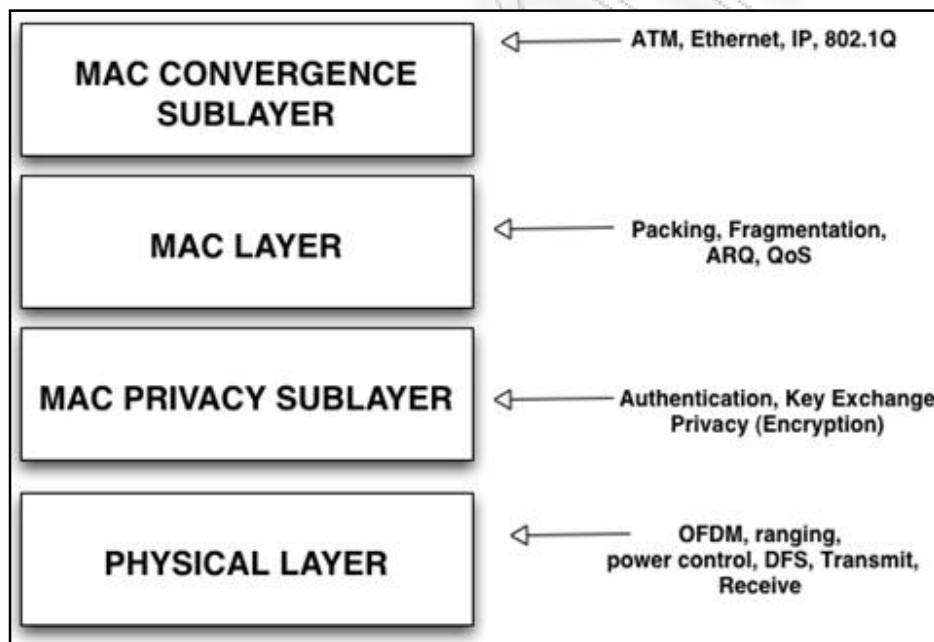
Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 2'

- [1] Βασδάρης Θωμάς, Τσελικής Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006
- [2] Α. Κανάτας, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος. Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών. Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [3] IEEE, Standard 802.16-2004, Part 16: Air-Interference for fixed and mobile broadband wireless access systems, June 2004.
- [4] IEEE, Standard 802.16-2005, Part 16: Air-Interference for fixed and mobile broadband wireless access systems, December 2005.
- [5] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ. Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου - Case Study: Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε. Ιωάννης Α. Τερζάκης, Δημήτριος Κ. Τσαπάρας
- [6] <http://ru6.cti.gr/broadband/el/WiMAX.php>
- [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] S. Pietrzyk, OFDM for Broadband Wireless Access, Artech House, 2006.

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ WiMAX

3.1. ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ WiMAX

Το πρότυπο IEEE 802.16 καθορίζει τα δύο πρώτα επίπεδα του μοντέλου OSI, δηλαδή το φυσικό (PHY) και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (το οποίο περιλαμβάνει το MAC επίπεδο). Όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω, η ανάπτυξη αυτών των επιπέδων είναι τέτοια ώστε τα προϊόντα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης που κατασκευάζονται με βάση αυτό το πρότυπο να είναι ευέλικτα και έτσι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά. Η στοίβα πρωτοκόλλων με τα επίπεδα του IEEE 802.16 πρότυπου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1 επιγραμματικά καθώς θα υπάρξει λεπτομερής ανάλυση των επιπέδων αυτών παρακάτω.



Εικόνα 3. 1 Τα Επίπεδα του WiMAX

3.2. Το Φυσικό Επίπεδο του WiMAX

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX βασίζεται στην OFDM διαμόρφωση που σημαίνει Orthogonal Frequency Division Multiplexing, που είναι το κλειδί για να επιτύχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και για να παρέχουμε υπηρεσίες video πολυμέσων. Η παραπάνω διαμόρφωση εκτός του WiMAX χρησιμοποιείται και από άλλα ευρυζωνικά συστήματα όπως η DSL, DVB-H (digital video broadcasting-handheld) και

mediaFLO. Η OFDM διαμόρφωση είναι ένα πολύ αποδοτικό σχέδιο για να επιτύχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε περιβάλλοντα NLOS(non-line of site) αλλά και σε περιβάλλοντα που επιβαρύνονται από το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών.

Το αρχικό πρωτόκολλο του WiMAX όριζε το WiMAX στο εύρος των 10 με 66GHz. Το πρωτόκολλο 802.16a αναβαθμίστηκε το 2004 σε 802.16-2004 προσθέτοντας προδιαγραφές για το εύρος 2 με 11GHz. Το 802.16-2004 αναβαθμίστηκε στο 802.16e-2005 χρησιμοποιώντας scalable orthogonal frequency-division multiple access (SOFDMA) ο οποίος συγκρούεται με την έκδοση OFDM-256 που χρησιμοποιείται από το 802.16d. Οι πιο εξελιγμένες μορφές πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένου και του 802.16e, χρησιμοποιούν Multiple Antenna Support δια μέσω του συστήματος Multiple-input multiple-output (MIMO) το οποίο παραπέμπει στη χρήση Multiple Antenna και από τον πομπό και από τον δέκτη. Αυτό μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της κάλυψης, της ατομικής εγκατάστασης, της αποτελεσματικής χρήσης και της ευρυζωνικής αποτελεσματικότητας. Το 802.16e προσθέτει την ικανότητα για κάλυψη σε περίπτωση κίνησης του χρήστη.

Οικονομικό και εμπορικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στα πρωτόκολλα 802.16d και 802.16e, αφού οι χαμηλότερες συχνότητες όταν χρησιμοποιούνται σε αυτές τις παραλλαγές δεν χαρακτηρίζονται από έμφυτη εξασθένιση του σήματος και γι' αυτό διαθέτουν βελτιωμένο εύρος και ικανότητα στη διαπερατότητα κτηρίων. Ήδη σήμερα, αρκετά δίκτυα ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν για εμπορικούς σκοπούς πιστοποιημένο εξοπλισμό με WiMAX, συμβατό με το υποπρωτόκολλο 802.16d. [1]

3.2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ OFDM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η OFDM διαμόρφωση ανήκει σε μια οικογένεια διαμορφώσεων μετάδοσης που ονομάζονται διαμορφώσεις πολλαπλών φερόντων (multicarrier modulation) που βασίζεται στην ιδέα ότι έχοντας ένα υψηλό ρυθμό μετάδοσης bitrate το χωρίζουμε σε 2 χαμηλότερου ρυθμού bitrate διαμορφώνοντας τα σε διαφορετικά φέροντα που συχνά ονομάζονται subcarriers. Η διαμόρφωση πολλαπλών φερόντων αποτρέπει η έστω ελαχιστοποιεί το φαινόμενο ISI (intersymbol interference) με το να γίνεται ο χρόνος διάρκειας συμβόλων αρκετά μεγάλος έτσι ώστε η καθυστέρηση των καναλιών-όπου η διάδοση της καθυστέρησης είναι ένα καλό μέτρο σύγκρισης στα ασύρματα κανάλια -είναι ένα ασήμαντο ποσοστό (χαρακτηριστικά, <10 τοις εκατό) της διάρκειας συμβόλων. Επομένως, στα συστήματα υψηλού ρυθμού μετάδοσης στα οποία η διάρκεια συμβόλων είναι μικρή, χωρίζουμε την ροή δεδομένων σε πολλές παράλληλες ροές αυξάνοντας τη διάρκεια συμβόλων κάθε ροής έτσι ώστε η καθυστέρηση διάδοσης να είναι μόνο ένα μικρό μέρος της διάρκειας συμβόλων.

Επίσης, το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό σε κανάλια κατά το uplink δηλαδή κατά τη μεταφορά δεδομένων από το SS στο σταθμό βάσης. Για το Uplink συγκεκριμένα υπάρχουν 16 υποκανάλια. Επίσης, το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει Time Division Duplexing (TDD) και Frequency Division Duplexing (FDD) λειτουργίες, τόσο για Full-Duplex όσο και για ημιαμφίδρομους (Half-Duplex) FDD subscriber stations (SS).

Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό των downlink δεδομένων, δηλαδή των δεδομένων από το σταθμό βάσης στον SS. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου Space Time Coding (STC) και τη χρήση Adaptive Antenna Systems (AAS) με Spatial Division Multiple Access (SDMA). Τέλος, το SDMA είναι ένας τρόπος δορυφορικής επί των πλείστων, επικοινωνίας όπου βελτιστοποιεί τη χρήση του ραδιοφάσματος και ελαχιστοποιεί το κόστος συστημάτων με το να εκμεταλλευθεί τις κατευθυντικές ιδιότητες των κεραιών πιάτων.

Η OFDM διαμόρφωση είναι μια αποδοτικότερη διαμόρφωση από πλευράς χρησιμοποίησης του φάσματος, όπου όλα τα subcarriers επιλέγονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όλα να είναι ορθογωνικά το ένα με το άλλο κατά την διάρκεια των συμβόλων. Έτσι αποφεύγουμε να έχουμε επικαλύπτοντα subcarrier κανάλια για να εξαλείψουμε το φαινόμενο ISI. Επιλέγοντας το πρώτο subcarrier να έχει ακέραιο αριθμό κύκλων κατά την διάρκεια ενός συμβόλου και θέτοντας το διάστημα μεταξύ των παρακείμενων subcarrier (το εύρος ζώνης των subcarrier) να είναι ίσο με $B_{sc} = B/L$, όπου B είναι το ονομαστικό εύρος ζώνης (ίσο δηλαδή με το ρυθμό μετάδοσης) και L να είναι ο αριθμός των subcarrier, εξασφαλίζει ότι όλοι οι τόνοι θα είναι ορθογωνικοί ο ένας με τον άλλο κατά την διάρκεια ενός συμβόλου. Μπορεί ναδειχθεί πως το OFDM σήμα είναι ισοδύναμο με τον αντίστροφο διακριτό μετασχηματισμό Fourier (IDFT). Αυτό το καθιστά εξαιρετικά εύκολο να εφαρμόσει τις συσκευές αποστολής σημάτων OFDM και τους δέκτες στον διακριτό χρόνο χρησιμοποιώντας IFFT (αντίστροφο γρήγορο Fourier) και FFT, αντίστοιχα.

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

a. Boldfaced values correspond to those of the initial mobile WiMAX system profiles.

b. The mobile WiMAX subcarrier distribution listed is for downlink PUSC (partial usage of subcarrier).

Εικόνα 3. 2 Παράμετροι του OFDM που χρησιμοποιούνται στο WiMAX

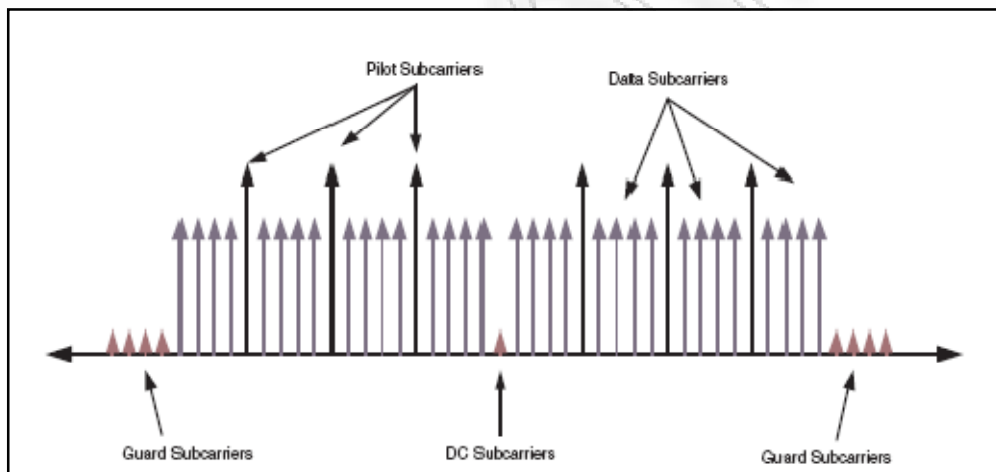
Για να εξαφανιστεί τελείως το φαινόμενο ISI τοποθετούνται διαστήματα «φύλαξης» ανάμεσα στα OFDM σύμβολα. Με το να μεγαλώνουμε την διάρκεια του διαστήματος φύλαξης σε τιμές μεγαλύτερες από την καθυστέρηση που προκαλεί το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών εξαλείφουμε έτσι τελείως το φαινόμενο ISI . Με το να προσθέτουμε διαστήματα «φύλαξης» έχουμε μεγάλη απώλεια ισχύος και μεγάλη πτώση στην φασματική απόδοση. Το ποσό ισχύος που χάνεται εξαρτάται από το πόσο μεγάλο είναι το διάστημα «φύλαξης» ως προς τη διάρκεια του OFDM συμβόλου Έτσι όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ενός συμβόλου για ένα δεδομένο ρυθμό μετάδοσης, εννοώντας φυσικά μεγαλύτερο αριθμό subcarriers –θα είναι μικρότερη η απώλεια ισχύος αλλά και μικρότερη απώλεια από πλευράς απόδοσης του εύρους ζώνης.

Το μέγεθος του μετασχηματισμού Fourier θα πρέπει να επιλέγεται με προσοχή καθώς πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ ασφάλειας και του φαινομένου πολλαπλών διαδρομών ,της μετατόπισης Doppler και του κόστους σχεδιασμού και της πολυπλοκότητας αυτού. Για ένα δεδομένο εύρος ζώνης, η επιλογή ενός μεγάλου σε μέγεθος μετασχηματισμού Fourier, θα ελαχιστοποιούσε τα διαστήματα μεταξύ των subcarrier και θα αύξανε την διάρκεια των συμβόλων. Αυξάνεται έτσι η προστασία του σήματος από το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών. Η μείωση όμως των διαστημάτων μεταξύ των subcarrier κάνει γενικώς το σύστημα περισσότερο τρωτό στο φαινόμενο ISI λόγω της ολίσθησης Doppler στις κινητές εφαρμογές. Είναι λοιπόν απαιτούμενο να υπάρχει μια διαρκής ισορροπία μεταξύ αυτών των φαινομένων για να επιτευχθεί η καλύτερη απόδοση του συστήματος.

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:

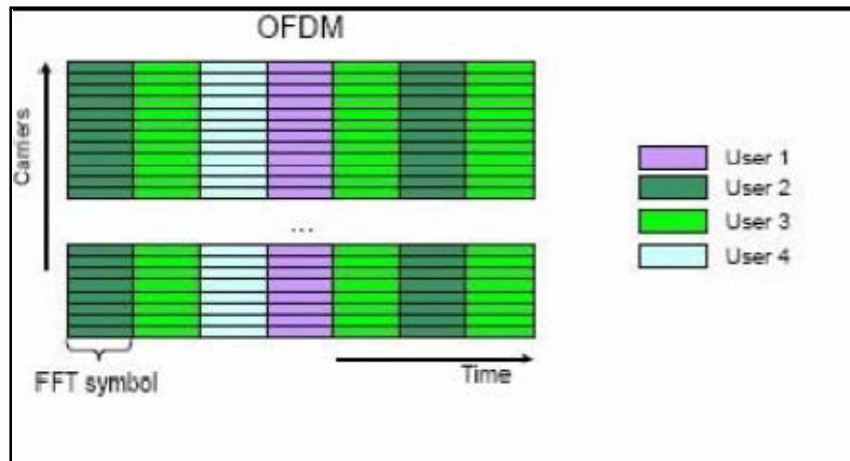
- Φέροντα δεδομένων: Διαμορφώνουν τη ροή δεδομένων.
- Πιλοτικά φέροντα: Μεταφέρουν πληροφορίες άσχετες με τη ροή της καθαρής πληροφορίας. Αυτό περιλαμβάνει τις ροές δεδομένων διαχείρισης και άλλες πληροφορίες.
- Κενά φέροντα: Δεν επιτελούν κανενός είδους μετάδοση, είναι τα φέροντα που εκπέμπονται κατά 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). [1]



Εικόνα 3. 3 Φασματική Περιγραφή OFDM

3.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ OFDM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η OFDM διαμόρφωση έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες λύσεις για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης, ακολουθούν κάποια από αυτά:



Εικόνα 3. 4 Εξυπηρέτηση πολλών Χρηστών με OFDM

- **Χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα:** Η OFDM διαμόρφωση μπορεί να εφαρμοστεί πολύ εύκολα χρησιμοποιώντας μετασχηματισμό Fourier και αντίστροφο Fourier. Η υπολογιστική πολυπλοκότητα της OFDM διαμόρφωσης μπορεί να δείχθει ότι είναι $O(\text{BlogBT}_m)$, όπου B είναι το εύρος ζώνης και T_m είναι η καθυστέρηση διάδοσης. Η πολυπλοκότητα είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με ένα σύστημα βασισμένο σε equalizer το οποίο έχει μια πολυπλοκότητα $O(B^2T_m)$.
- **Σταδιακή υποβάθμιση της απόδοσης λόγω της υπερβολικής καθυστέρησης:** Η απόδοση ενός OFDM συστήματος μειώνεται σταδιακά καθώς η καθυστέρηση ξεπερνάει την τιμή εκείνη για την οποία έχει σχεδιαστεί το σύστημα. Μεγαλύτερη κωδικοποίηση και μικρότερα μεγέθη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλίσουν κάποιους ρυθμούς μετάδοσης οι οποίοι θα είναι σαφώς πιο ανθεκτικοί απέναντι στην διάδοση της καθυστέρησης. Με άλλα λόγια η OFDM διαμόρφωση είναι η ενδεδειγμένη λύση για προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, που επιτρέπει στο σύστημα να έχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στα κανάλια επικοινωνίας.
- **Η εκμετάλλευση της ποικιλομορφίας συχνότητων:** Η OFDM διαμόρφωση διευκολύνει συνολικά την κωδικοποίηση αλλά και την διόρθωση λαθών σε όλα τα subcarriers στο πεδίο των συχνότητων. Γεγονός που παρέχει μια ευρωστία απέναντι στα καταιγιστικά σφάλματα που συμβαίνουν από τμήματα του μεταδιδόμενου φάσματος τα οποία έχουν υποβληθεί σε μεγάλες εξασθενίσεις.
- **Η χρήση ενός σχεδίου πολλαπλής πρόσβασης** Η OFDM διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα σχέδιο πολλαπλής πρόσβασης, όπου διαφορετικοί τόνοι χωρίζονται και μοιράζονται σε διαφορετικούς χρήστες. Αυτό το σχέδιο ονομάζεται OFDMA το οποίο χρησιμοποιείται στο mobile

WiMAX. Επίσης αυτό το σχέδιο προσφέρει την δυνατότητα πολύ λεπτού διαμερισμού δεδομένων στην κατανομή καναλιών. Συγκεκριμένα σε χαμηλής ταχύτητας μεταβαλλόμενα κανάλια είναι δυνατόν να αυξήσουμε σημαντικά την χωρητικότητα τους με το να προσαρμόζουμε τον ρυθμό δεδομένων ανά χρήστη ανάλογα με το SNR του συγκεκριμένου χρήστη.

- **Είναι ιδανικά για σωστή αποδιαμόρφωση:** Είναι σχετικά εύκολο να γίνει πειραματική εκτίμηση διαύλου σε OFDM συστήματα γεγονός που διευκολύνει την αποδιαμόρφωση του σήματος η οποία θα είναι πιο αποτελεσματική από πλευράς ισχύος.

Όμως παρά τα πολλά πλεονεκτήματα η OFDM διαμόρφωση έχει να αντιμετωπίσει και πολλές προκλήσεις. Πρώτα από όλα υπάρχει ένα πρόβλημα όσον αφορά τα OFDM σήματα τα οποία έχουν υψηλές κορυφές σε σχέση με τη μέση τιμή του πλάτους με αποτέλεσμα να προκαλούνται μη γραμμικότητες καθώς και παρεμβολές που κάνουν το σήμα να αποδιαμορφώνεται πάρα πολύ δύσκολα. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκειες ισχύος οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν. Δεύτερον τα OFDM σήματα είναι ευαίσθητα σε θορύβους φάσης και διασπορά συχνότητας και το όλο σχέδιο πρέπει να μετριάσει αυτές τις ατέλειες. Αυτό το κάνει απόλυτα σημαντικό στο να έχουμε ακριβή συγχρονισμό συχνότητας. [1]

3.2.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ OFDM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Τα υπάρχοντα Subcarriers μπορούν να χωριστούν σε διαφορετικά γκρουπ που ονομάζονται subchannels . Όσο αφορά το WiMAX για σταθερά σημεία δηλαδή το φυσικό επίπεδο βασισμένο σε OFDM διαμόρφωση μπορεί να επιτρέψει μόνο ένα μέρος αυτού του διαχωρισμού των subcarriers και μόνο στο uplink. Το πρότυπο ορίζει την ύπαρξη μόνο 16 subchannel όπου ένα ή όλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα SS (subscriber station) στο uplink. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στο WiMAX για σταθερά σημεία και πιο συγκεκριμένα για τα SS να εκπέμπουν χρησιμοποιώντας μόνο το 1/16 του εύρους ζώνης που έχει οριστεί σε αυτό από το σταθμό βάσης. Κάτι τέτοιο επιφέρει βελτιώσεις όπως βελτίωση της ποιότητας συνδέσεων , βελτίωση της απόδοσης όσο αφορά την περιοχή που καλύπτει καθώς επίσης και την μεγαλύτερη διάρκεια των μπαταριών των SS. Αυτό το 1/16 επιφέρει βελτίωση της απόδοσης των ζεύξεων της τάξης των 12dB.

Το mobile WiMAX το οποίο χρησιμοποιεί την OFDMA διαμόρφωση, επιτρέπει την παραπάνω τεχνική του διαχωρισμού των subcarrier τόσο στο uplink όσο και στο downlink. Έτσι διαφορετικά subchannels μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διαφορετικούς χρήστες σαν ένας μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης που ονομάζεται OFDMA από τον οποίον παίρνει το όνομα του και το φυσικό επίπεδο του mobile WiMAX.

Τα subchannels μπορούν να σχηματιστούν είτε χρησιμοποιώντας τα παρακείμενα subcarrier είτε τα subcarrier που έχουν επιλεγεί τυχαία μέσα από το φάσμα συχνοτήτων. Τα subchannels που σχηματίζονται

από καταναμημένα subcarriers δημιουργούν διαφορισμό στο πεδίο της συχνότητας, ο οποίος είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στις κινητές επικοινωνίες.

Το WiMAX ορίζει μεγάλη ποικιλία τρόπων διαχωρισμού βασισμένων σε καταναμημένα subcarriers τόσο για το uplink όσο και για το downlink. Το ένα ονομάζεται PUSC (partial usage of subcarriers), δηλαδή μερική χρήση των subcarrier που είναι υποχρεωτική για κάθε κινητή εφαρμογή. Για τα αρχικά προφίλ του WiMAX ορίζονται περίπου 15 με 17 διαχωρισμοί τόσο στο downlink όσο και στο uplink. Έτσι με την χρήση της PUSC με εύρος ζώνης 5MHz ή ακόμα καλύτερα με εύρος ζώνης 10 MHz θα έχουμε περίπου 30 με 35 κανάλια.

Το σχέδιο διαχωρισμού που βασίζεται σε παρακείμενα subcarrier στο WiMAX ονομάζεται AMC (adaptive modulation and coding) προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση. Παρότι ο διαφορισμός συχνοτήτων δεν υπάρχει πλέον επιτρέπει στους σχεδιαστές να εκμεταλλευτούν την δυνατότητα πολλαπλών χρηστών τοποθετώντας subchannels στους χρήστες ανάλογα με την αντίδραση συχνότητας τους. Με πολλαπλούς χρήστες παρέχεται στο σύστημα σημαντικό κέρδος από πλευράς χωρητικότητας. [1]

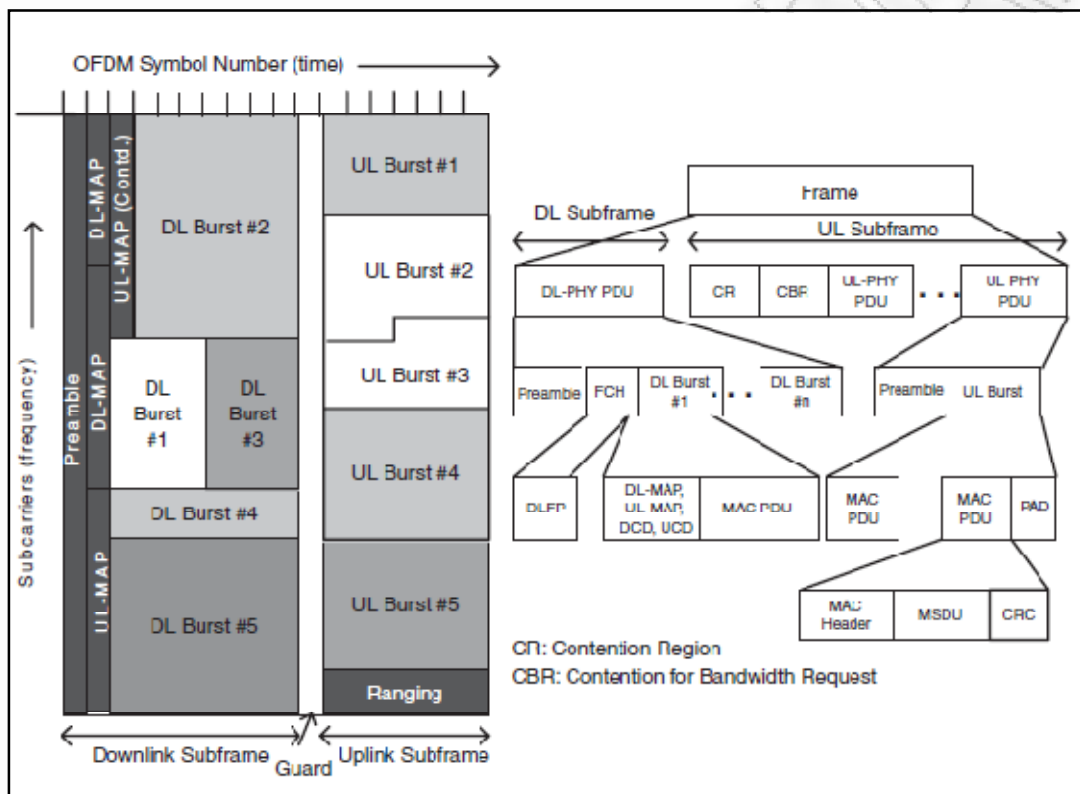
Σύμβολα	Περιγραφή	Σχέση	Ενδεικτική Τιμή
B	Εύρος Ζώνης	$B = 1/T_s$	10 MHz
L	Αριθμός Υποφερόντων	Μέγεθος IFFT/FFT	1024
G	Διάστημα Φύλαξης	% του L για το CP	1/8
L_d	Υποφέροντα Δεδομένων	L – πιλοτικά/μηδενικά Υποφέροντα	768
T_s	Χρόνος Δειγματοληψίας	$T_s = 1/B$	1 μsec
N_g	Σύμβολα Φρούρησης	$N_g = GL$	128
T_g	Διάρκεια Φρούρησης	$T_g = T_s N_g$	12.8 μsec
T	Διάρκεια OFDM Συμβόλου	$T = T_s (L + N_g)$	115.2 μsec
B_{sc}	Εύρος Ζώνης Υποφερόντων	$B_{sc} = B/L$	9.76 KHz

Πίνακας 3. 1 Περίληπτική Παρουσίαση των Παραμέτρων του OFDM στο WiMAX

3.2.3.1. ΔΟΜΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (FRAMES) ΚΑΙ ΣΧΙΣΜΩΝ (SLOTS) ΤΟΥ OFDM

Το φυσικό επίπεδο του WiMAX είναι επίσης υπεύθυνο για την κατανομή των σχισμών και των πλαίσιων κατά την διάρκεια εκπομπής και λήψης του σήματος όταν αυτό βρίσκεται στον αέρα. Το ελάχιστο μέγεθος συχνότητας που μπορεί να διατεθεί από ένα σύστημα WiMAX σε μια δεδομένη σύνδεση ονομάζεται υποδοχή. Κάθε υποδοχή αποτελείται από ένα subchannel , πάνω από ένα, δύο ή τρία OFDM σύμβολα,

ανάλογα πάντα με το σχέδιο διαχωρισμού που χρησιμοποιείται. Κάθε παρακείμενη σειρά υποδοχών που ανατίθεται σε κάποιο χρήστη, ονομάζεται περιοχή δεδομένων αυτού του χρήστη. Αλγόριθμοι μπορούν να αναθέσουν περιοχές δεδομένων σε διαφορετικούς χρήστες, ανάλογα με την ζήτηση, τις απαιτήσεις της QoS και της κατάστασης των καναλιών.



Εικόνα 3. 5 Λειτουργία OFDM πλαισίου με χρήση TDD

Στο παραπάνω σχήμα 3.5 βλέπουμε ένα OFDMA πλαίσιο όταν αυτό λειτουργούν σε TDD (time division duplex). Το πλαίσιο είναι χωρισμένο σε δύο subframes : ένα πλαίσιο για το downlink και ένα πλαίσιο για το uplink, τα οποία βέβαια ακολουθούνται από ένα διάστημα-φύλακα. Η αναλογία downlink-uplink μεταβάλλεται μεταξύ 3:1 και 1:1 έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές μεθόδους που αφορούν την κίνηση στο δίκτυο. Επίσης το WiMAX υποστηρίζει FDD(Frequency Division Duplexing), κατά την οποία η δομή των πλαισίων είναι ίδια με την μόνη διαφορά ότι τόσο το downlink όσο και το uplink μεταδίδονται ταυτόχρονα με διαφορετικά φέροντα. Μερικά από τα συστήματα που χρησιμοποιούν WiMAX για σταθερά σημεία χρησιμοποιούν FDD. Όμως, η πλειοψηφία των συστημάτων είναι πιο πιθανόν να χρησιμοποιήσουν TDD, λόγω των περισσότερων πλεονεκτημάτων που έχει. Η μέθοδος TDD επιτρέπει καλύτερο μοίρασμα του

εύρους ζώνης μεταξύ του downlink και του uplink, δεν απαιτείται ξεχωριστό φάσμα. Επίσης, έχει ένα αμοιβαίο κανάλι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χωρική επεξεργασία (spatial processing), και ο σχεδιασμός του πομποδέκτη είναι πολύ πιο απλός. Το μειονέκτημα όμως του TDD είναι ότι πρέπει να υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ πολλαπλών σταθμών βάσης για να διασφαλίσει ότι δεν θα υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ των σταθμών βάσης και θα μπορούν να συνυπάρχουν χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα. Μερικοί κανονισμοί που αφορούν τις μπάντες που χρησιμοποιούνται μπορεί να οδηγήσουν τους administrator των συστημάτων WiMAX να χρησιμοποιήσουν FDD.

Όπως φαίνεται στο σχήμα που είδαμε παραπάνω, το subframe του downlink ξεκινά με έναν πρόλογο που χρησιμοποιείται στις διαδικασίες που αφορούν το φυσικό επίπεδο όπως είναι συγχρονισμός σε επίπεδο χρόνου και συχνότητας και η αρχική εκτίμηση των καναλιών. Ο πρόλογος του downlink ακολουθείται από ένα πλαίσιο που ονομάζεται FCH(Frame Control Header), το οποίο παρέχει πληροφορίες που αφορούν τα πλαίσια, όπως το MAP δηλαδή το μήκος του μηνύματος, το σχέδιο διαμόρφωσης, αλλά και ποια subcarriers μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Πολλαπλοί χρήστες είναι ουσιαστικά οι περιοχές δεδομένων που κατανέμονται μέσα στο πλαίσιο και αυτές οι κατανομές διευκρινίζονται στα μηνύματα MAP των downlink και uplink(DL-MAP και UL-MAP), τα οποία μεταδίδονται ακολουθώντας το FCH στο subframe του downlink. Τα μηνύματα MAP εμπεριέχουν τα προφίλ των χρηστών, το οποίο καθορίζει το σχέδιο κωδικοποίησης και διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται στη σύνδεση. Εφόσον, τα μηνύματα MAP περιέχουν σημαντικές πληροφορίες, οι οποίες πρέπει να φτάσουν σε κάθε χρήστη, συνήθως στέλνονται μέσω μιας αξιόπιστης σύνδεσης όπως η BPSK με ρυθμό $\frac{1}{2}$ κωδικοποίησης και επαναληπτικής κωδικοποίησης. Τα μεταδιδόμενα μηνύματα MAP μπορούν επίσης προαιρετικά να συμπειστούν για πρόσθετη αποδοτικότητα.

Το WiMAX είναι ιδιαίτερα ευέλικτο όσον αφορά το πώς πολλαπλοί χρήστες και πακέτα πολυπλέκονται σε ένα μόνο πλαίσιο. Ένα μόνο downlink πλαίσιο μπορεί να περιέχει πολλαπλά κομμάτια διαφορετικού μεγέθους και τύπου, μεταφέροντας δεδομένα για διαφορετικούς χρήστες. Το μέγεθος των πλαισίων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το πλαίσιο και μπορεί να κυμαίνεται από 2ms έως 20ms και κάθε καταιγισμός δεδομένων μπορεί να περιέχει πολλαπλά συνδεδεμένα πακέτα σταθερού μεγέθους ή πακέτα διαφορετικών μεγεθών ή κομμάτια από πακέτα που λαμβάνονται από τα ανώτερα επίπεδα. Πάντως, αρχικά όλος ο εξοπλισμός WiMAX υποστηρίζει πακέτα των 5ms. Το subframe του uplink αποτελείται από διάφορους καταιγισμούς δεδομένων που συμβαίνουν στο uplink από διαφορετικούς χρήστες. Το subframe είναι ένα κανάλι που εκτελεί διάφορες ρυθμίσεις που έχουν να κάνουν με το χρόνο, τη συχνότητα και την ισχύ, κατά την διάρκεια εισαγωγής του δικτύου. Το κανάλι αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί από SS (Subscriber Stations) ή κινητούς σταθμούς, για να γίνουν αιτήσεις χρησιμοποίησης του εύρους ζώνης του uplink. Τέλος σε αυτό μπορούν να σταλούν δεδομένα όταν το μέγεθος των δεδομένων είναι πολύ μικρό για να δικαιολογήσει την

χρησιμοποίηση ενός κανονικού καναλιού. Εκτός από αυτό το κανάλι και του καταιγισμού δεδομένων το subframe του uplink, έχει ένα δείκτη ποιότητας καναλιού που λέγεται CQICH για τα subscriber stations ώστε να παρέχει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον δημιουργό προγράμματος του σταθμού βάσης και από το κανάλι απαντήσεων (ACK) των subscriber stations για να παρέχουν ACK στο downlink

Για να ελεγχθούν πιθανές εναλλαγές χρόνου, το WiMAX, μπορεί επιλεκτικά να υποστηρίζει επαναληπτικούς «προλόγους» πιο συχνά. Στο uplink μικροί «πρόλογοι» οι οποίοι ονομάζονται midambles, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά από 8, 16, 32 σύμβολα. Στο downlink ένας μικρός «πρόλογος» μπορεί να εισαχθεί στην αρχή κάθε καταιγισμού δεδομένων. Έχει υπολογιστεί ότι εάν έχουμε έναν midamble κάθε 10 σύμβολα, μπορεί να επιτραπεί κινητικότητα ταχύτητας 150Km/h. [1]

3.2.4. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ OFDM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΟ WiMAX

Όπως έχουμε μιλήσει και παραπάνω υπάρχει τόσο έκδοση του WiMAX για σταθερά σημεία, η συγκεκριμένη έκδοση είναι αυτή του IEEE802.16d που εγκρίθηκε το 2004, αλλά υπάρχει έκδοση για το WiMAX και για τις ανάγκες όσων είναι εν κινήσει και ονομάζεται mobile WiMAX και καλύπτεται από την έκδοση του IEEE802.16e που εγκρίθηκε το 2005. Μπορεί ουσιαστικά να είναι το ίδιο πρότυπο αλλά υλοποιούνται με διαφορετικό τρόπο. Η έκδοση για τα σταθερά σημεία χρησιμοποιεί μετασχηματισμό Fourier 256 bit για OFDM διαμόρφωση, ενώ η έκδοση για το mobile WiMAX χρησιμοποιεί μετασχηματισμό Fourier για OFDMA που μπορεί να κυμαίνεται από 128 bit έως 2048 bit.

Στο παρακάτω πίνακα ακολουθούν όλες οι βασικές εκδόσεις του IEEE 802.16 με τις παραμέτρους του:

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

a. WirelessHUMAN (wireless high-speed unlicensed MAN) is similar to OFDM-PHY (physical layer) but mandates dynamic frequency selection for license-exempt bands.

Πίνακας 3. 2 Βασικοί Παράμετροι των IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16-2005 Standards

Επομένως θα αναφερθούμε για το OFDM φυσικό επίπεδο και των 2 εκδόσεων και θα ξεκινήσουμε με πρώτο το:

- **Το φυσικό επίπεδο OFDM για σταθερά σημεία**

Αυτή η έκδοση έχει σταθερό μετασχηματισμό Fourier στα 256bits από τα οποία τα 192 χρησιμοποιούνται από τα subcarriers για μεταφορά δεδομένων ενώ άλλα 8 χρησιμοποιούνται για θέματα καθορισμού καναλιών και συγχρονισμού και τέλος τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται ως «φύλακες» subcarriers. Εφόσον το μέγεθος του μετασχηματισμού Fourier είναι σταθερό αυτό σημαίνει πως το διάστημα μεταξύ των

subcarrier διαφέρει ανάλογα με το εύρος ζώνης του καναλιού. Όταν χρησιμοποιούνται μεγαλύτερα εύρη ζώνης, το διάστημα μεταξύ των subcarrier αυξάνεται ενώ ο χρόνος διάρκειας συμβόλων μειώνεται. Με τη μείωση της διάρκειας συμβόλων θα πρέπει να ρυθμίσουμε ένα μεγαλύτερο διάστημα φύλαξης για να αποφύγουμε την καθυστέρηση διάδοσης. Για να έχουμε την μέγιστη ανεκτικότητα στο πρόβλημα της καθυστέρησης διάδοσης θα πρέπει να τοποθετείται ένα 25% διάστημα φύλαξης που αντισταθμίζει καθυστέρηση έως 16μs όταν χρησιμοποιείται κανάλι των 3.5MHz και καθυστέρηση 8μs όταν χρησιμοποιείται κανάλι των 7MHz. Επομένως έχοντας ελαχιστοποιήσει το φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών στα κανάλια, μπορούμε να μειώσουμε το χρόνο διάρκειας των διαστημάτων φύλαξης έως 3%.

- **Το φυσικό επίπεδο OFDMA για το mobile WiMAX**

Στο mobile WiMAX ο μετασχηματισμός Fourier είναι κλιμακωτός ξεκινάει από 128 και μπορεί να φτάσει μέχρι τα 2048. Έτσι όταν το εύρος ζώνης μεγαλώνει και το μέγεθος του μετασχηματισμού Fourier μεγαλώνει επίσης με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το διάστημα μεταξύ των subcarriers να είναι πάντα 10.94KHz. Με αυτό τον τρόπο κρατάμε την διάρκεια των συμβόλων σε ένα OFDM σήμα σταθερό και έτσι η κλιμάκωση του μετασχηματισμού Fourier έχει ελάχιστες επιπτώσεις στα ανώτερα επίπεδα. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι τέτοιου είδους κλιμάκωση κρατάει το κόστος σε χαμηλά επίπεδα. Το διάστημα των 10.94KHz επιλέχθηκε διότι κρατάει μια ισορροπία μεταξύ της καθυστέρησης διάδοσης αλλά και τις απαιτήσεις που χρειάζεται η ολισθήση Doppler για να λειτουργήσει σε σταθερά αλλά και περιβάλλοντα που απαιτούν κίνηση. Το διάστημα των 10.94KHz μπορεί να υποστηρίξει τιμές καθυστέρησης έως 20μs και να υποστηρίξει ταχύτητα κίνησης έως 125Kmph όταν λειτουργεί στο κανάλι των 3.5GHz. Επίσης με την χρήση αυτού του διαστήματος εννοείται πως το μέγεθος του μετασχηματισμού Fourier θα αυξάνεται από 128 σε 512 , 1024 και τέλος 2048 όταν το εύρος ζώνης θα είναι 1.25MHz, 5MHz, 10MHz και 20MHz. [1]

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα profiles των fixed και mobile WiMAX:

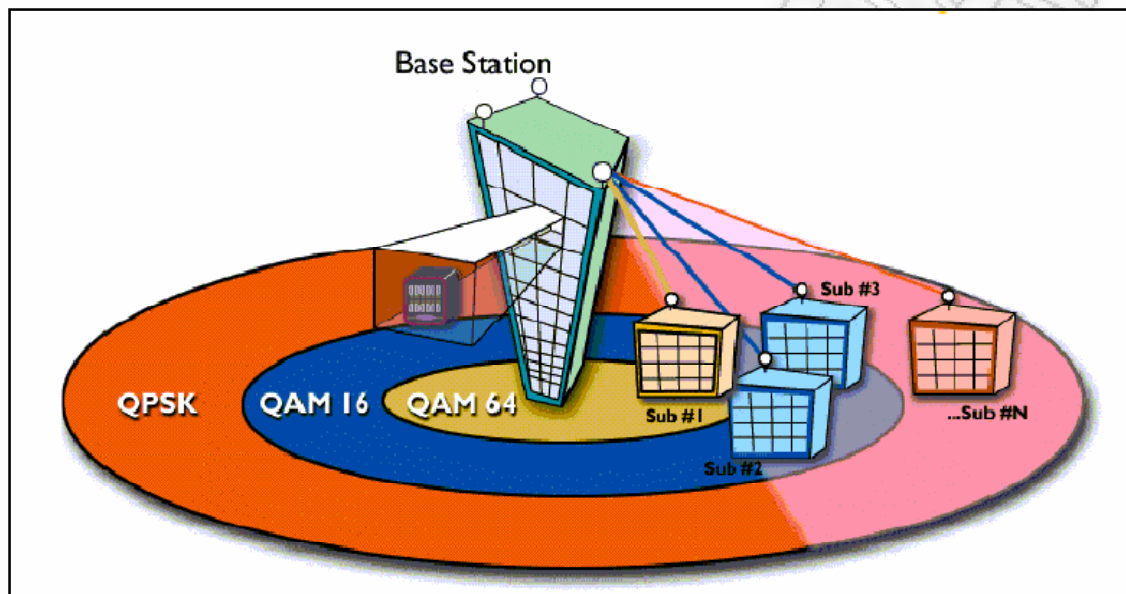
Band Index	Frequency Band	Channel Bandwidth	OFDM FFT Size	Duplexing	Notes
Fixed WiMAX Profiles					
1	3.5 GHz	3.5MHz	256	FDD	Products already certified
		3.5MHz	256	TDD	
		7MHz	256	FDD	
		7MHz	256	TDD	
2	5.8GHz	10MHz	256	TDD	
Mobile WiMAX Profiles					
1	2.3GHz–2.4GHz	5MHz	512	TDD	Both bandwidths must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

Πίνακας 3. 3 Τα profiles των Fixed και Mobile WiMAX

3.2.5. ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ WiMAX

Το WiMAX υποστηρίζει πολλά σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που επιτρέπει στο εκάστοτε σχέδιο να αλλάζει σε κάθε καταιγισμό ανά ζεύξη, ανάλογα με τις συνθήκες των καναλιών. Ο σταθμός βάσης μπορεί να επιλέγει για κάθε ζεύξη το καταλληλότερο σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, ώστε να μεγιστοποιεί το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για το δεδομένο σηματοθορυβικό λόγο. Η μέθοδος διαμόρφωσης και κωδικοποίησης μπορεί να μεταβάλλεται σε κάθε ριπή δεδομένων. Η απόφαση για την επιλογή βασίζεται στην εκτίμηση της ποιότητας του διαύλου. Για την κάτω ζεύξη, ο σταθμός βάσης πληροφορείται από το κινητό σταθμό, μέσω του CHQICH, την εκτίμηση που έχει ο κινητός σταθμός για την κάτω ζεύξη. Για την άνω ζεύξη, ο σταθμός βάσης επεξεργάζεται το σήμα που λαμβάνει από τον κινητό σταθμό και με βάση αυτήν την επεξεργασία, αποκτά μια εκτίμηση διαύλου. Η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση αυξάνει σημαντικά την συνολική χωρητικότητα του συστήματος, καθώς επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο εναλλαγές μεταξύ ρυθμού μετάδοσης και ευρωστίας σε κάθε σύνδεση. [1]

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 3.6.



Εικόνα 3. 6 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. [2]

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε τα διάφορα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που υποστηρίζει το WiMAX :

	Downlink	Uplink
Modulation	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM; BPSK optional for OFDMA-PHY	BPSK, QPSK, 16 QAM; 64 QAM optional
Coding	Mandatory: convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 Optional: convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC, RS-Codes for OFDM-PHY	Mandatory: convolutional codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 Optional: convolutional turbo codes at rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6; repetition codes at rate 1/2, 1/3, 1/6, LDPC

Πίνακας 3. 4 Διαμορφώσεις και Κωδικοποιήσεις που υποστηρίζει το WiMAX

Στο downlink, οι διαμορφώσεις ,QPSK, 16 QAM, και 64 QAM, είναι υποχρεωτικές τόσο για το WiMAX για σταθερά σημεία όσο και για το mobile WiMAX, η διαμόρφωση 64 QAM είναι προαιρετική για το uplink. Η FEC κωδικοποίηση, χρησιμοποιεί συνελκτικούς κώδικες, κάτι το οποίο βεβαία είναι υποχρεωτικό. Οι ανελκτικοί κώδικες συνδυασμένοι με έναν Reed Solomon κώδικα στο downlink χρησιμοποιούνται για το φυσικό επίπεδο που χρησιμοποιεί OFDM διαμόρφωση. Το στάνταρ είναι η χρησιμοποίηση turbo codes και LDPC(Low Density Parity Check), σε μια ποικιλία από ρυθμούς μετάδοσης κωδικών. Ένα σύνολο 52 συνδυασμών διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, ορίζονται στο WiMAX. [1]

3.2.6. ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Καθώς το φυσικό επίπεδο του WiMAX είναι αρκετά ευέλικτο, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων και το πόσο φτάνουν τις πραγματικές τιμές τους, ποικίλουν ανάλογα με τις ρυθμίσεις με τις οποίες λειτουργεί το σύστημα. Οι παράμετροι που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο ρυθμό μετάδοσης του φυσικού επιπέδου, είναι το εύρος ζώνης του καναλιού και το σχέδιο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται. Άλλες παράμετροι, όπως ο αριθμός των subchannels, του διαστήματος φύλαξης OFDM και η υπερ-δειγματοληψία έχουν επίσης σημαντικό αντίκτυπο.

Στον πίνακα 3.5 περιέχονται οι ρυθμοί μετάδοσης του φυσικού επιπέδου σε διάφορα εύρη ζώνης καναλιών καθώς και σε διάφορα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης:

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

Πίνακας 3. 5 Data Rate στο Φυσικό Επίπεδο για διάφορες τιμές του Εύρους Ζώνης

Οι ρυθμοί μετάδοσης που φαίνονται στο πίνακα είναι οι συνολικοί ρυθμοί μετάδοσης φυσικού επιπέδου που μοιράζεται μεταξύ όλων των χρηστών στον τομέα για την περίπτωση TDD, υποθέτοντας πάντα μια αναλογία 3:1 μεταξύ του εύρους ζώνης downlink και uplink. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι το μέγεθος του πλαισίου είναι 5ms, ένα 12,5% επικεφαλίδα για ένα διάστημα φύλαξης OFDM, και ένα σχέδιο μεταλλαγής PUSC subcarriers. Επίσης, υποτίθεται ότι όλα τα χρησιμοποιήσιμα OFDM σύμβολα δεδομένων, είναι διαθέσιμα για κίνηση στο δίκτυο εκτός από ένα σύμβολο που χρησιμοποιείται ως επικεφαλίδα πλαισίου για το downlink.

Τα νούμερα που φαίνονται εδώ δεν χρησιμοποιούν χωρική πολυπλεξία χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη, η χρήση των οποίων μπορεί να αυξήσει τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης σε κανάλια που είναι πλούσια σε πολλαπλές διαδρομές. [1]

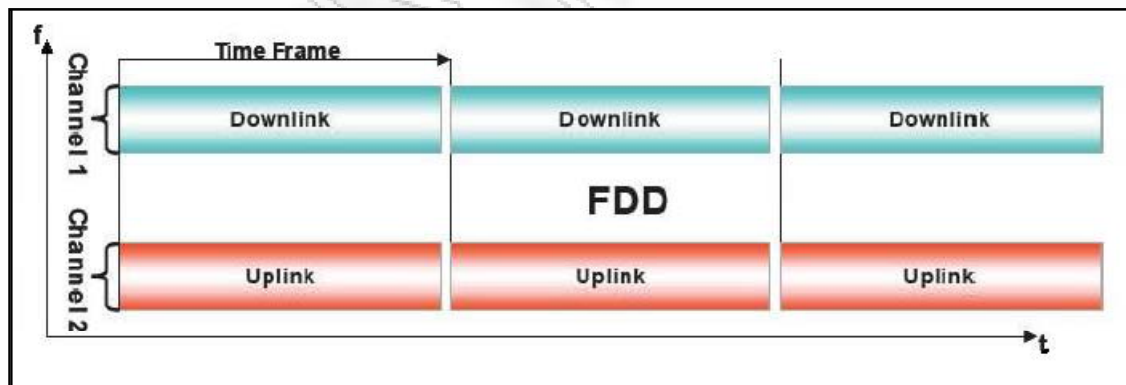
3.2.7. FDD – TDD

3.2.7.1. ΓΕΝΙΚΑ

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.

3.2.7.2. 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:



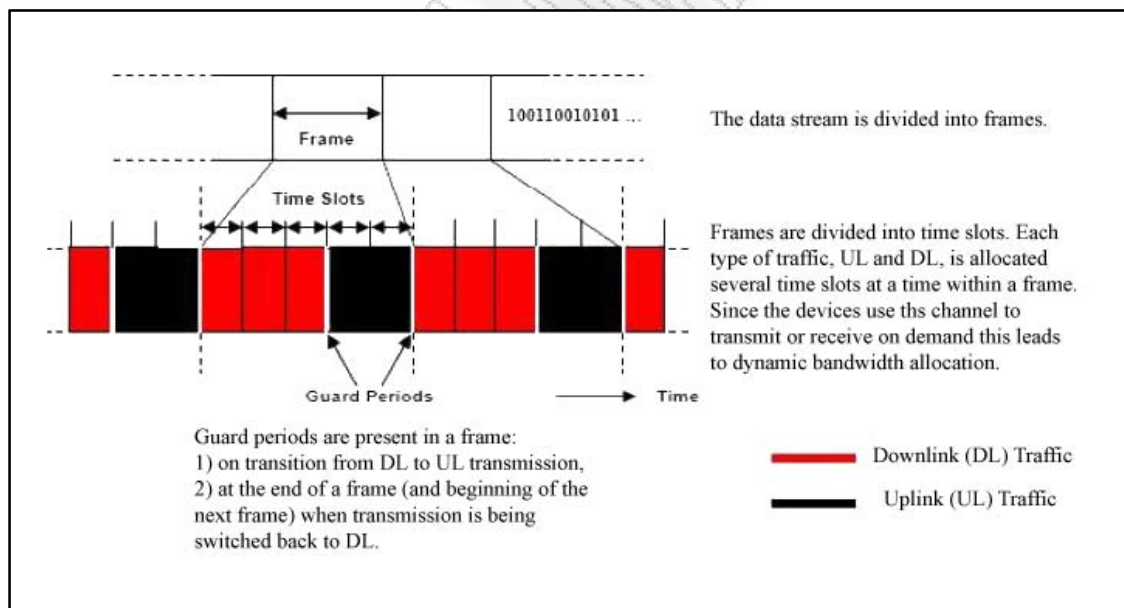
Εικόνα 3. 7 Η Τεχνική FDD

Όπως βλέπουμε και στην παραπάνω εικόνα, μεταξύ της υπο-ζώνης κατερχόμενης και ανερχόμενης ροής πρέπει να παρεμβάλλεται ένα συχνотικό διάστημα, προς αποφυγή πιθανών παρεμβολών μεταξύ των δύο ροών. Το συχνотικό αυτό διάστημα φύλαξης κυμαίνεται από 50 έως 100MHz. [2],[3]

3.2.7.3. 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 διάταξη πομπού στην αντίστοιχη του δέκτη και στους συνδρομητικούς σταθμούς να μεταπέσουν από τη διάταξη 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. [2],[4]

Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η τεχνική TDD:



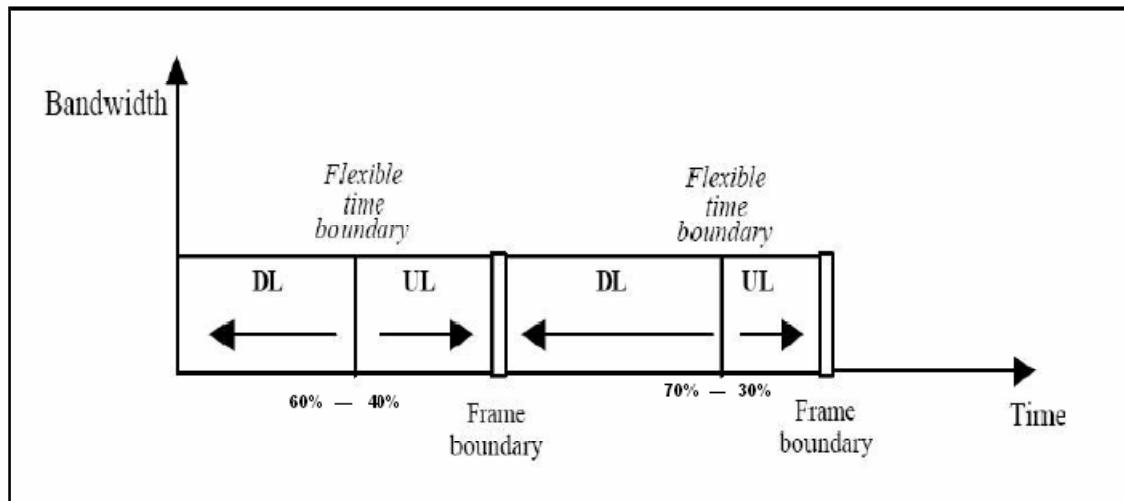
Εικόνα 3. 8 Η Τεχνική TDD

3.2.7.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ 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 επέμψει ο ελάχιστος 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 χρονοσχημάτων 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. 9 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). [2], [5], [6]

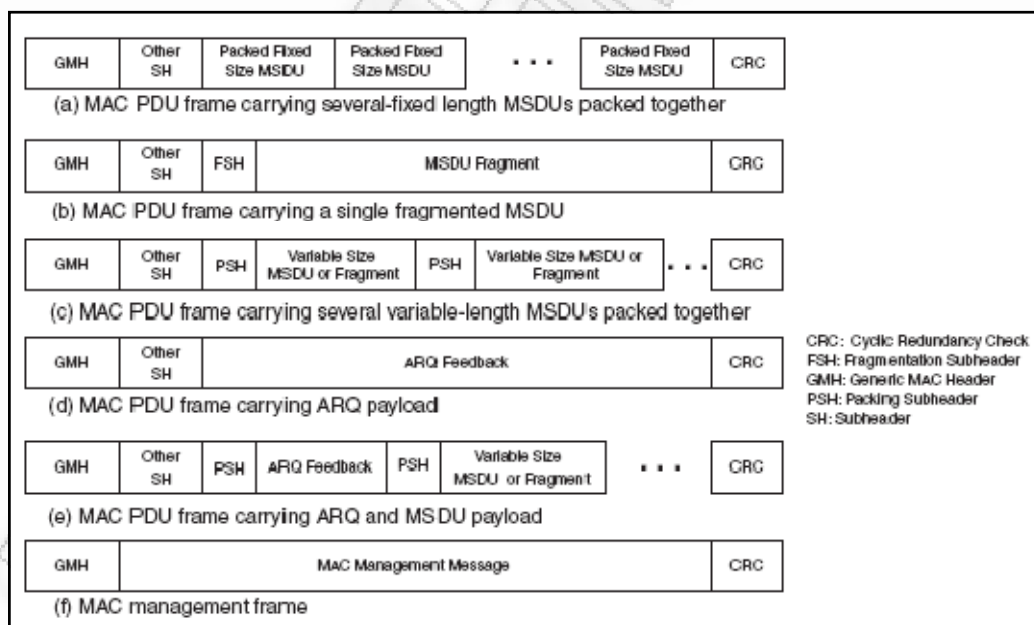
3.3. Το Επίπεδο MAC του WIMAX

Μια από τις βασικές εργασίες του επιπέδου MAC είναι να παρέχει μια διεπαφή μεταξύ των υψηλότερων επιπέδων μεταφοράς και του φυσικού επιπέδου. Το MAC επίπεδο παίρνει πακέτα από υψηλότερα επίπεδα, που ονομάζονται MAC Service Data Units (MSDUs), και τα οργανώνει με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνουν MAC Protocol Data Units (MPDUs) και να μεταδοθούν μέσω του αέρα. Για μεταδόσεις που λαμβάνονται από το MAC επίπεδο γίνεται ακριβώς το αντίθετο. Τα MAC επίπεδα των IEEE 802.16-2004 and IEEE 802.16e-2005 περιλαμβάνουν ένα επιπλέον επίπεδο που ονομάζεται convergence sublayer που αλληλεπιδρά με μια

ποικιλία από πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου, όπως το ATM, TDM voice, Ethernet, IP και άλλα μελλοντικά άγνωστα πρωτόκολλα. Δεδομένης της κυριαρχίας του Ethernet και του IP στην αγορά, το WiMAX forum αποφάσισε να υποστηρίξει το IP και το Ethernet για την ώρα. Εξάλλου, παρέχει πλήρη γνώση από και προς τα υψηλά επίπεδα, έτσι το convergence sublayer υποστηρίζει την δυνατότητα καταστολής των επικεφαλίδων MSDU , για να μειώσει τις επικεφαλίδες των υψηλότερων επιπέδων στα πακέτα.

Το επίπεδο MAC του WiMAX σχεδιάστηκε από την αρχή έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων σε συνδυασμό με την ποιότητα υπηρεσιών που υπάρχει ήδη στα πρωτόκολλα ATM και DOCSIS. Το επίπεδο MAC του WiMAX χρησιμοποιεί διαφόρου μήκους MPDU και παρέχει μεγάλη ευελιξία στην καλύτερη δυνατή μετάδοση τους. Για παράδειγμα, πολλαπλά MPDU ίδιου ή διαφορετικού μήκους μπορούν να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μεταδοθούν μέσω ενός καταιγισμού δεδομένων και να γλιτώσουν επικεφαλίδες του φυσικού επιπέδου. Με παρόμοιο τρόπο, πολλαπλά MSDU από την ίδια υπηρεσία υψηλού επιπέδου, μπορούν να δημιουργήσουν ένα ενιαίο MSDU για να γλιτώσουν MAC επικεφαλίδες. Αντιθέτως, μεγάλα σε μέγεθος MSDU μπορούν να κοπούν σε μικρότερα MPDU και να σταλούν μέσω πολλαπλών πλαισίων.

Το σχήμα 3.10 δείχνει παραδείγματα από διάφορα MPDU πλαίσια:



Εικόνα 3.10 Παραδείγματα ποικίλων MAC PDU Frames

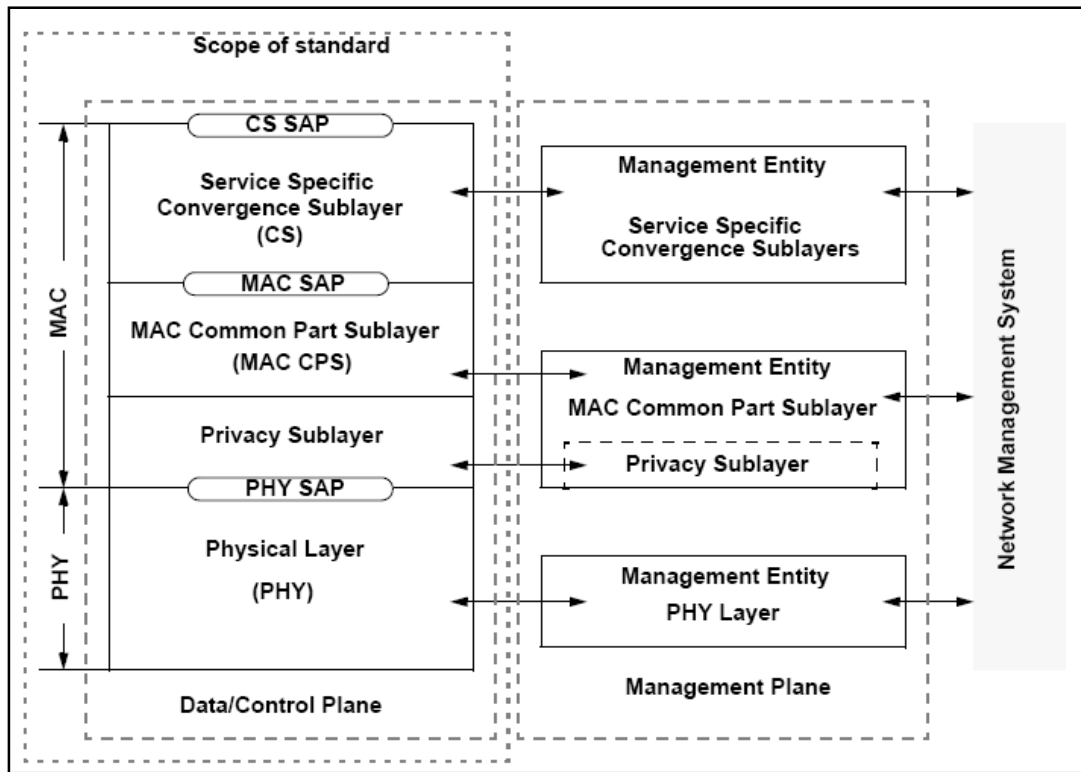
Κάθε πλαίσιο MAC έχει εξ αρχής μια επικεφαλίδα MAC που ονομάζεται GMH, η οποία περιέχει ένα CID (Connection Identifier), το μήκος του πλαισίου, bits για να δικαιολογεί την παρουσία του CRC, μικρές επικεφαλίδες, καθώς και πληροφορίες για το αν τα δεδομένα είναι κρυπτογραφημένα, κι αν ναι με ποιο κλειδί. Τα ενεργά MAC δεδομένα θα είναι είτε μήνυμα μεταφοράς είτε μήνυμα διαχείρισης. Εκτός από τα MSDUs, τα μηνύματα μεταφοράς μπορεί να περιέχουν αιτήσεις που αφορούν το εύρος ζώνης ή αιτήσεις για επαναμετάδοση. Το είδος του μηνύματος, μεταφοράς αναγνωρίζεται από την μικρή επικεφαλίδα που προηγείται του μηνύματος. Παραδείγματα τέτοιων μικρών επικεφαλίδων, είναι επικεφαλίδες συσκευασίας και επικεφαλίδες τεμαχισμού. Το επίπεδο MAC του WiMAX υποστηρίζει επίσης ARQ, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για αιτήσεις επαναμετάδοσης για MSDUs που δεν τεμαχίστηκαν και κομμάτια από MSDUs. Το μέγιστο μήκος πλαισίου είναι 2047bytes το οποίο, φαίνεται στην GMH επικεφαλίδα με 11bits. [1]

3.3.1. ΜΙΑ ΠΙΟ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΟ MAC ΕΠΙΠΕΔΟ

Το πρότυπο IEEE 802.16 καθορίζει τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI μοντέλου δηλαδή το φυσικό και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (το οποίο περιλαμβάνει το MAC επίπεδο), point-to-multipoint (από ένα σε πολλά σημεία) συστημάτων ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης. Όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω, η ανάπτυξη αυτών των επιπέδων είναι τέτοια ώστε τα προϊόντα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης που κατασκευάζονται με βάση αυτό το πρότυπο να είναι ευέλικτα και έτσι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά.

Πριν αρχίσουμε να περιγράφουμε τη στοίβα πρωτοκόλλων του 802.16 πρέπει να πούμε ότι το πρότυπο λειτουργεί στο συχνοτικό φάσμα των 10-66GHz. Αυτή η συχνοτική μπάντα δημιουργεί ένα φυσικό περιβάλλον όπου εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος η επίτευξη επικοινωνίας απαιτεί οπτική επαφή (line of sight ή LOS), αλλά όμως η λήψη σήματος πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι αμελητέα. Τα κανάλια του φυσικού περιβάλλοντος του προτύπου είναι μεγάλα. Με ιδανικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερο από 120 Mbit/s το περιβάλλον που δημιουργείται είναι κατάλληλο point-to-multipoint εφαρμογές είτε αυτές είναι SOHO είτε είναι μεγαλύτερου εύρους εφαρμογές.

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



Εικόνα 3. 11 Υποεπίπεδα του MAC Layer

Εκινώντας από πάνω προς τα κάτω στο σχήμα 3.11 παρατηρείται ότι το Medium Access Control αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS) ή διαφορετικά «υποεπίπεδο σύγκλισης εξαρτώμενο από την υπηρεσία». Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η δουλειά αυτού του υποεπιπέδου είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) ή διαφορετικά «κοινό τμήμα υποεπιπέδου MAC». Εδώ βρίσκονται τα βασικά πρωτόκολλα όπως η διαχείριση του καναλιού. Το μοντέλο είναι ότι ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα. Μπορεί δηλαδή να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Την τριάδα των υποεπιπέδων του MAC κλείνει το Privacy Sublayer ή διαφορετικά «υποεπίπεδο ασφάλειας». Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση (authentication), ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφησης. Τέλος το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο (PHY) το οποίο ασχολείται και με τη μετάδοση. Εκεί χρησιμοποιείται η παραδοσιακή μετάδοση ραδιοκυμάτων στενής ζώνης με συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης.[1]

Ένα δίκτυο του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε ένα μέσο επικοινωνίας, πρέπει να διαθέτει μηχανισμούς να διαχειρίζεται αυτό το μέσο και να το μοιράζει στους κόμβους του. Στη περίπτωση του πρωτοκόλλου 802.16 με το έργο της διαχείρισης καναλιού έχει επιφορτιστεί το υποεπίπεδο MAC CPS.

Το μεταφόρτωση δεδομένων από το σταθμό βάσης (BS ή base station) στο χρήστη γίνεται με μία point to multipoint λογική. Έτσι το πρότυπο 802.16 λειτουργεί με ένα κεντρικό σταθμό βάσης και μία κεραία πολλαπλών τομέων η οποία έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται αυτούς τους πολλαπλούς τομείς παράλληλα. Για μία συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και ένα συγκεκριμένο τομέα, όλοι οι χρήστες λαμβάνουν τα ίδια δεδομένα. Για αυτό ακριβώς το λόγο ένα σταθμός βάσης εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο τομέα (με συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού) και στα μηνύματα απάντησης συγκρατεί τις διευθύνσεις των χρηστών του τομέα για μελλοντική επικοινωνία. Στην αντίθετη κατεύθυνση οι σταθμοί χρηστών, μοιράζονται το κανάλι επικοινωνίας με το σταθμό βάσης, με βάση τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Βασικός παράγοντας βέβαια είναι και οι υπηρεσίες που ζητούν.

Σε κάθε τομέα οι χρήστες «υπακούουν» ένα πρωτόκολλο μετάβασης, έτσι ώστε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του καναλιού να μπορεί να επιτευχθεί η εξυπηρέτηση όλων των χρηστών. Για να γίνει αυτό υπάρχουν πέντε διαφορετικού τύπου uplink (ανέβασμα δεδομένων στο σταθμό βάσης) μηχανισμοί χρονοπρογραμματισμού. Οι μηχανισμοί είναι σαφώς ορισμένοι από το πρωτόκολλο έτσι ώστε να μπορούν οι κατασκευαστές εταιριών προϊόντων 802.16 να βελτιώνουν όσο και περισσότερο τα προϊόντα τους διαφορετικούς συνδυασμούς τεχνικών που ορίζουν οι παραπάνω μηχανισμοί.

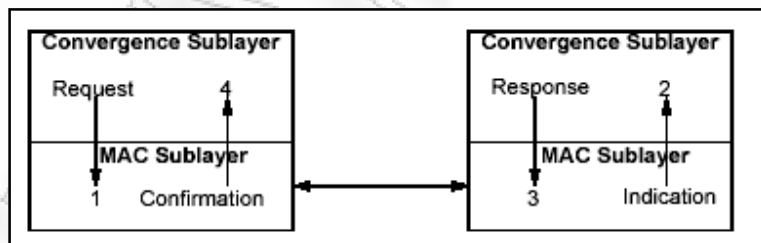
Το MAC CPS δημιουργεί συνδέσεις για να διαχειριστεί το κανάλι. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία και εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Κάθε φορά που ένα SS (Subscriber station) εγκαθίσταται στο δίκτυο, τότε αμέσως δημιουργείται μια σύνδεση με αυτόν, για να είναι δυνατή η ροή υπηρεσιών. Θυμίζουμε εδώ ότι η έννοια SS αναφέρεται στον εξοπλισμό εδραίωσης μια σύνδεσης μεταξύ σταθμού βάσης και σταθμού χρήστη. Σύνδεση βέβαια μπορεί να γίνει και αν κάποια υπηρεσία κάποιου πελάτη χρειάζεται αλλαγή. Να πούμε εδώ ότι η έννοια σύνδεση καθορίζει και την αντιστοίχιση μεταξύ ομότιμων διεργασιών που χρησιμοποιούν MAC και τη ροή υπηρεσιών. Για να γίνουμε λίγο πιο κατανοητοί, η ροή υπηρεσιών αναφέρεται σε όλες τις QoS παραμέτρους εκείνες των PDU's που ανταλλάσσονται κατά τη σύνδεση.

Σε ένα πρωτόκολλο δομημένο σε πολλά επίπεδα, η ροή της πληροφορίας μεταξύ των επιπέδων μπορεί να οριστεί με τα primitives που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά είδη πληροφορίας και έτσι κάνουν πιο ξεκάθαρες τις σχέσεις μεταξύ επιπέδων του πρωτοκόλλου. Τα primitives μπορούμε να τα φανταστούμε σαν όρους επικοινωνίας μεταξύ των επιπέδων. Τα primitives που υποστηρίζονται από το MAC είναι αυτά που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

MAC_CREATE_CONNECTION.request
MAC_CREATE_CONNECTION.indication
MAC_CREATE_CONNECTION.responce
MAC_CREATE_CONNECTION.confirmation
MAC_CHANGE_CONNECTION.request
MAC_CHANGE_CONNECTION.indication
MAC_CHANGE_CONNECTION.responce
MAC_CHANGE_CONNECTION.confirmation
MAC_TERMINATE_CONNECTION .request
MAC_TERMINATE_CONNECTION.indication
MAC_TERMINATE_CONNECTION.responce
MAC_TERMINATE_CONNECTION.confirmation

Πίνακας 3. 6 Τα primitives που υποστηρίζονται από το MAC Επίπεδο

Για να γίνει τώρα κατανοητό πως επικοινωνούν τα επίπεδα CS και MAC καθώς και το πως λειτουργούν τα primitives ακολουθεί το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3. 12 Επικοινωνία Επιπέδων CS και MAC

Αρχικά γίνεται αίτηση για κάποια υπηρεσία σε ένα κατώτερο επίπεδο του πρωτοκόλλου όπως φαίνεται και στο σχήμα, με τη χρήση ενός request primitive. Όταν αποσταλεί η αίτηση μέσω αέρα στο ομότιμο MAC υποεπίπεδο, παράγεται ένα “indicate primitive” το οποίο πληροφορεί το ομότιμο CS υποεπίπεδο για την αίτηση αυτή. Τότε το CS υποεπίπεδο με τη σειρά του απαντάει με ένα “response primitive”. Τέλος αυτή η απάντηση στέλνεται ξανά στο MAC υποεπίπεδο από το οποίο προήλθε η αίτηση, το οποίο με τη σειρά του στέλνει ένα “confirm primitive” στην οντότητα που έκανε την αίτηση. Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε ορισμένες

περιπτώσεις, δεν είναι απαραίτητο να στείλουμε πληροφορίες στον ομότιμο σταθμό και έτσι το “confirm primitive” στέλνεται αμέσως από το MAC υποεπίπεδο στην οντότητα που έκανε την αίτηση. Αυτό συμβαίνει όταν η αίτηση απορρίπτεται από το MAC υποεπίπεδο στη πλευρά που έγινε η αίτηση.

Για να επιτευχθεί η σύνδεση κάθε SS έχει μια 48-bit καθολική διεύθυνση όπως ορίζεται από την IEEE για το πρότυπο 802.16. Αυτή η διεύθυνση ορίζει μονοσήμαντα το SS από ένα σύνολο προϊόντων διαφορετικών εταιριών. Επίσης η εγγραφή αυτής της διεύθυνσης γίνεται κατά τη εγκατάσταση μιας σύνδεσης και χρησιμοποιείται στη διαδικασία επικύρωσης μεταξύ BS και SS.

Η σύνδεση μεταξύ ενός BS και ενός SS μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ενός CID 16bit, ο οποίος είναι ο κωδικός κάθε σύνδεσης. Κατά την εγκατάσταση του SS τρεις συνδέσεις μεταξύ του SS και του BS αρχικοποιούνται για κάθε κατεύθυνση (uplink ή SS → BS, downlink ή BS → SS). Η βασική σύνδεση χρησιμοποιείται από το BS MAC και το SS MAC για ανταλλαγή μικρών σε μέγεθος, επειγόντων, MAC μηνυμάτων διαχείρισης. Από τις δύο άλλες συνδέσεις η μία χαρακτηρίζεται ως πρωτεύουσα και η άλλη ως δευτερεύουσα. Η πρωτεύουσα χρησιμοποιείται από το BS MAC και το SS MAC για ανταλλαγή μεγάλων μηνυμάτων. Ενώ η δευτερεύουσα σύνδεση αναφέρεται σε μηνύματα ακόμα πιο ανθεκτικά στο χρόνο. [1]

Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 3

- [1] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ. Σχεδίαση ασύρματων δικτύων WiMAX για πρόσβαση και διασύνδεση. Μελέτη ποιότητας (QoS) & ανάλυση υποστηριζόμενων υπηρεσιών δικτύου - Case Study: Πιλοτικά Συστήματα WiMAX Ο.Τ.Ε. Ιωάννης Α. Τερζάκης, Δημήτριος Κ. Τσαπάρας
- [2] Prentice Hall. Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking. Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. Feb.2007.
- [3] Νέστορας Αλέξανδρος, “WiMAX και διασυνεργασία με το UMTS”, Πτυχιακή εργασία ΤΕΙ Λάρισας, Λάρισα 2006
- [4] Βασδάρης Θωμάς, Τσελίκης Παναγιώτης, “Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα WiMAX”, Διπλωματική εργασία ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτ. 2006
- [5] Deploying License-Exempt WiMAX solutions, Intel Corporation whitepaper, May 2005
- [6] www.wikipedia.org

4. ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΓΙΑ ΡΑΔΙΟ-ΚΑΛΥΨΗ WiMAX ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) αποτελεί τεχνολογία ασύρματης ευρυζωνικότητας. Είναι ένα εξελισσόμενο πρότυπο για point-to-multipoint ραδιοζεύξεις. Καθοριστικότατο 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], [8]

4.1.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Απώλειες πολλαπλών διοδεύσεων

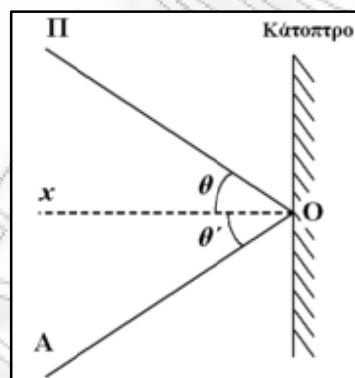
Στην περίπτωση που το μέσο διάδοσης δεν είναι ο ελεύθερος χώρος, εμφανίζεται το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης. Το σήμα που καταφθάνει στο δέκτη είναι το διανυσματικό άθροισμα των

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.

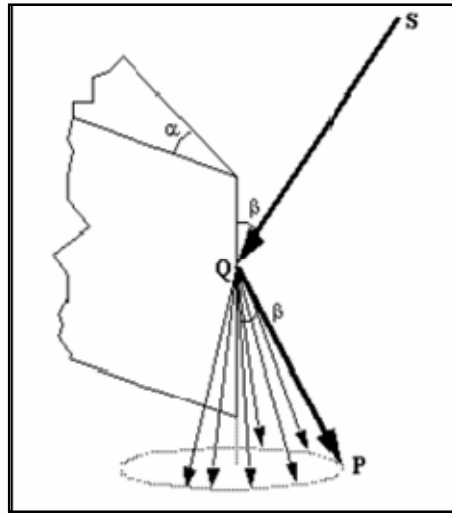


Εικόνα 4.1 Κατοπτρική Ανάκλαση σε Διδιάστατη Γεωμετρία

Περιθλαση (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 περιθλαση είναι ένα φαινόμενο που ερμηνεύει τη μεταφορά RF ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη χωρίς απευθείας μονοπάτι μεταξύ τους.

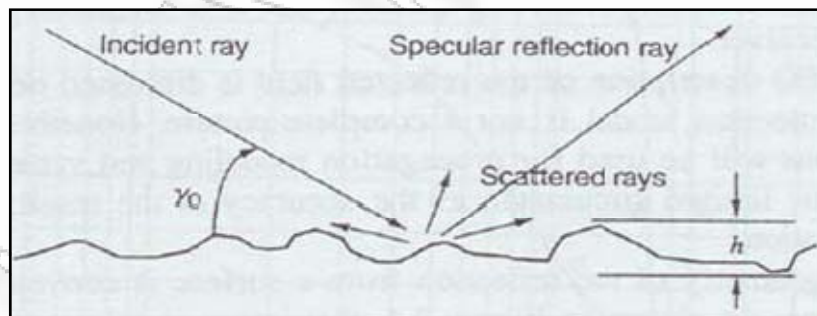
Συχνά αποκαλείται σκίαση, γιατί το σήμα φθάνει στον δέκτη ακόμα και όταν «σκιάζεται» από ένα αδιαπέραστο εμπόδιο.



Εικόνα 4. 2 Περίθλασμένο 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

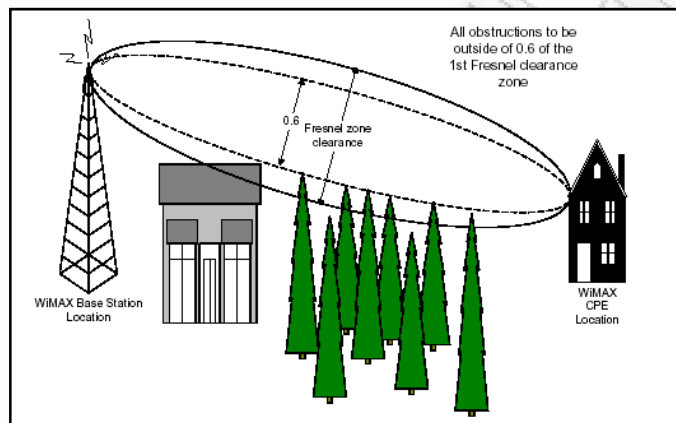
Ζώνες Fresnel

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

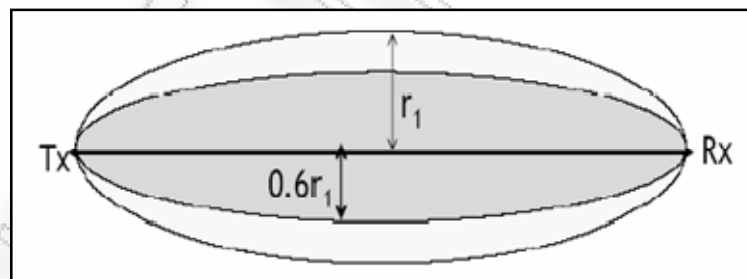
μετάδοση σημάτων. Η απουσία εμποδίων στην πρώτη ζώνη Fresnel είναι ικανή να εξασφαλίσει ασφαλή μετάδοση και η ακτίνα της ορίζεται από τη σχέση:

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

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 1η Ζώνη Fresnel



Εικόνα 4. 5 Απαιτούμενη καθαρότητα 1ης ζώνης Fresnel

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

[8]

4.1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Τα μοντέλα διάδοσης πρωταρχικά διακρίνονται σε :

- Μοντέλα εσωτερικού χώρου (indoor)
- Μοντέλα εξωτερικού χώρου (outdoor)

4.1.2.1. ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ (INDOOR)

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, για 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

Πίνακας 4. 1

4.1.2.2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ (OUTDOOR)

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. 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 εξασθένιση 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.

2. Φυσικά ή αναλυτικά ή Ντετερμινιστικά 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.

3. Θεωρητικά ή Στατιστικά ή Στοχαστικά Μοντέλα

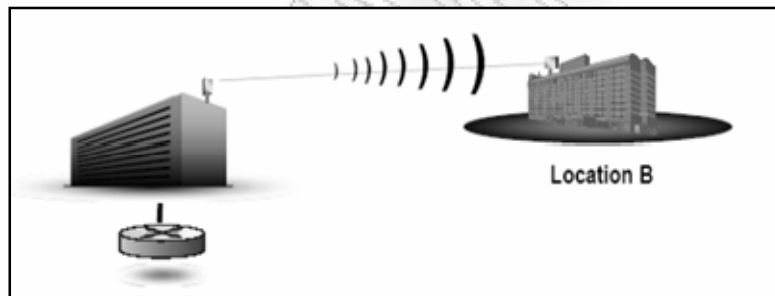
Τα μοντέλα αυτά μοντελοποιούν το περιβάλλον ως σειρά τυχαίων μεταβλητών. Είναι ελάχιστα ακριβή, αλλά απαιτούν ελάχιστη πληροφορία για το περιβάλλον διάδοσης και χρησιμοποιούν πολύ μικρότερη υπολογιστική ισχύ για να κατασκευάσουν τις εκτιμήσεις τους.

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.

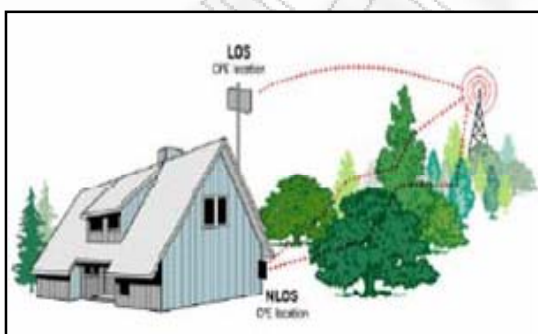
Τα θεωρητικά μοντέλα βασίζονται σε συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας που συνήθως χρησιμοποιούνται στη διάδοση ραδιοκυμάτων, όπως η Rayleigh, η Rician και η Lognormal. [1], [3], [4], [8]

4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

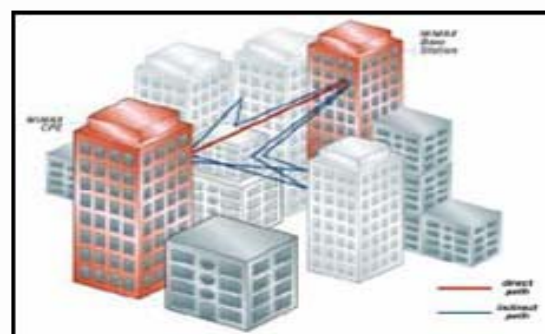
Σε συνθήκες μη οπτικής επαφής (NLOS) το σήμα υφίσταται αλλοιώσεις λόγω φαινομένων σκέδασης, περίθλασης, αποπώλωσης και εξασθενήσεις λόγω ανακλάσεων, που δε θα υπήρχαν υπό συνθήκες οπτικής επαφής (LOS). Οι παράγοντες αυτοί επιδρούν τελικά στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος.



Εικόνα 4. 6 Διάδοση LOS



Εικόνα 4. 7 Διάδοση NLOS σε Αγροτική Περιοχή



Εικόνα 4. 8 Διάδοση NLOS 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. [8]

4.2.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΧΩΡΟΥ

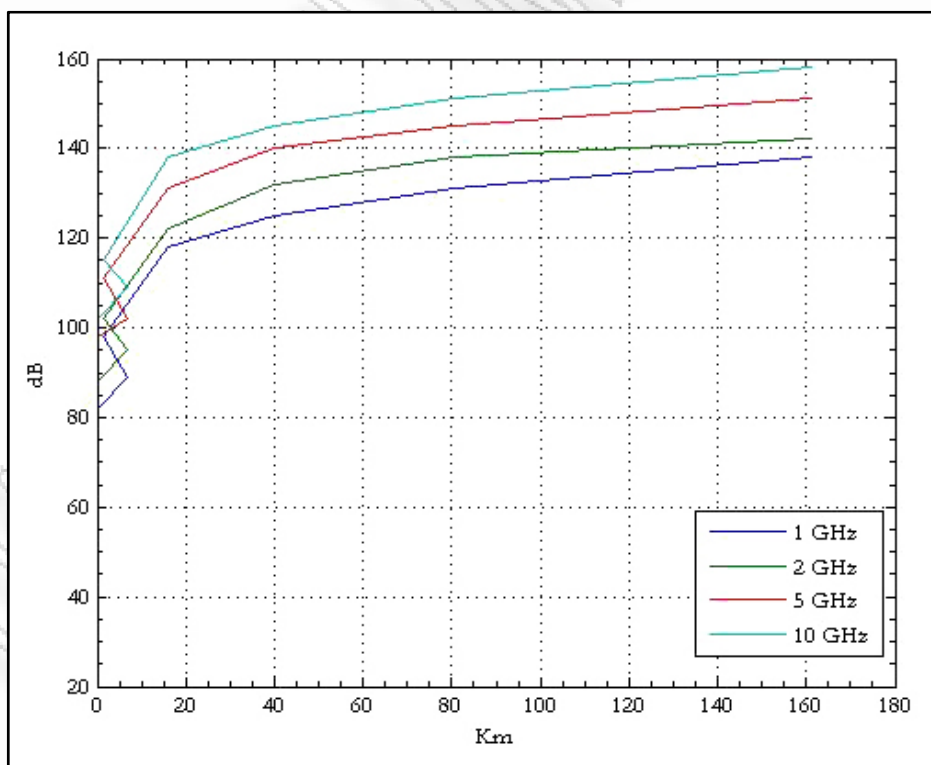
Η ισχύς των Η/Μ κυμάτων μειώνεται με την απόσταση. Η απόβραση που σχετίζεται με την απόσταση σε μια διαδρομή του σήματος χωρίς εμπόδια καλείται Απώλειες Ελευθέρου Χώρου (Free Space Loss).

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

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 το ακόλουθο διάγραμμα, ο 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. 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], [9]

4.2.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ 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:

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

όπου f είναι η συχνότητα σε MHz , d είναι η απόσταση ανάμεσα στην κεραιά του σταθμού πρόσβασης (AP) και την κεραιά του χρήστη (CPE) σε km και h_b είναι το ύψος της κεραιάς 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:

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

και για προαστιακά ή αγροτικά (επίπεδα) περιβάλλοντα:

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

όπου h_r είναι το ύψος της κεραιάς 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 3.5GHz, οι εκτιμήσεις του μοντέλου συγκρίνονται με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε 3 διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης : αγροτικό (επίπεδο), προαστιακό και αστικό, στη Μ.Βρετανία. [4], [10]

4.2.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ECC-33

Από την αρχή υπήρξε η ανάγκη ανάπτυξης Σταθερών Ασύρματων Ευρυζωνικών Ζευξέων (FWB) εντός αστικών περιοχών. Ως πρώτη προσπάθεια συλλογής πειραματικών δεδομένων για το πεδίο, με σκοπό την ανάπτυξη ραδιοζευξέων, 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 παρατηρείται ότι ενώ το Hata-Okumura μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως στη UHF ζώνη συχνοτήτων, η ορθότητά του αμφισβητείται για ζώνη μεγαλύτερων συχνοτήτων. Το COST-231 μοντέλο επέκτεινε τη χρήση του έως τα 2 GHz, αλλά προτάθηκε για κινητά συστήματα έχοντας στον εξοπλισμό των χρηστών ιστροπικές κεραιές 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 κεραιάς του σταθμού βάσης και το κέρδος της κεραιάς του χρήστη, τα οποία ορίζονται ως

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

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

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

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 κεραιά του σταθμού πρόσβασης (AP) και την κεραιά του χρήστη (CPE) σε km, h_b είναι το ύψος της κεραιάς σταθμού πρόσβασης (AP) σε m και h_r είναι το ύψος της κεραιάς 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. [10]

4.2.4. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΔΟΣΗΣ 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. 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 προσορισμός τους στις Η.Π.Α. είναι για συστήματα στη 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.

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:

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_f + X_n + s$$

όπου d είναι η απόσταση μεταξύ της κεραιάς του σταθμού πρόσβασης (AP) και της κεραιάς του χρήστη (CPE) σε m, $0 < d = 100\text{m}$ και s είναι μία παράμετρος λογαριθμικανονικά κατανομημένη, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απώλειας σήματος 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:

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad \text{ΚΑΙ} \quad \gamma = a - b h_b + \frac{c}{h_b}$$

όπου h_b είναι το 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
$b \text{ (m}^{-1}\text{)}$	0.0075	0.0065	0.005
$c \text{ (m)}$	12.6	17.1	20

Πίνακας 4. 2 Τιμές για Σταθερές a , b , c για τα SUI Μοντέλα

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 κεραιάς του χρήστη (CPE) στο μοντέλο αυτό είναι:

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

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

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

όπου f είναι η συχνότητα σε MHz και h_r το ύψος της κεραιάς 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. [7], [10]

Βιβλιογραφία 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] Prentice Hall. Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking. Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. Feb.2007.
- [9] Performance Evaluation of Broadband Fixed Wireless System based on IEEE 802.16
- [10] Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Fixed Wireless Access Systems V.S. Abhayawardhana, I.J. Wassell, D. Crosby, M.P. Sellars, M.G. Brown.

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ryWiMAX

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή “ryWiMAX” που υλοποιήθηκε με σκοπό την προμελέτη σε WiMAX συστήματα. Η “ryWiMAX” εφαρμογή χρησιμοποιείται ως βοηθητικό λογισμικό ώστε να εκτιμώνται οι παράμετροι ενός WiMAX συστήματος, προκειμένου να υπάρχει μία αίσθηση των τιμών που χρειάζονται να εισαχθούν στην μελέτη. Τέτοιου είδους τιμές είναι ο αριθμός των σταθμών βάσης που απαιτούνται ώστε να ραδιοκαλυφθεί μια περιοχή.

Στο λογισμικό αυτό έχουν προστεθεί διάφορες παράμετροι που εισάγονται από το χρήστη και πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να γίνει μια εκτίμηση του προϋπολογισμού της ζεύξης, την κατανομή των συχνοτήτων σε μια γεωγραφική περιοχή, καθώς και τη χωρητικότητα του συστήματος βάσει κάποιων προσφερόμενων υπηρεσιών.

5.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το εργαλείο που υλοποιήθηκε θα χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικό εργαλείο για την μελέτη της ραδιοκάλυψης σε WiMAX συστήματα. Ο κυρίως στόχος του λογισμικού είναι να εξάγει αποτελέσματα χρήσιμα για μια μελέτη. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Στον αριθμό των τομέων άρα και των σταθμών βάσης που είναι απαραίτητα για την ραδιοκάλυψη μιας περιοχής
2. Στο ποσοστό που καλύπτει κάθε τομέας στην περιοχή που μελετάται.
3. Στο ποσοστό της περιοχής προς μελέτη που ουσιαστικά καλύπτεται, δεδομένου ότι μπορεί σε μια μελέτη να οριστεί ως απαίτηση η κάλυψη 20 Km² αλλά πρακτικά να μπορούν να καλυφθούν λιγότερα Km².
4. Σε πόση απόσταση οφείλουμε να τοποθετήσουμε τους σταθμούς βάσης.
5. Τι ρυθμοαπόδοση (throughput) έχουμε συνολικά στην περιοχή που ραδιοκαλύπτεται σε σχέση με το throughput που δόθηκε ως προδιαγραφή.

Για να υπολογιστούν οι παραπάνω “στόχοι”, θα πρέπει αρχικά να εισάγουμε μια σειρά από παραμέτρους στην υπολογιστική μηχανή “ryWiMAX”. Στην εφαρμογή αυτή, η ανάθεση συχνοτήτων εξετάζεται από δύο πλευρές, από την πλευρά της Κάλυψης (Coverage Analysis) και από την πλευρά της Ρυθμοαπόδοσης (Throughput Analysis). Για το λόγο αυτό υλοποιήθηκε ένας επαναληπτικός αλγόριθμος προκειμένου να

υπολογίζεται πλέον αυτόματα η βέλτιστη ακτίνα της κυψέλης για κάθε συνδυασμό διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, προκειμένου να ικανοποιούνται και οι δύο περιορισμοί που τέθηκαν.

Επίσης το εργαλείο που υλοποιήθηκε λαμβάνει υπόψη και την τομεοποίηση μιας περιοχής. Η τομεοποίηση κυψελών είναι μια πολύ συνήθης μέθοδος για τον περιορισμό των ομοδιαυλικών παρεμβολών. Κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς με τη χρήση κατευθυντικών κεραιών. Συνηθέστερες εφαρμογές είναι τομείς των 60° και 120°. Οι συχνότητες των φερόντων που έχουν αποδοθεί στην κυψέλη, χωρίζονται σε ομάδες ανά τομέα με αποτέλεσμα να έχουμε τη μείωση των πρωταρχικών ομοδιαυλικών παρεμβολών.

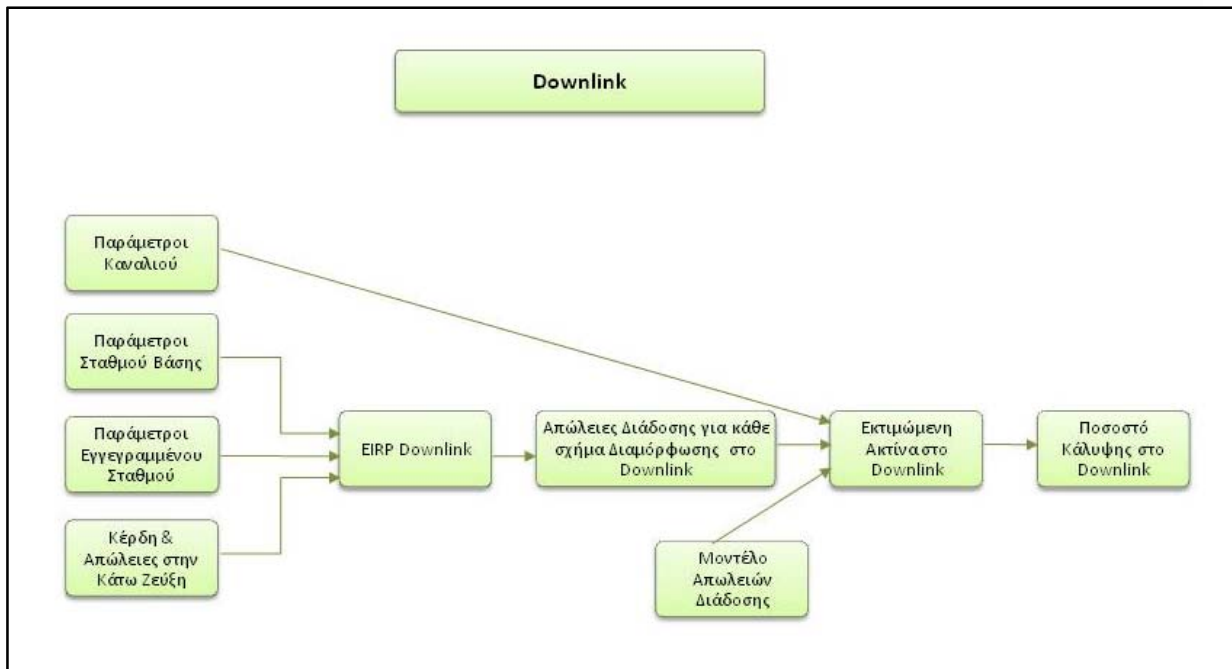
Ο χρήστης της εφαρμογής θα πρέπει να εισάγει μια σειρά από παραμέτρους που σχετίζονται με τις Παραμέτρους του Συστήματος WiMAX (Πίνακας 1), που είναι ρυθμίσεις του φυσικού επιπέδου για το WiMAX και πρέπει να υποστηρίζονται από το πρότυπο. Ενδεικτικές τιμές δόθηκαν σε πίνακες στο Κεφάλαιο 3.

Πίνακας 1. Παράμετροι Συστήματος WiMAX

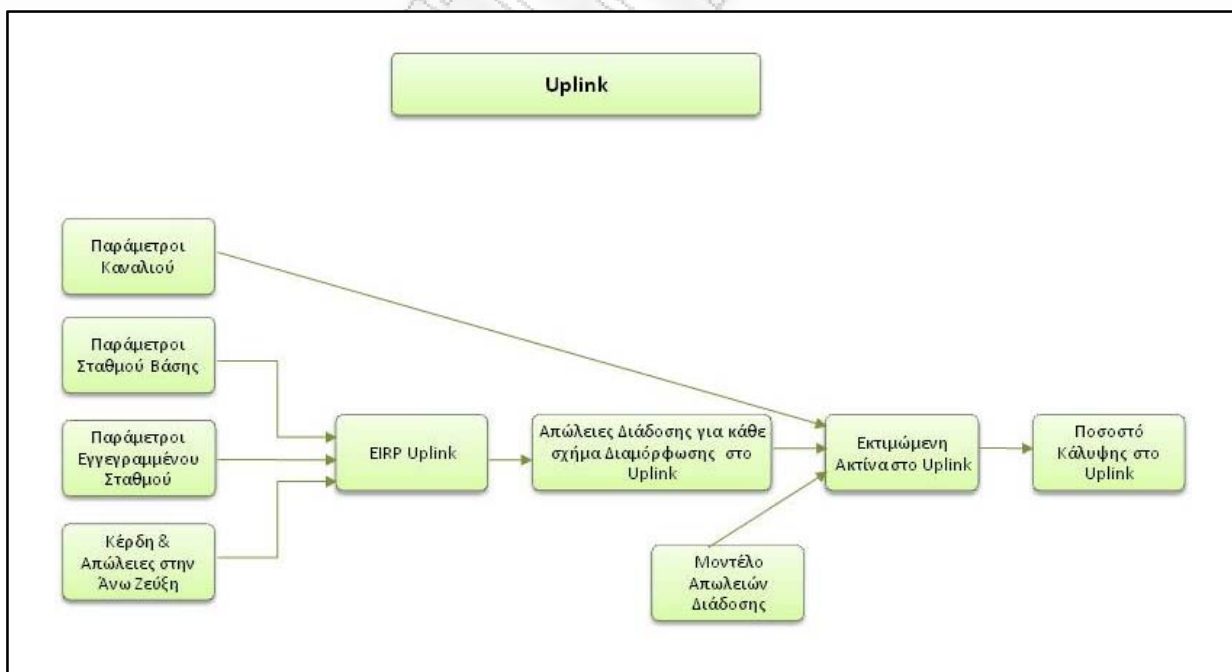
Subcarriers (Υποφέροντα)
Guard Time Fraction for cyclic prefix (Διάστημα Φύλαξης για το CP)
Oversampling Rate (Ποσοστό Δειγματοληψίας)
Subcarrier Frequency Spacing (Απόσταση Συχνότητας των Υποφερόντων)
Sampling Period (Περίοδος Δειγματοληψίας)
Guard Time (Διάρκεια Φύλαξης)
Guard Symbols (Σύμβολα Φύλαξης)
OFDM Symbol Duration (Διάρκεια συμβόλων OFDM)
Frame Duration (Διάρκεια Πλαισίου)
TDD Downlink to Uplink Ratio (Αναλογία Άνω και Κάτω Ζεύξης)
Add. Throughput Efficiency Factor (Προσθετικός Παράγοντας Αποδοτικότητας ρυθμοαπόδοσης)

Επιπλέον ο χρήστης οφείλει να θέσει τις παραμέτρους του καναλιού, οι οποίες είναι η Κεντρική Συχνότητα και το Εύρος Ζώνης του. Από τα διαγράμματα των Εικόνων 5.1 και 5.2, δημιουργείται μια καλύτερη εικόνα της ροής των παραμέτρων που εισάγονται στο λογισμικό.

Παρατηρούμε ότι γνωρίζοντας τις παραμέτρους των Base και Subscriber Station (Πίνακας 2), για το Downlink και το Uplink μπορεί να υπολογιστεί η ενεργός ιστροπική ακτινοβολούμενη ισχύς (EIRP). Γνωρίζοντας την EIRP και τις απώλειες και κέρδη που υπάρχουν κατά στη ζεύξη, καταλήγουμε στον υπολογισμό του Link Budget.



Εικόνα 5. 1 Διάγραμμα Ροής Downlink για τον Υπολογισμό του Ποσοστού Κάλυψης



Εικόνα 5. 2 Διάγραμμα Ροής Uplink για τον Υπολογισμό του Ποσοστού Κάλυψης

Πίνακας 2. Παράμετροι Base & Subscriber Station

Height (Υψος)
Tx Power per Antenna Element (Ισχύς για κάθε Στοιχείο Κεραίας του Πομπού)
Tx Antenna Gain (Κέρδος Κεραίας Πομπού)
Cyclic Combining Gain (Κέρδος Κυκλικού Συνδυασμού)
Pilot Power Boosting Gain
Transmitter Losses (Απώλειες Πομπού)
Power Amplifier Backoff (Αναδιπλώση Ενισχυτή Ισχύος)
Effective Isotropic Radiated Power (Ενεργός Ισοτροπικά Ακτινοβολούμενη Ισχύς)
Rx Sensitivity (Ευαισθησία Δέκτη)
Rx Antenna Gain (Κέρδος Κεραίας Δέκτη)
Receiver Losses (Απώλειες Δέκτη)
Noise Figure (Δείκτης Θορύβου)
Receiver Noise Level (Επίπεδο Θορύβου Δέκτη)
Total Noise (Συνολικός Θόρυβος)
SNR required (Απαιτούμενο SNR)

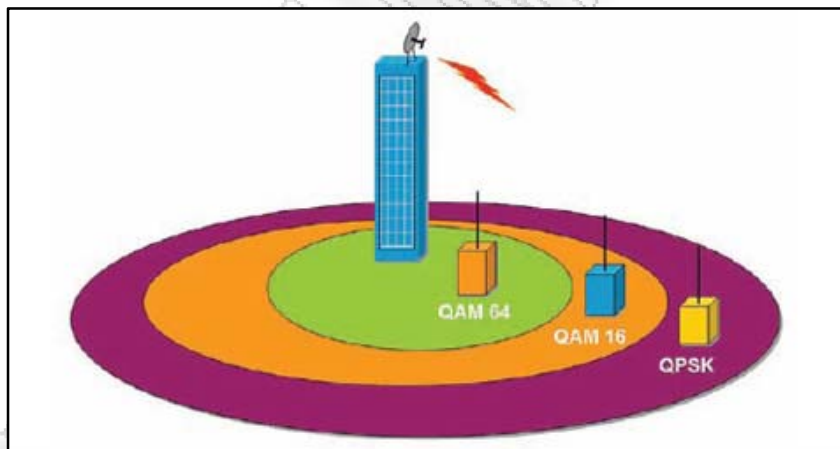
Οι παράμετροι για το Downlink και το Uplink έχουν να κάνουν με κέρδη και απώλειες στη ζεύξη. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι η προμελέτη αυτή αφορά και στο Downlink και στο Uplink. Όταν βρισκόμαστε στο Downlink ο Base Station εκπέμπει προς τον Subscriber Station και όταν βρισκόμαστε στο Uplink συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή ο Subscriber Station γίνεται ο πομπός και ο Base Station παίρνει τη θέση του δέκτη. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο κεραίες των σταθμών λειτουργούν και ως πομπός και ως δέκτης. Έχοντας υπολογίσει την ενεργό ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύ (EIRP) και γνωρίζοντας τις απώλειες και τα κέρδη στην σύνδεση (Πίνακας 3), την ευαισθησία του δέκτη και κάποιες επιπλέον παραμέτρους, και γνωρίζοντας την κεντρική συχνότητα και τα ύψη του πομπού και του δέκτη, μπορούν πλέον να υπολογιστούν οι απώλειες διάδοσης.

Πίνακας 3. Παράμετροι για Κέρδη και Απώλειες στο Downlink και στο Uplink

Subchannelization Gain
Diversity Gain
Beamforming Gain
Macrodiversity Gain
Other Gains

Shadow Fading Margin
Fast Fading Margin
Wideband/Temporal Fading Margin
Interference Margin
Building Penetration Loss
Other Adjustments

Δεδομένου ότι το WiMAX υποστηρίζει πολλά σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ανάλογα με τις συνθήκες των καναλιών, λαμβάνουμε υπόψη μας την προσαρμοστική διαμόρφωση. Οι συνδυασμοί των σχεδίων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται είναι οι παρακάτω οκτώ: QPSK-1/2, QPSK-3/4, 16QAM-1/2, 16QAM-3/4, 64QAM-1/2, 64QAM-2/3, 64QAM-3/4 και 64QAM-5/6. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 5.3, επιλέγεται ο κατάλληλος συνδυασμός διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, ανάλογα με την απόσταση που βρίσκεται ο εγγεγραμμένος σταθμός από τον σταθμό βάσης. Συνεπώς το εργαλείο είναι ικανό να υπολογίζει τις απώλειες διάδοσης για κάθε σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ώστε να υπολογίζει την βέλτιστη ακτίνα για κάθε δυνατό συνδυασμό διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.



Εικόνα 5. 3 Προσαρμοστική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση

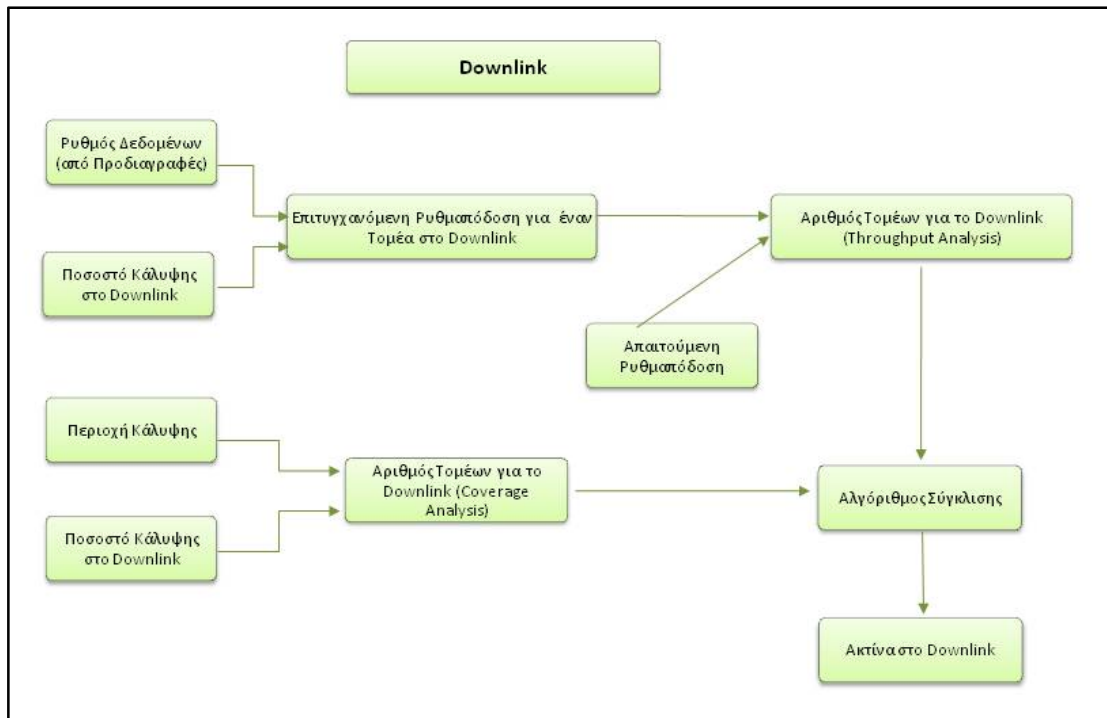
Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το μοντέλο απωλειών που επιθυμεί για να κάνει την προμελέτη, ή ακόμα να επιλέξει όλα τα μοντέλα ώστε να μπορεί να τα συγκρίνει. Για το σκοπό αυτό έχει προστεθεί η καρτέλα της Εικόνας 5.11, όπου ενεργοποιούνται κάποιες παράμετροι, εφόσον έχει επιλεγθεί μοντέλο απωλειών, που χρειάζεται είσοδο από τον χρήστη για κάποιες παραμέτρους. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν τα μοντέλα SUI και το Path Loss Model. Γνωρίζοντας ήδη τις απώλειες διάδοσης και χρησιμοποιώντας

κάποιο από τα μοντέλα διάδοσης, πολύ εύκολα καταλήγουμε στον υπολογισμό της ακτίνας για κάθε σχέδιο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

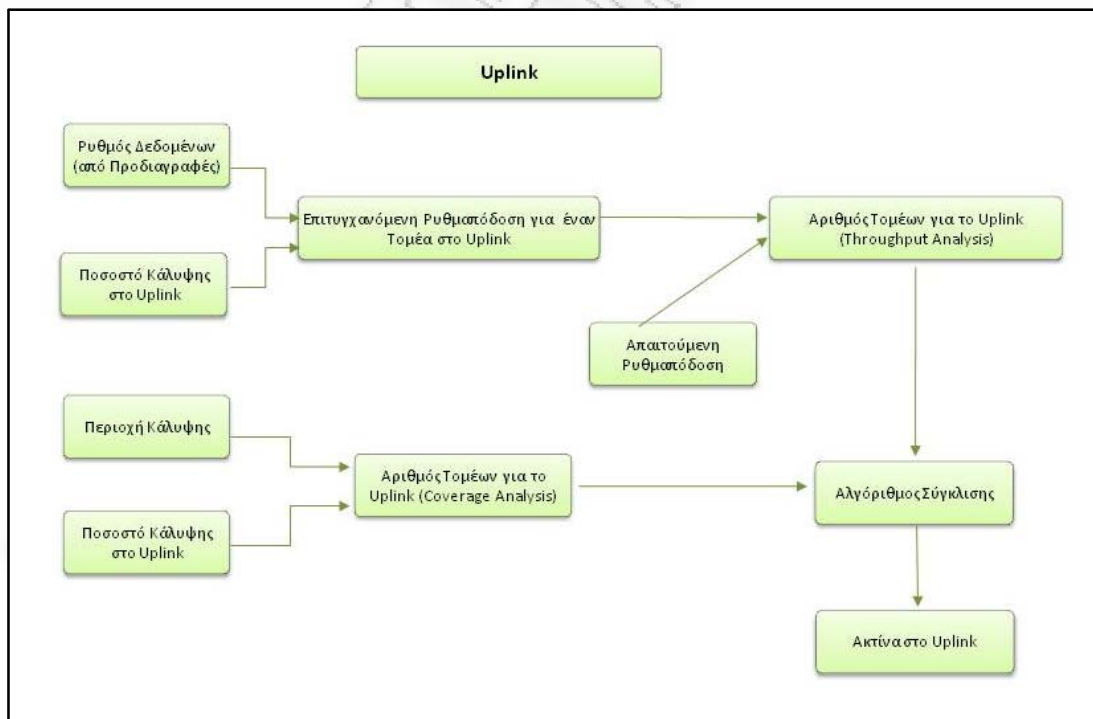
Αφού έχει επιλεχθεί μοντέλο απωλειών διάδοσης, και γνωρίζοντας τις απώλειες για κάθε συνδυασμό διαμόρφωσης και κωδικοποίησης καθώς και την κεντρική συχνότητα όπως παρατηρούμε και από τα διαγράμματα των Εικόνων 5.1 και 5.2 μπορεί να υπολογιστεί η ακτίνα για το μοντέλο που επιλέχθηκε και σε κάθε διαμόρφωση. Το αποτέλεσμα αυτό μετατρέπεται σε ποσοστό κάλυψης για κάθε διαμόρφωση. Η διαδικασία αυτή γίνεται μία φορά για το Downlink και μια για το Uplink.

Στη συνέχεια γνωρίζοντας το μέγεθος της περιοχής που μελετάται καθώς και το ποσοστό που μπορεί να καλύψει την περιοχή αυτή η κάθε διαμόρφωση, υπολογίζονται οι απαιτούμενοι τομείς ώστε να μπορέσει να καλυφτεί η περιοχή, βασιζόμενη στην μελέτη του Coverage. Αντίστοιχα, γνωρίζοντας το ποσοστό που μπορεί κάθε διαμόρφωση να καλύψει στην περιοχή μελέτης καθώς και το ρυθμό μετάδοσης για κάθε διαμόρφωση (από τις προδιαγραφές), υπολογίζονται οι απαιτούμενοι τομείς ώστε να καλυφτεί η περιοχή, βασιζόμενη στην μελέτη του Throughput, όπως παρατηρούμε και από τα διαγράμματα των Εικόνων 5.4 και 5.5.

Οι δύο τιμές που υπολογίστηκαν για το πλήθος των τομέων, αφενός είναι διαφορετικές, λόγω διαφορετικής μελέτης, αφετέρου θα πρέπει να συμπίπτουν, ώστε να έχουμε μια εκτίμηση των τομέων που μπορούν κατά ένα καλό ποσοστό να ικανοποιήσουν τις δύο μελέτες ώστε να προκύψει η βέλτιστη ακτίνα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται και ο επαναληπτικός αλγόριθμος ωστόσο συγκλίνουν οι τιμές αυτές για να δοθεί η βέλτιστη ακτίνα και όλα τα ζητούμενα που τέθηκαν ως στόχοι. Από τις δύο ακτίνες που τελικά θα προκύψουν (μια για το Downlink και μια για το Uplink), επιλέγεται η μικρότερη.

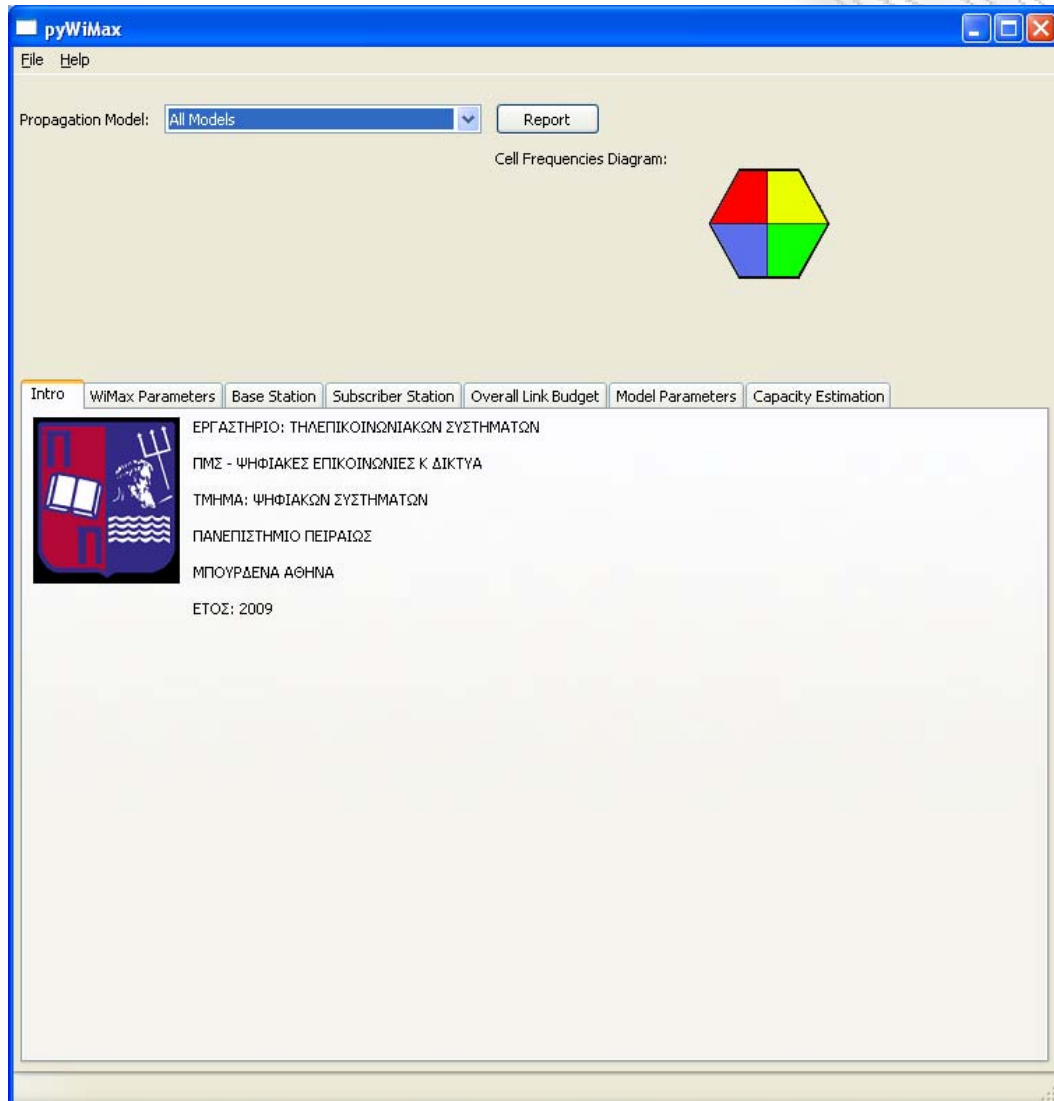


Εικόνα 5. 4 Διάγραμμα Ροής Downlink για τον Υπολογισμό της Ακτίνας

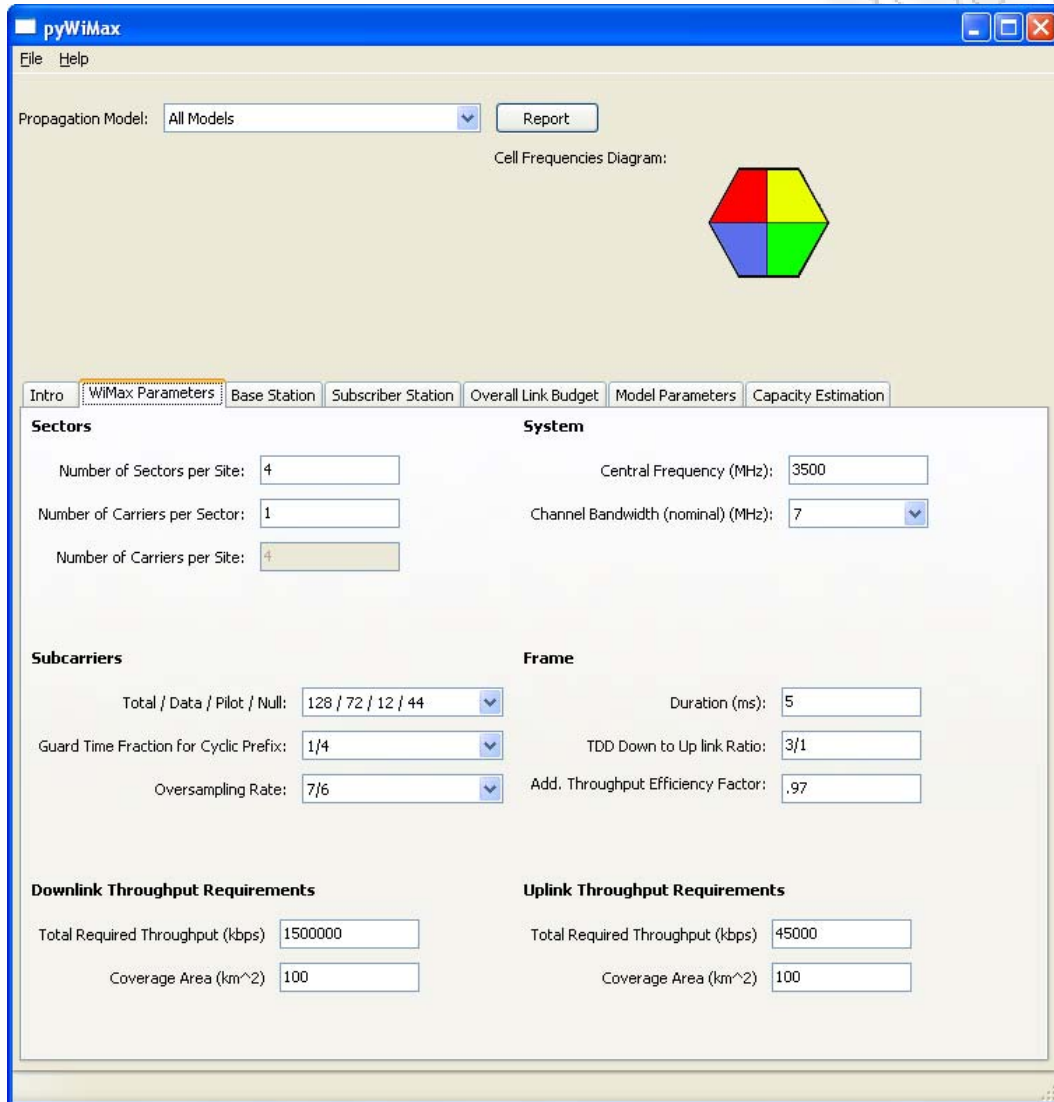


Εικόνα 5. 5 Διάγραμμα Ροής Uplink για τον Υπολογισμό της Ακτίνας

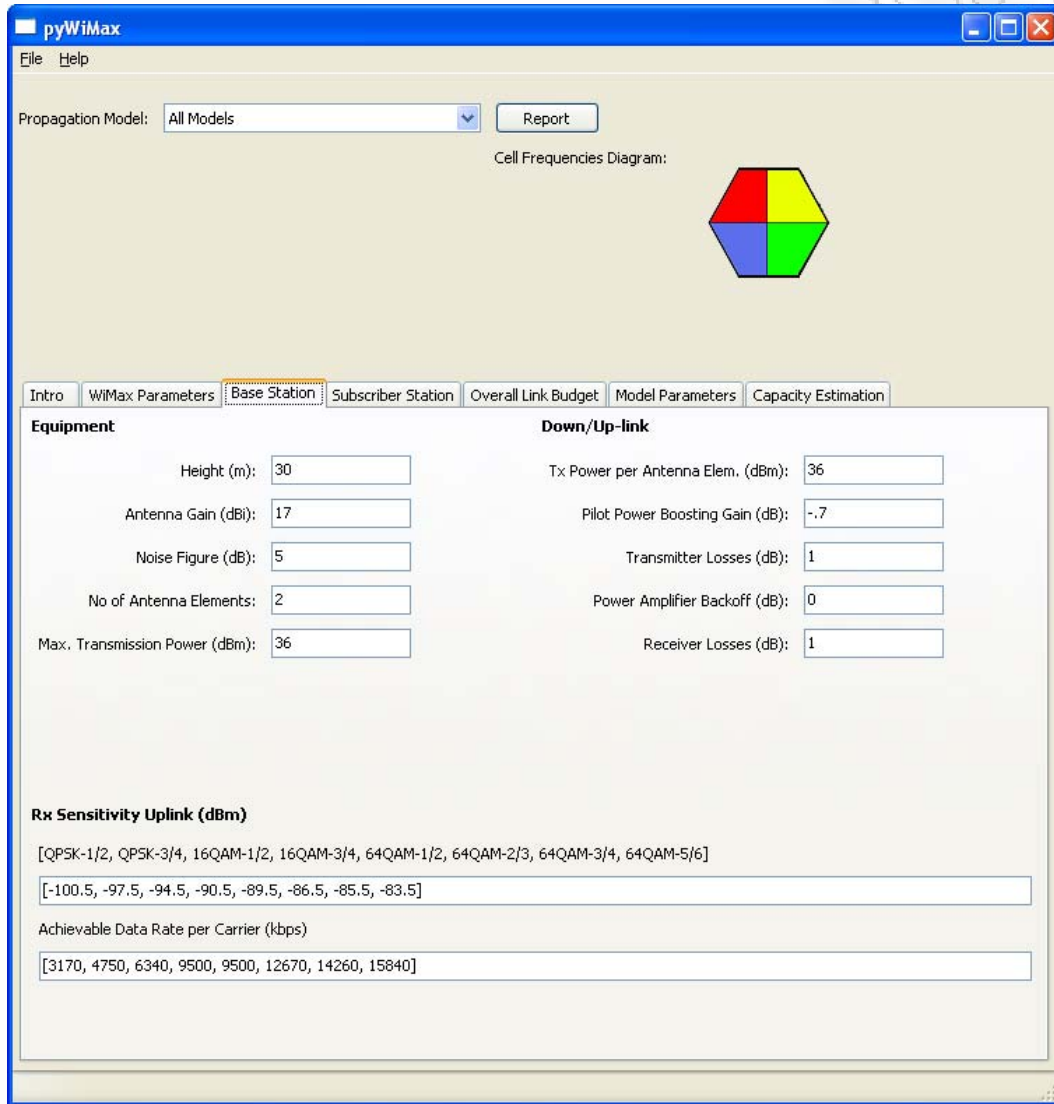
Στην Εικόνα 5.6 παρουσιάζουμε το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη της εφαρμογής “pyWiMAX” που υλοποιήθηκε, το οποίο αποτελείται από καρτέλες με παραμέτρους απαραίτητες για την προμελέτη του συστήματος. Στις επόμενες Εικόνες 5.7 – 5.12 παρουσιάζουμε και τις υπόλοιπες καρτέλες της διεπαφής.



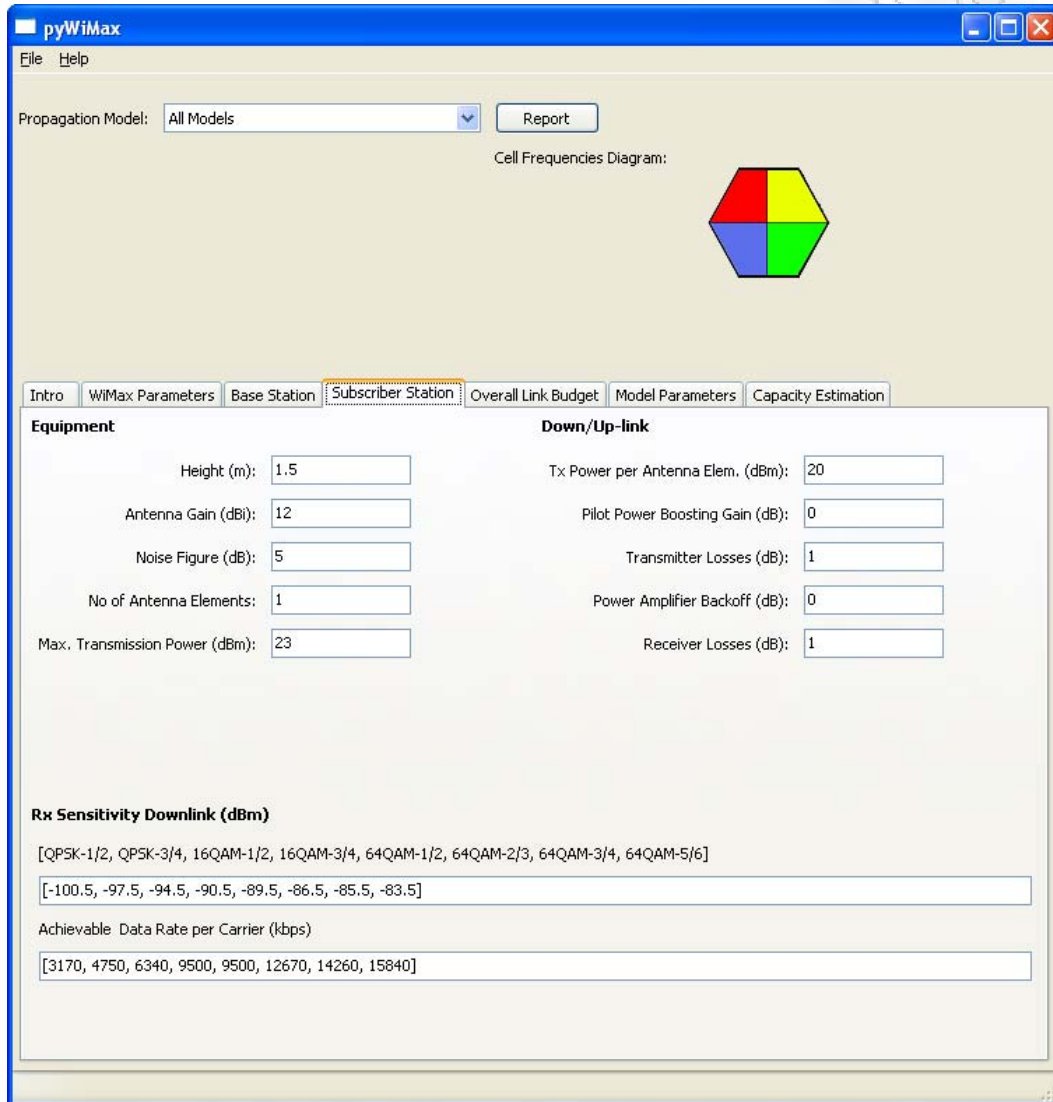
Εικόνα 5. 6 Εφαρμογή pyWiMAX



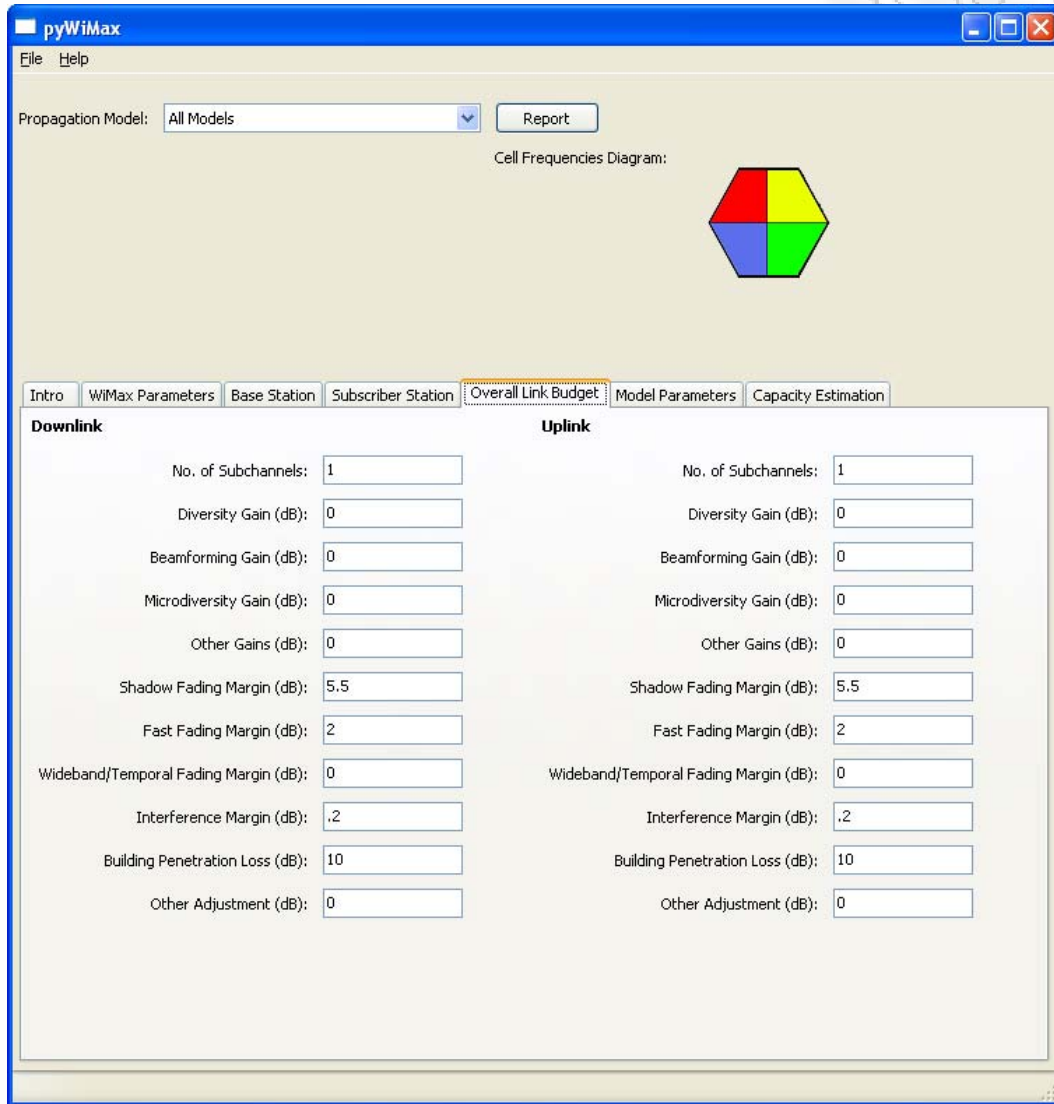
Εικόνα 5. 7 Καρτέλα WiMAX Parameters



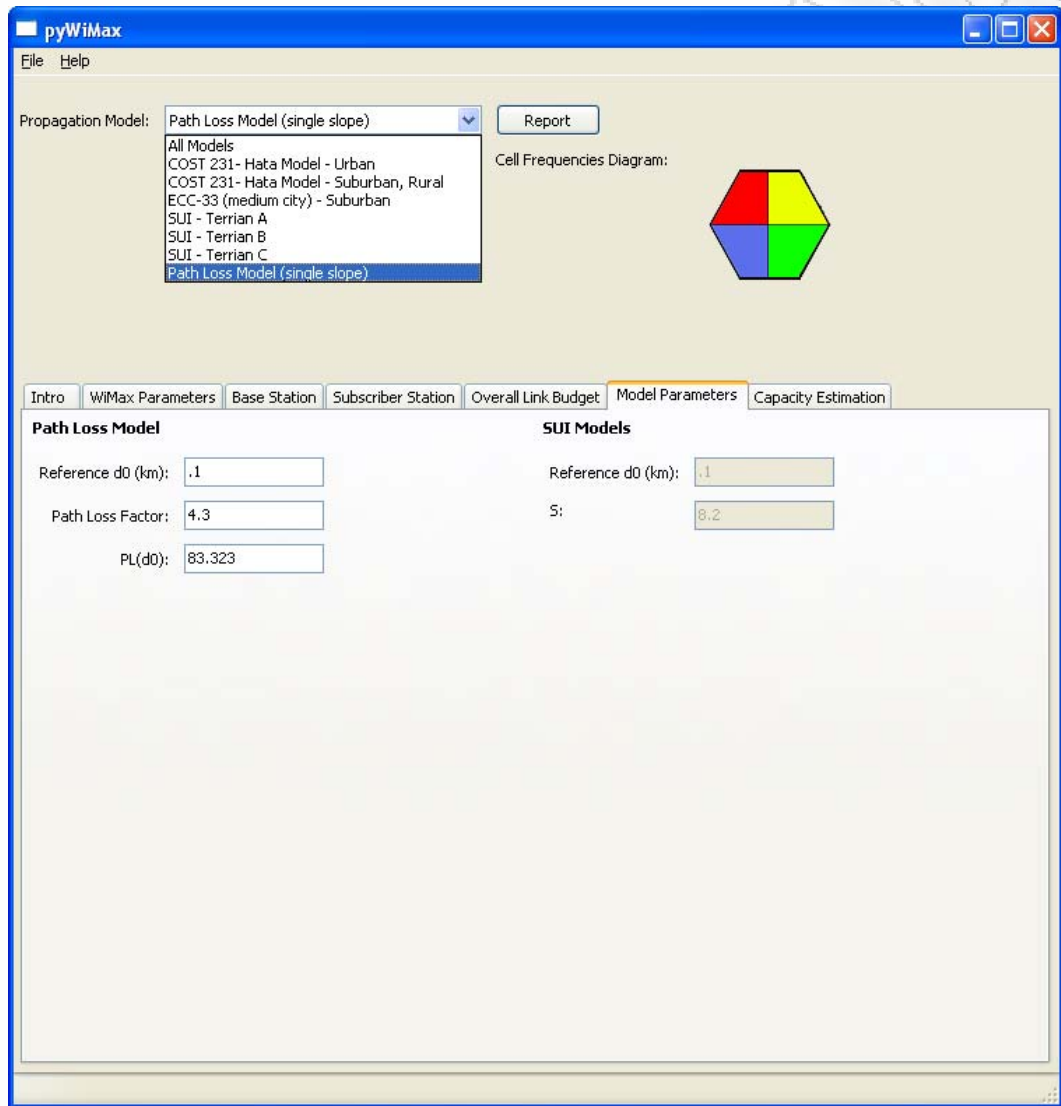
Εικόνα 5. 8 Καρτέλα Base Station



Εικόνα 5. 9 Καρτέλα Subscriber Station



Εικόνα 5. 10 Καρτέλα Overall Link Budget



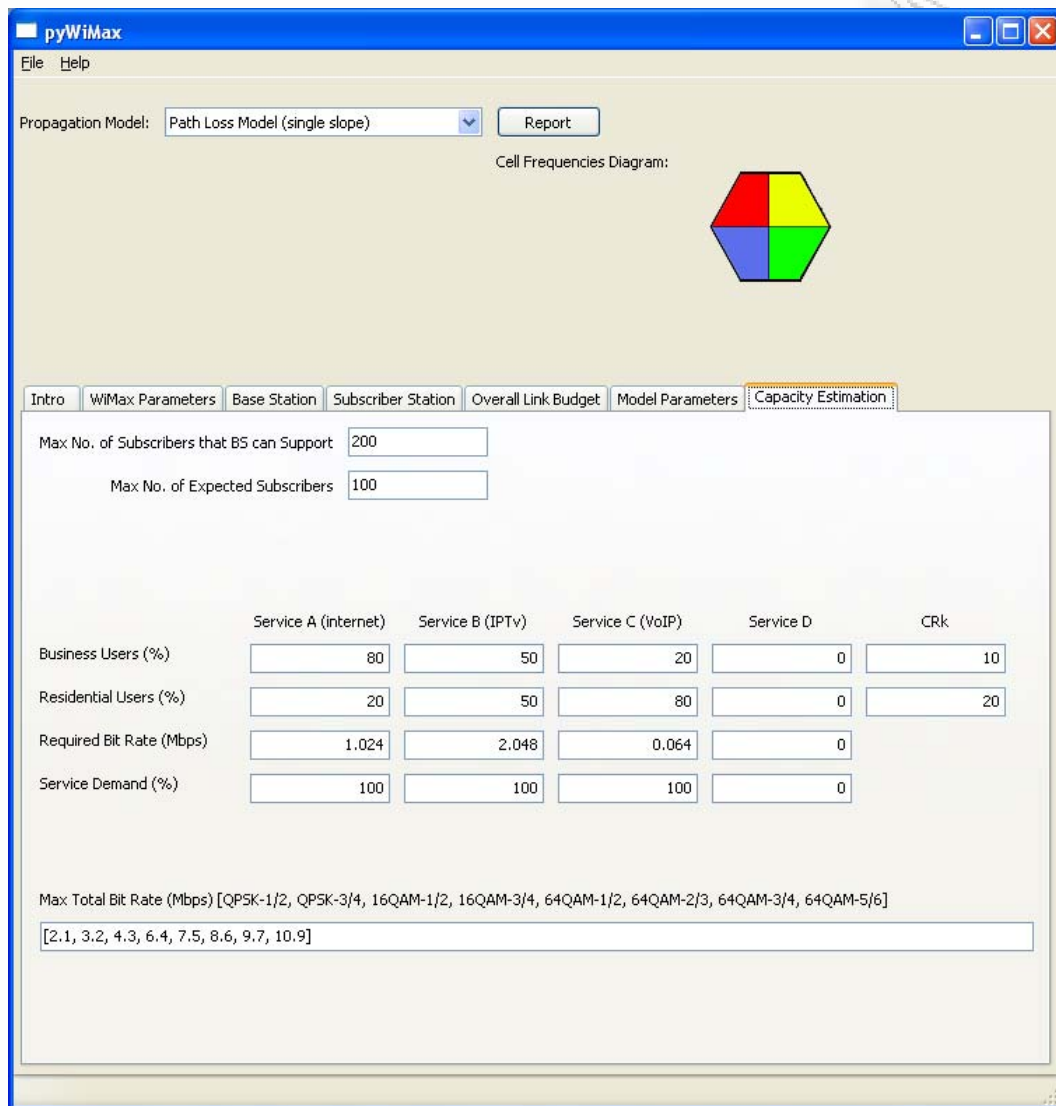
Εικόνα 5. 11 Καρτέλα Propagation Models Parameters

Στη συνέχεια γίνεται μια εκτίμηση του πλήθους των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένας σταθμός βάσης WiMAX σε κάθε ζώνη διαμόρφωσης για κάθε υπηρεσία. Η καρτέλα της Εικόνας 5.8, δέχεται εισόδους όσον αφορά τους εγγεγραμμένους χρήστες σε έναν σταθμό βάσης και ανάλογα την υπηρεσία που χρησιμοποιούν, από τις διαθέσιμες που είναι Internet, IPTV και VoIP, υπολογίζεται η χωρητικότητα του σταθμού βάσης για τους ενεργούς χρήστες, καθώς δεν σημαίνει ότι ένας χρήστης είναι διαρκώς ενεργός ώστε να σπαταλάει πόρους.

Ακολούθως, παρουσιάζονται οι υπηρεσίες που θεωρείται ότι προσφέρονται από ένα σταθμό βάσης καθώς και το απαιτούμενο bit rate σε παρένθεση.

- Υπηρεσία A: Internet 1024/256 kbps (1280 kbps)
- Υπηρεσία B: IPTV 2048 kbps (2048 kbps)
- Υπηρεσία C: Voice over IP (VoIP) 64 kbps (64 kbps)

Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι τιμές πλήθους χρηστών που θα εξάγονται 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 προμελέτης είναι μεγάλη, διότι θα είναι δυνατό να γνωρίζουμε ποιες είναι οι μέγιστες «αντοχές» του σταθμού βάσης WiMAX που πρόκειται να στηθεί.



Εικόνα 5. 12 Καρτέλα Capacity Estimation

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράμετροι της εφαρμογής για την καρτέλα Capacity Estimation, όπως φαίνεται από την Εικόνα 5.8.

- Max No. of Subscribers that BS can Support (Το μέγιστο πλήθος συνδρομητών στο σταθμό βάσης): Υπάρχει περιορισμός για το πλήθος των συνδρομητών που μπορούν να υποστηρίξουν οι σταθμοί βάσης.

- Max No. of expected Subscribers (Το μέγιστο πλήθος των εγγεγραμμένων συνδρομητών στο σταθμό βάσης): Είναι οι χρήστες που είναι εγγεγραμμένοι στο σταθμό βάσης, αλλά δεν είναι απαραίτητα όλοι ενεργοί.
- CRk: Λόγος ανταγωνισμού (Contention Ratio): Είναι ένας λόγος $1/CR_k$, όπου το CR_k ($k=A, B, C$ Services) δείχνει το μέγιστο αριθμό χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα αφιερωμένο κανάλι της υπηρεσίας k . 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 αποδεδειγμένη 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.
- Οι χρήστες χωρίζονται σε Business και Residential και ανάλογα με τις συνθήκες ανταγωνισμού που θέτει ο χρήστης, γίνεται και η εξυπηρέτηση των συνδρομητών. Ας το εξετάσουμε λίγο πιο αναλυτικά. Στην Εικόνα 5.13 παρατηρούμε τις τιμές που έχει εισάγει ο χρήστης. Την υπηρεσία A από τους 100 εγγεγραμμένους χρήστες το 80% αυτών είναι Business και το 20% ανήκουν στην κατηγορία των Residential. Λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες ανταγωνισμού, έχουμε ότι το 10% του 80% των Business χρηστών είναι ενεργοί και ότι το 20% του 20% των Residential χρηστών είναι ενεργοί και εξυπηρετούνται από το σταθμό βάσης.

	Service A (internet)	Service B (IPTV)	Service C (VoIP)	CRk
Business Users (%)	80	50	20	10
Residential Users (%)	20	50	80	20
Required Bit Rate (Mbps)	1.024	2.048	0.064	
Service Demand (%)	100	100	100	

Εικόνα 5. 13 Παρεχόμενες Υπηρεσίες

- Required Bit Rate: Η συνολική απαιτούμενη ταχύτητα μετάδοσης για κάθε υπηρεσία:
Υπηρεσία A: Internet 1024/256 kbps ($W_A=1280$ kbps)
Υπηρεσία B: IPTV 2048 kbps ($W_B=2048$ kbps)

Υπηρεσία C: Voice over IP (VoIP) 64 kbps (WΣΤ=64kbps)

- Service Demand: Το ποσοστό των 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.
- Max Total Bit Rate (Μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης (σε Mbps) με συγκεκριμένη Διαμόρφωση): Τονίζουμε ότι οι τιμές της μέγιστης ταχύτητας μετάδοσης είναι μέγιστες επειδή θεωρούμε ότι κάθε φορά δεν υπάρχει άλλη ζώνη διαμόρφωσης, εκτός απ' τη ζώνη που βρισκόμαστε.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μεγέθη του Capacity Estimation που υπολογίζονται και εξάγονται σε μια αναφορά, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή pyWiMAX.

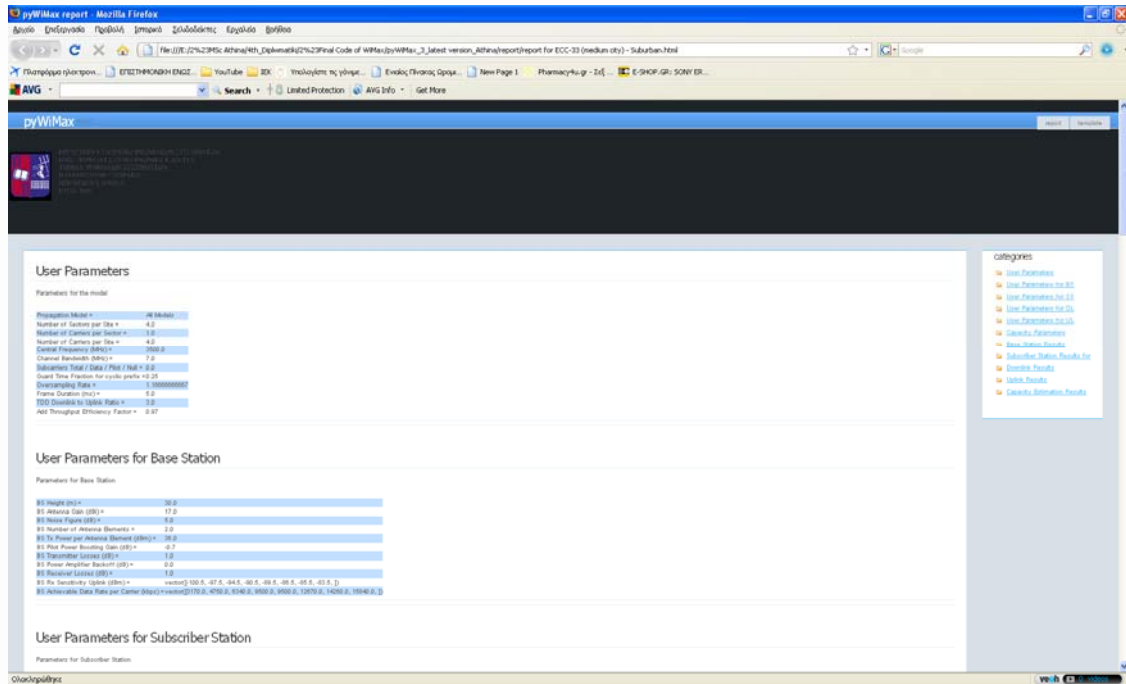
- Max Number of Candidate Subscribers (Μέγιστο πλήθος υποψηφίων συνδρομητών μιας υπηρεσίας στην περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης): Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους από το μέγιστο πλήθος συνδρομητών στο σταθμό βάσης, υπολογίζουμε το μέγιστο πλήθος των υποψηφίων συνδρομητών μιας υπηρεσίας πολλαπλασιάζοντας το μέγιστο πλήθος των συνδρομητών στο σταθμό βάσης επί το αντίστοιχο ποσοστό ζήτησης.
- Percentage of Population Coverage (Ποσοστό πληθυσμιακής κάλυψης μιας ζώνης Διαμόρφωσης): Πρόκειται για το ποσοστό % του συνολικού πληθυσμού της περιοχής ραδιοκάλυψης που βρίσκεται εντός της ζώνης διαμόρφωσης που βρισκόμαστε.
- Maximum Possible Number of Served Users (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 εκάστοτε υπηρεσία και μόνο στη ζώνη διαμόρφωσης που βρισκόμαστε. Με άλλα λόγια, το μέγεθος αυτό είναι το άνω φράγμα του πλήθους των χρηστών που μπορούν να απολάβουν την μια υπηρεσία, όντες σε κάποια ζώνη. Σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να ξεπεραστεί αυτός ο αριθμός.
- Maximum Number of Users Taking Service Demand into Consideration (Μέγιστο πλήθος χρηστών σε κάθε ζώνη συνυπολογίζοντας την πρόβλεψη ζήτησης): Αυτό το μέγεθος περιορίζει ακόμη περισσότερο το μέγιστο δυνητικά πλήθος εξυπηρετούμενων χρηστών σε κάθε ζώνη διαμόρφωσης. Ο παράγοντας περιορισμού είναι το μέγιστο πλήθος υποψηφίων συνδρομητών, διότι θεωρώντας ως αξιόπιστη την έρευνα αγοράς που έχουμε κάνει, δεν μπορούμε να έχουμε σε κάποια ζώνη διαμόρφωσης περισσότερους από το μέγιστο πλήθος των συνδρομητών στο σταθμό βάσης για κάποια από τις υπηρεσίες που έχουμε. Έτσι, το μέγιστο πλήθος των χρηστών σε κάθε ζώνη συνυπολογίζοντας

την πρόβλεψη ζήτησης ισούται με το ελάχιστο των μέγιστο δυνητικά πλήθος εξυπηρετούμενων χρηστών σε κάθε ζώνη διαμόρφωσης και μέγιστο πλήθος των συνδρομητών στο σταθμό βάσης.

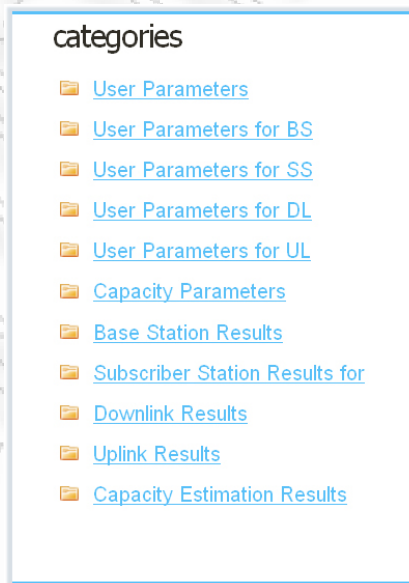
- **Distribution of Max Number of Candidate Subscribers According to the Respective Maximum Number of Users Taking Service Demand into Consideration of each Modulation Zone** (Ανηγγεμένη κατανομή στις ζώνες διαμόρφωσης, τού μέγιστου πλήθους υποψηφίων συνδρομητών με βάση το μέγιστο πλήθος χρηστών με μέγιστο πλήθος χρηστών σε κάθε ζώνη συνυπολογίζοντας την πρόβλεψη ζήτησης για την αντίστοιχη ζώνη): Το πλήθος των υποψηφίων συνδρομητών πρέπει με κάποιον τρόπο να κατανεμηθεί στις ζώνες διαμόρφωσης. Ένας τρόπος κατανομής είναι η αναγωγή του πλήθους των χρηστών ανά ζώνη διαμόρφωσης, δηλαδή ως προς το μέγιστο πλήθος χρηστών σε κάθε ζώνη με βάση την πρόβλεψη ζήτησης.
- **Distribution of Maximum Number of Candidate Subscribers According to Population Coverage Percentage** (Ανηγγεμένη κατανομή στις ζώνες διαμόρφωσης, τού μέγιστου πλήθους υποψηφίων συνδρομητών με βάση τα ποσοστά πληθυσμιακής κάλυψης των ζωνών διαμορφώσεως): Αυτός είναι ένας δεύτερος τρόπος να κατανείμουμε το μέγιστο πλήθος των χρηστών στις ζώνες διαμόρφωσης. Δηλαδή το κατανείμουμε με βάση τα πληθυσμιακά ποσοστά της κάθε ζώνης. Και εδώ, προφανώς, παίρνουμε την αποκοπή του αποτελέσματος.

5.3. ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

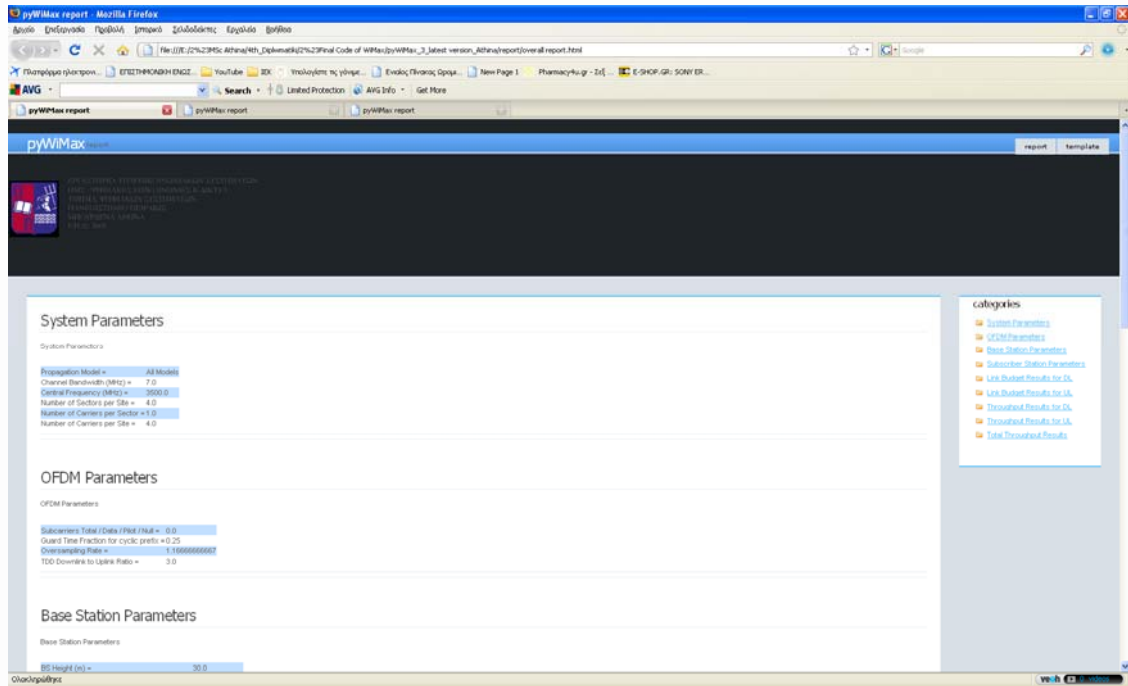
Η εφαρμογή που υλοποιήθηκε παράγει δύο ειδών αναφορές σε μορφή html. Το πρώτο είδος αναφοράς που παράγεται, αφορά το μοντέλο διάδοσης που επέλεξε ο χρήστης για να τρέξει την εφαρμογή. Στην αναφορά αυτή παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν. Το δεύτερο είδος αναφοράς συνοψίζει τα πιο σημαντικά αποτελέσματα για όλα τα μοντέλα διάδοσης, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στην Εικόνα 5.14 απεικονίζεται το πρώτο είδος αναφοράς (αναλυτική αναφορά), ενώ στην Εικόνα 5.15 παρουσιάζονται σε μεγέθυνση οι κατηγορίες των δεδομένων και των αποτελεσμάτων. Στην Εικόνα 5.16 απεικονίζεται το δεύτερο είδος αναφοράς (συνοπτική αναφορά), ενώ στην Εικόνα 5.17 παρουσιάζονται σε μεγέθυνση οι κατηγορίες των δεδομένων και των αποτελεσμάτων.



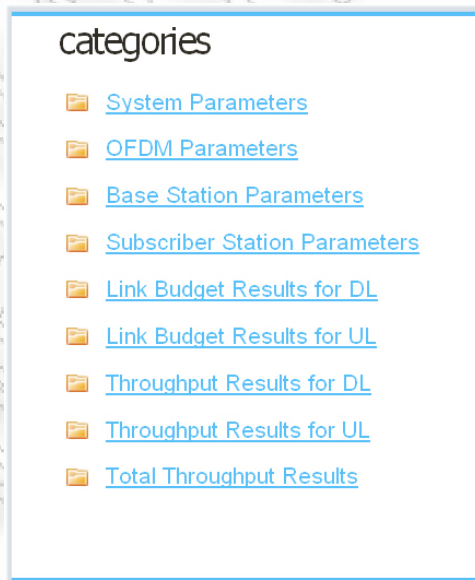
Εικόνα 5. 14 Πρώτη Αναφορά Εφαρμογής



Εικόνα 5. 15 Μεγέθυνση Κατηγοριών Πρώτης Αναφοράς



Εικόνα 5. 16 Δεύτερη Αναφορά Εφαρμογής



Εικόνα 5. 17 Μεγέθυνση Κατηγοριών Δεύτερης Αναφοράς

5.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σε αυτό το σημείο θα δώσουμε μία αναλυτικότερη περιγραφή για τον τρόπο λειτουργίας της εφαρμογής. Η εφαρμογή είναι γραμμένη στην γλώσσα Python, μία interpreted γλώσσα που δουλεύει σε πολλές πλατφόρμες (windows, Linux, MACOS, κτλ.). Για την γραφική αναπαράσταση της εφαρμογής χρησιμοποιείται το open-source GUI tool, wxWidgets το οποίο επίσης δουλεύει σε όλες τις προαναφερθείσες πλατφόρμες. Επομένως, αποφύγαμε τον αποκλεισμό κάποιας πλατφόρμας.

Για την αναπαράσταση των γραφικών επιλέχθηκε η βιβλιοθήκη wxWidgets καθώς πέρα του ότι είναι portable προσφέρει διάφορα εργαλεία που διευκολύνουν πολύ τον προγραμματισμό γραφικών εφαρμογών. Το γραφικό κομμάτι της εφαρμογής (GUI) είναι αποθηκευμένο σε μορφή XML και φορτώνεται δυναμικά στην αρχή της εφαρμογής. Επομένως, σε αντιπαράθεση με άλλες βιβλιοθήκες άλλων γλωσσών προγραμματισμού, για παράδειγμα Java/swing, ο κώδικας της διεπαφής δεν μπλέκεται με αυτόν της λογικής του προγράμματος. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε να ξεχωρίσουμε τον περιττά επαναλαμβανόμενο κώδικα που τέτοιες εφαρμογές απαιτούν και να επικεντρωθούμε στην λειτουργία του προγράμματος.

Η εφαρμογή μπορεί να θεωρηθεί ως μία εξειδικευμένη υπολογιστική μηχανή για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο (domain), αυτό της μοντελοποίησης των δικτύων WiMAX. Βάσει αυτού αναπτύχθηκε με τρόπο ώστε να είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να μην χρειάζεται τροποποίηση του κώδικα για αλλαγές στις εμπλεκόμενες εξισώσεις που απαιτείται από το μοντέλο. Για ακόμα μία φορά προσπαθούμε να διαχωρίσουμε τον κώδικα από τα δεδομένα που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι ίδιες οι εξισώσεις. Όλες οι εξισώσεις του μοντέλου επομένως φορτώνονται από αρχεία κειμένου τα οποία ο χρήστης μπορεί εύκολα να τροποποιήσει, χωρίς να εμπλακεί με τον κώδικα του προγράμματος. Για την ανάγνωση αυτών των αρχείων από το πρόγραμμα δημιουργήθηκε μία μικρογλώσσα την οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Παρόλο που η γλώσσα είναι αρκετά απλοϊκή, βασιζόμενη σε κανονικές έκφρασεις (regular expressions), είναι επαρκής στην περιγραφή των απαιτούμενων εξισώσεων.

5.4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΩΔΙΚΑ

Ξεινώντας θα περιγράψουμε το αντικείμενο vector (διάνυσμα) το οποίο δημιουργήθηκε για την ανάγκη των υπολογισμών. Το αντικείμενο αυτό χρησιμοποιείται για διευκόλυνση των πράξεων που αφορούν διαφορετικές διαμορφώσεις των σημάτων (QPSK-1/2, QPSK-3/4, 16QAM-1/2, κτλ.). Καθώς πρόκειται για εξισώσεις που αναφέρονται απλά σε διαφορετικές τιμές ανάλογα την διαμόρφωση αποφασίστηκε ότι ένα διάνυσμα θα διευκόλυνε τον χειρισμό και τον υπολογισμών όλων αυτών των τιμών αντί να γίνεται η επανάληψη της εξίσωσης για κάθε διαμόρφωση. Επομένως πολλές πράξεις αναφέρονται σε διανύσματα διάστασης 8, όσες

και οι υποστηριζόμενες διαμορφώσεις. Για την ανάγκη αυτών των υπολογισμών ήταν αναγκαία η δημιουργία μιας κλάσης που θα επέτρεπε εύκολη διαχείριση αυτών των διανυσμάτων.

Στο Παράρτημα Α δίνεται [η υλοποίηση αυτής της κλάσης](#). Όλες οι συναρτήσεις που ξεινούν και τελειώνουν με τους χαρακτήρες ‘__’ (double underscore) είναι ειδικές μέθοδοι για τα αντικείμενα της pythοn και είναι ο τρόπος με τον οποίο υλοποιείται το operator overloading στην γλώσσα. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να υποστηρίξουμε εκφράσεις του τύπου στην γλώσσα “2 * vec + x” όπου το vec να είναι ένα διάνυσμα. Οι πράξεις όλες εκτελούνται στοιχείο προς στοιχείο. Επομένως ο πολλαπλασιασμός δύο διανυσμάτων δεν ισοδυναμεί με μαθηματικό διανυσματικό πολλαπλασιασμό, αλλά με πολλαπλασιασμό των επιμέρους στοιχείων στις αντίστοιχες θέσεις.

Ακόμα μία βοηθητική κλάση που χρειάστηκε να υλοποιηθεί είναι η [NaN](#) η οποία προσποιείται την λειτουργικότητα ενός πραγματικού αριθμού, αλλά αντιπροσωπεύει αποτελέσματα πράξεων τα οποία ξεφεύγουν από το πεδίο ορισμού των πραγματικών αριθμών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης της κλάσης αυτής είναι η αναπαράσταση του αποτελέσματος ρίζας ενός αρνητικού αριθμού (που είναι μιγαδικό) ή αποτελέσματος που προκύπτουν με διαίρεση κάποιου αριθμού με το 0. Υπάρχουν περιπτώσεις στα μοντέλα όπου ανακύπτουν τέτοιες περιπτώσεις (για παράδειγμα υπολογισμός τριωνύμου στο μοντέλο ECC). Η αναγραφή του συμβόλου NaN στα αποτελέσματα επομένως αντιπροσωπεύει τέτοιες περιπτώσεις.

Κοιτώντας πιο αναλυτικά τον κώδικα στο αρχείο pyWiMAX.py θα δούμε ότι η βασικότερη κλάση της εφαρμογής είναι η pyWiMAX. Εδώ θα αναλύσουμε όλες τις μεθόδους της κλάσης αυτής.

Η μέθοδος [OnInit\(\)](#) κάνει override την αντίστοιχη μέθοδο της κλάσης wx.App την οποία κληρονομούμε στην εφαρμογή μας και ουσιαστικά αντιπροσωπεύει μία γραφική εφαρμογή. Όπως προδίδει και το όνομά της καλείται από την βιβλιοθήκη κατά την αρχικοποίηση της εφαρμογής μας και μας επιτρέπει να κάνουμε κάποια προεργασία. Η πρώτη γραμμή κώδικα χρησιμοποιεί το XRC component της βιβλιοθήκης wxWidgets ώστε να φορτώσει το layout της γραφική εφαρμογής από το αρχείο που βρίσκεται. Οι επόμενες κλήσεις αφορούν άλλες εσωτερικές μεθόδους της κλάσης που θα αναλυθούν παρακάτω.

Η [InitFrame\(\)](#) είναι η πρώτη από αυτές και φορτώνει και εμφανίζει στην οθόνη το βασικό παράθυρο της εφαρμογής μας.

Η [InitEvents\(\)](#) είναι η μέθοδος η οποία συνοδεύει τα γραφικά στοιχεία της εφαρμογής μας με συναρτήσεις οι οποίες εκτελούν κάποιες λειτουργίες στην διεπαφή. Για παράδειγμα μπορούμε να δούμε ότι σε αυτό το σημείο οι επιλογές του μενού New, Open, Save, κτλ. αντιστοιχίζονται στις συναρτήσεις οι οποίες εκτελούν τις κατάλληλες ενέργειες. Αντίστοιχα βλέπουμε και την σύνδεση του button Report με την συνάρτηση OnReport(), η οποία εκτελεί την ενέργεια αυτή.

Η [InitEverythingElse\(\)](#) αναλαμβάνει την αρχικοποίηση των εναπομεινάντων παραμέτρων της εφαρμογής μας, κυρίως των μεταβλητών περιβάλλοντος του αντικειμένου (instance variables).

Η [UpdateCache\(\)](#) συνάρτηση αρχικοποιεί και ανανεώνει το ευρετήριο (dictionary) self.cache της εφαρμογής. Τα dictionaries της python είναι συσχετιστικές δομές δεδομένων (associative containers) που αντιστοιχούν ένα κλειδί (key) σε μία τιμή (value). Στην συγκεκριμένη περίπτωση η cache διατηρεί μεταβλητές και σταθερές που απαιτούνται για την επίλυση των εξισώσεων του μοντέλου μας. Για παράδειγμα εδώ αποθηκεύεται η τιμή της σταθεράς Constellation Size που είναι ένα διάνυσμα με προκαθορισμένες τιμές.

Η [UpdateCellImage\(\)](#) είναι η συνάρτηση που λαμβάνει ένα συμβάν (event) από το γραφικό περιβάλλον όταν τροποποιηθεί η τιμή της μεταβλητής Number of Sectors per Site από τον χρήστη ώστε να ανανεώσει την εμφανιζόμενη εικόνα με τις διαμορφώσεις στο γραφικό περιβάλλον.

Η [OnSUISChanged\(\)](#) ελέγχει κάθε φορά που ο χρήστης τροποποιεί την τιμή της μεταβλητής S για τα μοντέλα SUI αν παραμένει στο απαιτούμενο range, δηλαδή ανάμεσα στις τιμές 8.2 και 10.6.

Η συνάρτηση [OnNew\(\)](#) αρχικοποιεί όλες τις μεταβλητές της εφαρμογής στην default τιμή τους. Οι default τιμές όλων των μεταβλητών του συστήματος ορίζονται στο αρχείο default.dat το οποίο ο χρήστης μπορεί εύκολα να τροποποιήσει.

Η συνάρτηση [OnOpen\(\)](#) εμφανίζει ένα διάλογο αναζήτησης αρχείων και επιτρέπει στον χρήστη να φορτώσει ένα preset τιμών που έχει σώσει στο παρελθόν για τα μοντέλα του WiMAX.

Η [OnSave\(\)](#) αντίστοιχα επιτρέπει την αποθήκευση σε αρχείο όλων των τιμών από το γραφικό περιβάλλον.

Η [OnQuit\(\)](#) τερματίζει την εφαρμογή.

Η [LoadFromFile\(\)](#) ανοίγει για ανάγνωση κάποιο αρχείο από τον δίσκο και φορτώνει στο περιβάλλον τις τιμές των μεταβλητών που βρίσκονται εκεί αποθηκευμένες, ανανεώνοντας το γραφικό περιβάλλον.

Η συνάρτηση [OnReport\(\)](#) είναι η μέθοδος που αντιστοιχεί στο button 'Report' του γραφικού περιβάλλοντος και το κεντρικό σημείο όπου οργανώνεται η εκτέλεση των μοντέλων για το δίκτυο WiMAX που μοντελοποιείται. Ο υπολογισμός των τελικών αποτελεσμάτων του μοντέλου χωρίζεται σε μερικά βασικά κομμάτια τα οποία και ελέγχει αυτή η συνάρτηση.

Αρχικά υπολογίζονται όλες οι εξισώσεις ενδιάμεσων αποτελεσμάτων που βρίσκονται αποθηκευμένες στο αρχείο calc.dat. Η μορφή αποθήκευσής τους είναι απλό κείμενο (plain text) ώστε ο χρήστης να μπορεί εύκολα να τις τροποποιεί ή αν θέλει να προσθαφαιρέσει κάποιες εξ αυτών. Κάθε εξίσωση όπως θα δούμε και παρακάτω αποτελείται από δύο μέρη, το αριστερό κομμάτι (αριστερά του τελεστή ανάθεσης, '=') όπου ορίζει το όνομα της μεταβλητής και το δεξί κομμάτι που εκφράζει μία μεταβλητή ως εξίσωση άλλων ήδη υπολογισμένων μεταβλητών. Τα αποτελέσματα των εξισώσεων, δηλαδή οι τιμές, των ενδιάμεσων αυτών μεταβλητών αποθηκεύονται στο instance variable self.values της κλάσης το οποίο είναι ένα python

dictionary. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως πρόκειται για έναν associative container όπου το key είναι το όνομα της μεταβλητής και τα data η τιμή της.

Στο δεύτερο τμήμα των υπολογισμών ανάλογα με το μοντέλο που έχει επιλεγεί από τον χρήστη έχουμε τον επαναλαμβανόμενο υπολογισμό άλλων μεταβλητών ώστε να βρεθεί το απαιτούμενο Max Site Range σε κάθε μοντέλο προκειμένου οι δύο τιμές του Number of Sectors, throughput και coverage based, να συγκλίνουν.

Τέλος υπολογίζονται τα τελικά capacity metrics του συστήματος βάση των υπηρεσιών που λειτουργούν πάνω από το δίκτυο όπως αυτές τις όρισε ο χρήστης. Αυτοί οι υπολογισμοί βρίσκονται στο αρχείο capacity.dat.

Μετά το πέρας όλων των υπολογισμών τα τελικά και ενδιάμεσα αποτελέσματα καταγράφονται σε αρχεία αναφορών βασιζόμενα πάνω σε templates που έχει δώσει ο χρήστης. Παρακάτω θα αναφερθούμε αναλυτικότερα στα αρχεία αναφορών και τον τρόπο παραγωγής τους.

Όπως έγινε αντιληπτό μέχρι τώρα οι μεταβλητές των μοντέλων της ανεπτυγμένης υπολογιστικής μηχανής (domain-specific calculator), βρίσκονται σε διάφορα σημεία στο σύστημα. Για να προσφέρουμε ένα ενοποιημένο interface στον τρόπο που προσπελάζουμε μεταβλητές και σύμβολα για τις εξισώσεις υπολογισμού, δημιουργήθηκε η συνάρτηση [GetValue\(\)](#). Ο σκοπός της συνάρτησης είναι ο εντοπισμός μίας μεταβλητής στο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα τα μέρη στα οποία βρίσκεται μία μεταβλητή/σύμβολο ανάλογα τον τύπο του είναι (με την σειρά προτεραιότητας αναζήτησης από την συνάρτηση):

- το γραφικό περιβάλλον για τις μεταβλητές που μεταβάλλει ο χρήστης
- στην cache της οποίας η λειτουργία περιγράφηκε στην συνάρτηση UpdateCache() και περιέχει σταθερές του μοντέλου
- στον πίνακα μαθηματικών συναρτήσεων που υποστηρίζονται από την μηχανή υπολογισμών: floor, ceil, log, sum, sqrt, max, min
- στο dictionary self.values όπου αποθηκεύονται τα ενδιάμεσα αποτελέσματα υπολογισμών από της εξισώσεις που εκτελούνται

Η συνάρτηση GetValue() επομένως επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση σε μεταβλητές και υλοποιεί και ένα βασικό έλεγχο λαθών ορισμένων περιπτώσεων.

Ο ρόλος της συνάρτησης [CalcParameters\(\)](#) είναι ο υπολογισμός των εξισώσεων που βρίσκονται στο αρχείο εισόδου. Για την ανάγνωση (parsing) αυτών των αρχείων έχει οριστεί μία μικρογλώσσα η οποία είναι αρκετά απλοϊκή ώστε να περιγραφεί με regular expressions, όμως είναι αρκετά ευέλικτη ώστε να επαρκεί για την περιγραφή των εξισώσεών μας.

Τα regular expression (κανονικές εκφράσεις) ή regex είναι πολύ μία αναπαράσταση απλών γλωσσών που μπορούν να περιγραφούν απλά και αυτόματα. Είναι εναλλακτική περιγραφή ενός state MACHine και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για την περιγραφή λεκτικών αναλυτών (lexical analyzers) σε compilers γλωσσών. Το regex που περιγράφει τα σύμβολα (identifiers) σε μία εξίσωση του αρχείου εισόδου είναι η "[a-zA-Z][a-zA-Z0-9_]*". Αυτή η έκφραση περιγράφει σύμβολα που ξεκινούν με κάποιο γράμμα του λατινικού αλφαβήτου, πεζό ή κεφαλαίο, και ακολουθούν μηδενικό ως απεριόριστο (αλλά πεπερασμένο) πλήθος αλφαριθμητικών χαρακτήρων ή του κενού. Το σύμβολο '*' ορίζει το πλήθος (0 ή περισσότερα) του group που προηγείται (αλφαριθμητικά ή το κενό). Επομένως μία μεταβλητή δεν μπορεί να περιλαμβάνει σύμβολα του πληκτρολογίου, τα οποία στις εξισώσεις έχουν ειδική σημασία, π.χ. /, +, *, -, κτλ.

Όποια γραμμή του αρχείου ξεκινάει με το σύμβολο '#' θεωρείται ως σχόλιο και δεν υπολογίζεται το περιεχόμενό της. Όλες οι υπόλοιπες πρέπει να είναι της μορφής "lvalue = rvalue". Το lvalue αντιστοιχεί στο όνομα της μεταβλητής την οποία υπολογίζουμε και διαχωρίζεται από την εξίσωση με τον τελεστή ανάθεσης '='. Το rvalue κομμάτι μπορεί να είναι μία πολύπλοκη μαθηματική έκφραση την οποία και υπολογίζουμε κατά την διάρκεια δημιουργίας του report για το μοντέλο.

Η συνάρτηση διαβάσει όλες τις γραμμές αρχείου εφαρμόζοντας την παραπάνω διαδικασία και τυπώνει τα ενδιάμεσα αποτελέσματα στην κονσόλα της εφαρμογής (εάν αυτή τρέχει σε console mode) αλλά και σε ένα αρχείο με όνομα log.txt για περαιτέρω αναφορά στο μέλλον αν αυτό χρειαστεί.

Η [UpdateMaxSiteRange\(\)](#) είναι η συνάρτηση όπου για κάθε εφαρμοζόμενο μοντέλο κάνει τους υπολογισμούς του Max Site Range και του coverage έως ότου συγκλίνουν οι τιμές των sectors του δικτύου.

Τέλος η συνάρτηση [CreateReport\(\)](#) είναι αυτή που κάνει την τελική αποτύπωση όλων των αποτελεσμάτων σε μορφή εύκολα αναγνώσιμη από τον χρήστη. Η μέθοδος είναι αρκετά γενική και αφήνει ελεύθερο τον χρήστη να διαλέξει το τελικό format του αρχείου που θα περιέχει το report με τον μόνο περιορισμό ότι θα πρέπει να είναι plain text. Παραδείγματα τέτοιων format, που διευκολύνουν και το processing των δεδομένων, είναι html, xml, latex.

Ο χρήστης χρειάζεται να δώσει ένα template του τελικού report στο format το οποίο επιθυμεί. Η εφαρμογή λειτουργεί με τον εξής τρόπο. Διαβάζει αυτό το αρχείο και κάνει parse για να βρει ειδικές περιοχές που έχει ορίσει ο συγγραφέας όπου αναφέρεται σε μεταβλητές του μοντέλου και αντικαθιστά αυτά τα σύμβολα με τις τιμές αυτών των μεταβλητών. Για ακόμα μία φορά για την αντικατάσταση αυτών των συμβόλων με τις τιμές χρησιμοποιούνται regular expressions.

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: απλές μεταβλητές, αναφορά σε στοιχείο διανύσματος και υπολογισμό υπό συνθήκη. Οι ειδικές περιοχές στο κείμενο ξεχωρίζουν όντας ανάμεσα σε ένα ζευγάρι χαρακτήρων '#'. Για την πρώτη κατηγορία συμβόλων οι μεταβλητές πρέπει να έχουν

την ίδια μορφή με αυτήν που αναφέραμε στη συνάρτηση CalcParameters(), δηλαδή αλφαριθμητικά με κενά τα όποια ξεκινούν με χαρακτήρα του λατινικού αλφαβήτου.

Η δεύτερη κατηγορία είναι όμοια με την πρώτη με την προσθήκη του συμβόλου επιλογής στοιχείου από πίνακα, δηλαδή “[x]”, όπου το x είναι ένας αριθμός που αντιστοιχεί στην κατάλληλη θέση του διανύσματος.

Τέλος στην αντικατάσταση υπό συνθήκη μία απλή μεταβλητή ακολουθείται από μία έκφραση της μορφής “? expression” όπου το expression μπορεί να είναι μία έκφραση ισότητας / ανισότητας μεταξύ δύο μεταβλητών. Παράδειγμα χρήσης αυτής της κατηγορίας είναι για να τυπώνουμε μεταβλητές που έχουν ύπαρξη σε συγκεκριμένο μοντέλο του δικτύου. Στο παραδοτέο της εργασίας παρέχεται ένα html template που παράγει ένα τελικό report με όλες τις μεταβλητές του συστήματος, όπως και ένα συνοπτικότερο συνολικό template. Αυτά είναι εύκολα τροποποιήσιμα από τον χρήστη όπως επίσης μπορούν και να αντικαθιστούν πλήρως από κάτι αντίστοιχο.

Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 5^ο

[1] <http://www.diveintopython.org/>

[2] [http://www.amazon.co.uk/Dive-Into-Python-Mark -](http://www.amazon.co.uk/Dive-Into-Python-Mark-Pilgrim/dp/1590593561/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=books&qid=1243000775&sr=8-1)

[Pilgrim/dp/1590593561/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=books&qid=1243000775&sr=8-1](http://www.amazon.co.uk/Dive-Into-Python-Mark-Pilgrim/dp/1590593561/ref=sr_1_1?ie=UTF8&s=books&qid=1243000775&sr=8-1)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΛΙΑ

6. ΡΑΔΙΟ-ΚΑΛΥΨΗ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ WINPROP

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η ραδιοκάλυψη μιας περιοχής της Ελλάδας χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Mobile WiMAX και το εξειδικευμένο λογισμικό WinProp της εταιρίας Antenna Wave propagation Electromagnetic Communications GmbH.

Σκοπός της μελέτης είναι ο καθορισμός του αριθμού των σταθμών βάσης και της μεταξύ τους απόστασης, καθώς και του πλήθους των απαιτούμενων κεραιών, προκειμένου να καλυφτεί η περιοχή ενδιαφέροντος που έχει επιλεγεί με την τεχνολογία Mobile WiMAX, δεδομένων κάποιων περιορισμών. Στους περιορισμούς λαμβάνονται υπόψη η διάσταση της γεωγραφικής περιοχής που επιλέγεται να καλυφτεί, ο τύπος της περιοχής (αστική, αγροτική περιοχή κτλ.), το υψόμετρο που τοποθετείται κάθε σταθμός βάσης, τα ύψη των κεραιών σε κάθε σταθμό βάσης καθώς και η ισχύς εκπομπής της, ακόμα και πιθανά εμπόδια που δημιουργούν παρεμβολές κατά τη διάδοση των κυμάτων (ψηλά κτίρια).

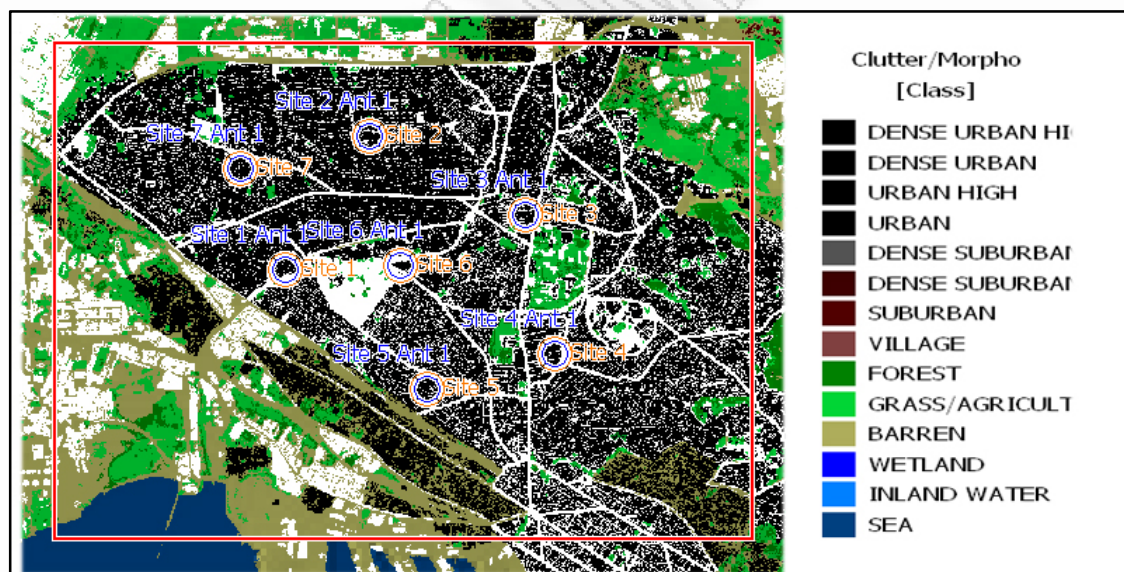
Βασικοί περιορισμοί είναι και αυτοί που τίθενται από τις προδιαγραφές του Mobile WiMAX οι οποίες περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 2 και από την προμελέτη που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5 και υλοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής. Η προμελέτη που εξάγεται από την υπολογιστική μηχανή ryWiMAX, συντελεί στην επιλογή αρχικών τιμών για κάποια μεγέθη που είναι απαραίτητα για την ραδιοκάλυψη της περιοχής που μελετάται. Πιο συγκεκριμένα, από την αναφορά που δημιουργείται από το εργαλείο ryWiMAX, εξασφαλίζεται κατά ένα ποσοστό με κάποιες αποκλείσεις (οι αποκλείσεις οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι τα εργαλεία ryWiMAX και WinProp χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα απωλειών) ο αριθμός των σταθμών βάσης που χρειάζεται μια περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες του εδάφους και την απόσταση που οφείλουν να έχουν οι σταθμοί προκειμένου να μην δημιουργούνται παρεμβολές.

Η κάλυψη της περιοχής έχει ενδιαφέρον αφενός από το πλήθος των χρηστών που μπορεί να εξυπηρετήσει κάθε σταθμός βάσης, αφετέρου από την ρυθμοαπόδοση (throughput) που μπορεί να προσφερθεί. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο περιορισμός για το Throughput, σε όλη την περιοχή κάλυψης, έχει δοθεί στις αρχικές προδιαγραφές και είναι 160.000 kbps. Η αναλογία του TDD Down to Up link ratio που επιλέχθηκε να χρησιμοποιείται στο WiMAX είναι 3:1, οπότε και το throughput στο downlink ισούται με 120.000 kbps ενώ στο uplink ισούται με 40.000 kbps.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται δύο σενάρια για την ραδιοκάλυψη μιας περιοχής στο κέντρο μιας πόλης της Ελλάδας. Αρχικά εξετάζεται η ραδιοκάλυψη μιας αστικής περιοχής με ομοιοκατευθυντικές κεραίες (omnidirectional antennas) και στη συνέχεια η ραδιοκάλυψη της ίδιας περιοχής χρησιμοποιώντας τεχνικές βελτίωσης της φασματικής απόδοσης όπως η τομεοποίηση της κυψέλης (sectoring) και η συσταδοποίηση (clustering).

6.2. ΣΕΝΑΡΙΟ 1^ο OMNIDIRECTIONAL ANTENNAS

Στο σενάριο αυτό μελετάται η ραδιοκάλυψη μιας περιοχής 19 Km² στην Ελλάδα. Από την Εικόνα 6.1 που ακολουθεί, διαπιστώνουμε τον τύπο της περιοχής που είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό αστικός. Σημειώνεται ότι όλο το κομμάτι που απεικονίζεται παρακάτω είναι 27 Km², αλλά το ενδιαφέρον εστιάζεται στα 19 Km² όπου σκοπός είναι να καλυφθούν με το βέλτιστο δυνατό σχεδιασμό. Στο λογισμικό WinProp δεν είναι δυνατή η επιλογή περιοχής προς μελέτη σε κυκλική ή μορφή κανονικού εξαγώνου και για αυτό το λόγο απεικονίζεται και γεωγραφική περιοχή, η οποία και δεν λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη, που αποτελείται από θάλασσα ή γρασίδι.



Εικόνα 6. 1 Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Ομοιοκατευθυντικές Κεραίες

Δεδομένου αυτών των περιορισμών και γνωρίζοντας το εύρος του καναλιού, την συχνότητα που λειτουργεί το Mobile WiMAX και τα χαρακτηριστικά των σταθμών βάσης, όπως ισχύς και ύψος κεραίας εκπομπής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το pyWiMAX για να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του πλήθους των sectors που

χρειάζεται η περιοχή των 19 Km² για να καλυφθεί, καθώς και η ακτίνα που θα χρησιμοποιηθεί. Σύμφωνα με την προμελέτη χρειάζονται εννέα sites και ακτίνα κυψέλης περίπου 0.900 km. Σημειώνεται ότι το Building Penetration Loss ισούται με μηδέν καθώς το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται στο WinProp είναι Outdoor, οπότε θα πρέπει να ληφθεί ως παράμετρος στο ryWiMAX.

Στην αστική περιοχή που επιλέχθηκε, χρησιμοποιήθηκαν επτά σταθμοί βάσης, με ομοιοκατευθυντικές κεραιές, και με έξι διαφορετικές συχνότητες για τα carrier, ώστε να μην υπάρχουν πολύ δυνατές παρεμβολές μεταξύ των σταθμών βάσης. Στο Πίνακα 1 παρατίθενται οι συχνότητες που επιλέχθηκαν για κάθε ένα site. Προφανώς θα έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε δύο sites, διότι έχουμε επτά σταθμούς βάσης και έξι carrier. Τα Site 4 και Site 7 χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Η επιλογή έγινε έτσι ώστε να έχουν την μεγαλύτερη απόσταση οι δύο κυψέλες μεταξύ τους για να αποφευχθούν οι παρεμβολές.

ID	Frequency (MHz)
1	3462.500
2	3562.500
3	3469.500
4	3569.500
5	3576.500
6	3476.500

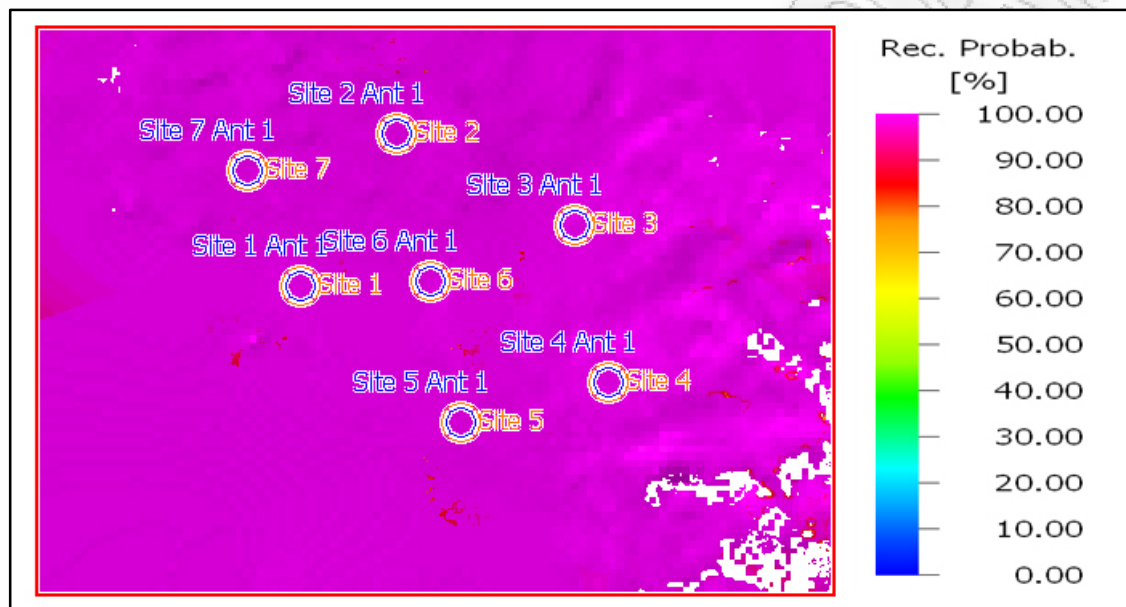
Site 1	16 m
Site 2	50 m
Site 3	48 m
Site 4	62 m
Site 5	20 m
Site 6	22 m
Site 7	38 m

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Google Earth για την κατάλληλη επιλογή των σημείων που τοποθετήθηκαν οι σταθμοί βάσης. Ο Πίνακας 2 αντιστοιχεί κάθε κυψέλη με το υψόμετρο του εδάφους που τοποθετήθηκε. Το στοιχείο αυτό είναι πολύ χρήσιμο, αφενός για να υπάρχει η πληροφορία για το αν τοποθετείται ο σταθμός βάσης σε ένα ψηλό σημείο ή όχι, αφετέρου για να γνωρίζουμε τα κτίρια της γύρω περιοχής, δεδομένου ότι δεν υπάρχει λόγος να τοποθετηθεί ένας σταθμός βάσης σε ένα χαμηλό κτίριο που περιτριγυρίζεται από ψηλές πολυκατοικίες.

Δεδομένου όλων των παραπάνω, εξήχθησαν τα αποτελέσματα που απεικονίζονται και παρουσιάζονται παρακάτω. Στις Εικόνες 6.2, 6.3 και 6.4 παρουσιάζεται το Reception Probability, δηλαδή η πιθανότητα λήψης του εκπεμπόμενου σήματος του σταθμού βάσης.

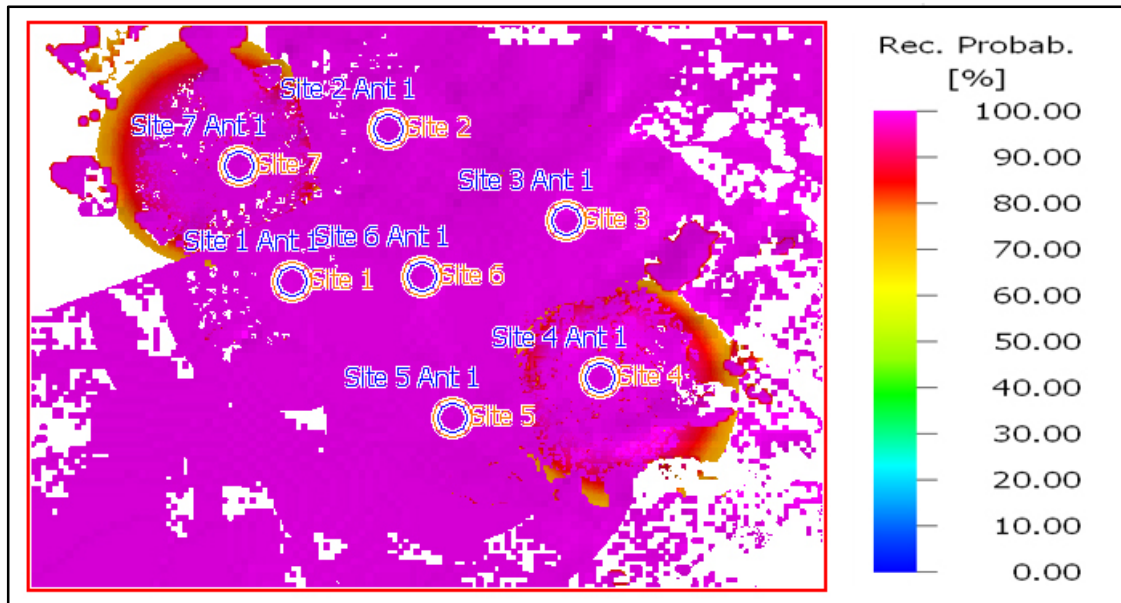
Όπως περιγράφηκε στα θεωρητικά κεφάλαια, το WiMAX είναι μια τεχνολογία που υποστηρίζει πολλά σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Οι συνδυασμοί των σχεδίων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται είναι οι παρακάτω οκτώ: QPSK-1/2, QPSK-3/4, 16QAM-1/2, 16QAM-3/4, 64QAM-1/2, 64QAM-2/3, 64QAM-3/4 και 64QAM-5/6. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις δύο

ακραίες και μία μέση διαμόρφωση. Ακραίες θεωρούνται οι QPSK-1/2 η οποία καλύπτει μεγάλες αποστάσεις και 64QAM-5/6 η οποία καλύπτει πολύ κοντινές αποστάσεις. Τέλος, η 16QAM-3/4 επιλέχθηκε ως μια μέση διαμόρφωση, προκειμένου να παρατηρηθούν οι διαφοροποιήσεις από σχήμα διαμόρφωσης σε σχήμα διαμόρφωσης.

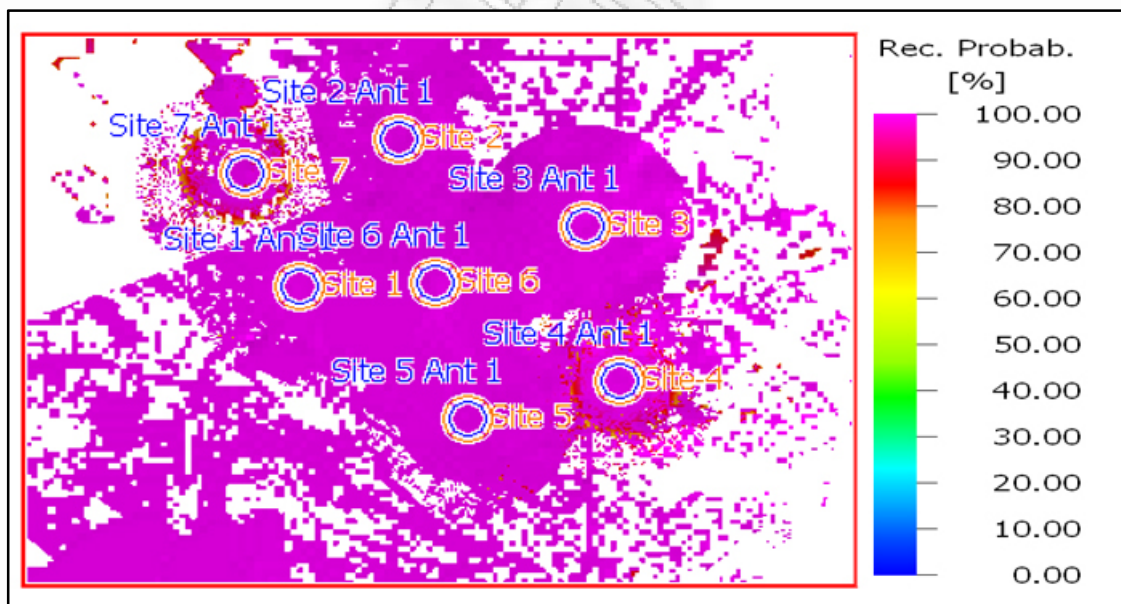


Εικόνα 6. 2 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2

Όπως παρατηρείται και από την Εικόνα 6.2 σχεδόν σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος η πιθανότητα κάλυψης αγγίζει το 100%, εκτός από ένα κομμάτι της περιοχής που βρίσκεται νοτιοανατολικά της πόλης. Στο σημείο αυτό καλό θα ήταν η χρήση επιπλέον κυψελών (γεγονός που συμφωνεί με την προμελέτη), διότι όπως θα δούμε και παρακάτω, υπάρχει μεγάλη απόκλιση στην ρυθμαπόδοση σε σχέση με αυτήν που ορίστηκε στις προδιαγραφές. Στην Εικόνα 6.3 και 6.4 παρατηρείται ότι όλο και μειώνεται η πιθανότητα λήψης του σήματος, γεγονός αναμενόμενο καθώς επιλέγεται ένας πιο ισχυρός συνδυασμός διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που υποστηρίζεται σε μικρές αποστάσεις από το κέντρο της κυψέλης. Από τη στιγμή που το χαμηλότερο σχέδιο διαμόρφωσης (QPSK-1/2) καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος, δεν είναι απαραίτητη κάποια βελτίωση όσον αφορά τη προσθήκη νέων σταθμών βάσης ώστε και με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις να πετυχαίνουμε σε μεγάλες ακτίνες 100% κάλυψη.

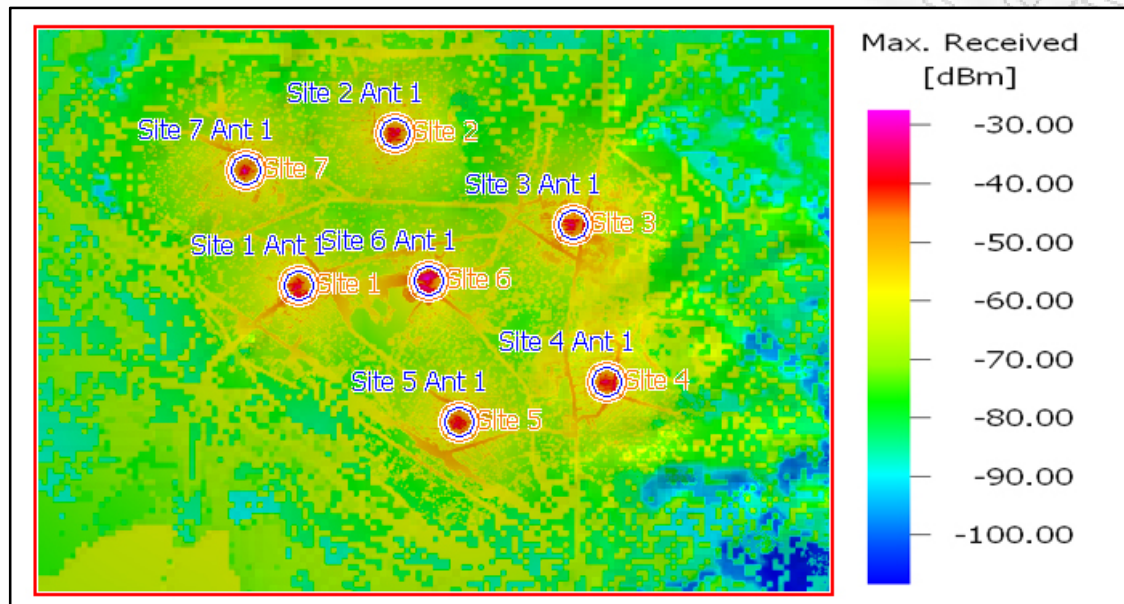


Εικόνα 6. 3 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 16QAM-3/4



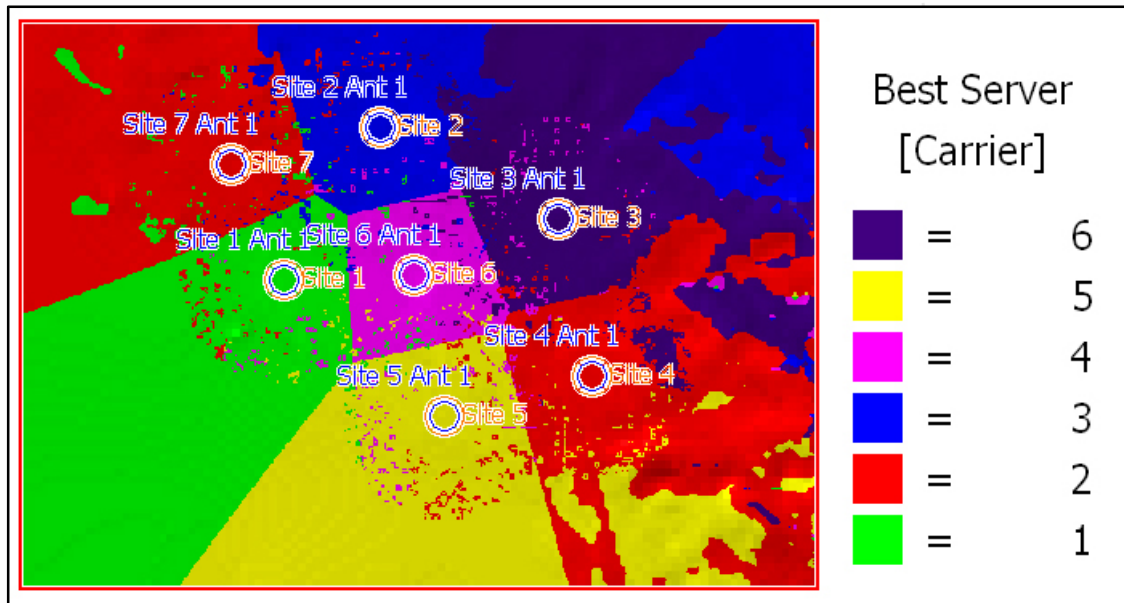
Εικόνα 6. 4 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 64QAM-5/6

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 6.5), παρουσιάζεται η μέγιστη λαμβανόμενη ισχύς για κάθε σταθμό βάσης. Στο κέντρο κάθε σταθμού και στα όρια της κυψέλης παρατηρείται ότι η ισχύς κατέχει τη μέγιστη τιμή.

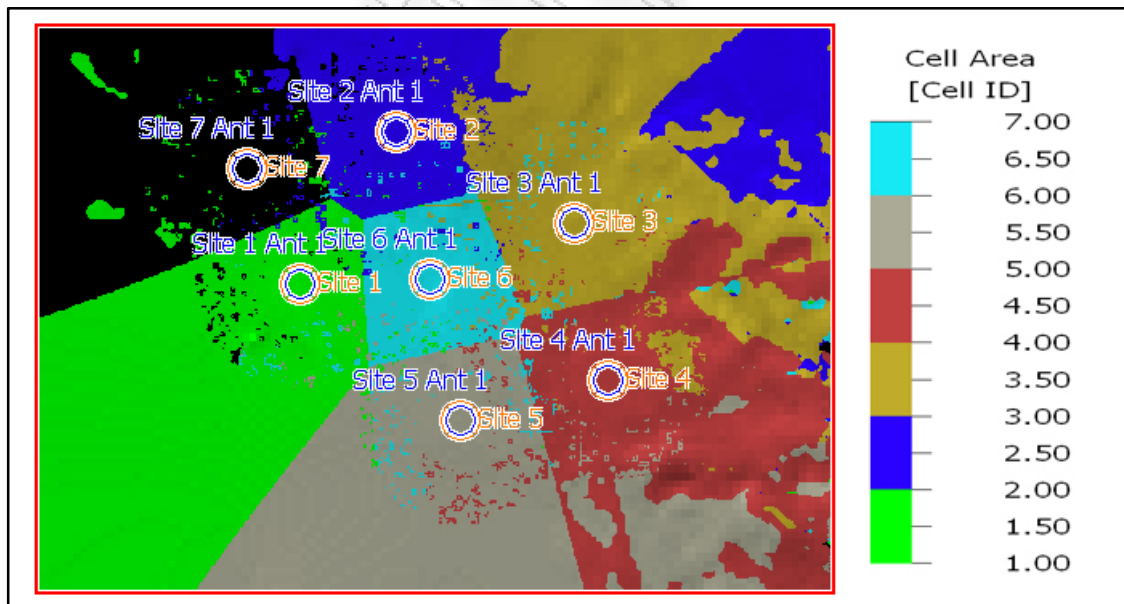


Εικόνα 6. 5 Μέγιστη Ισχύς για κάθε Κυψέλη

Ένα από τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη με το λογισμικό WinProp είναι ο εντοπισμός της περιοχής που εξυπηρετεί κάθε carrier. Στην Εικόνα 6.6 παρατηρείται ποια κομμάτια της περιοχής που μελετάται καλύπτει ο κάθε σταθμός βάσης, δεδομένου ότι σε κάθε σταθμό βάσης έχει ανατεθεί ένα carrier. Σε αρκετές περιπτώσεις διαπιστώνεται ότι σε περιοχές που καλύπτονται από κάποιο carrier παρουσιάζονται και γειτονικά carrier και αυτό οφείλεται στις παρεμβολές, οι οποίες δεν κρίνονται ιδιαίτερα σοβαρές στο συγκεκριμένο σενάριο. Επίσης από την Εικόνα 6.7 εξάγονται αντίστοιχα συμπεράσματα με αυτά της Εικόνας 6.6 και αφορά την περιοχή που καλύπτει η κάθε κυψέλη.



Εικόνα 6. 6 Καλύτερος Εξυπηρετητής

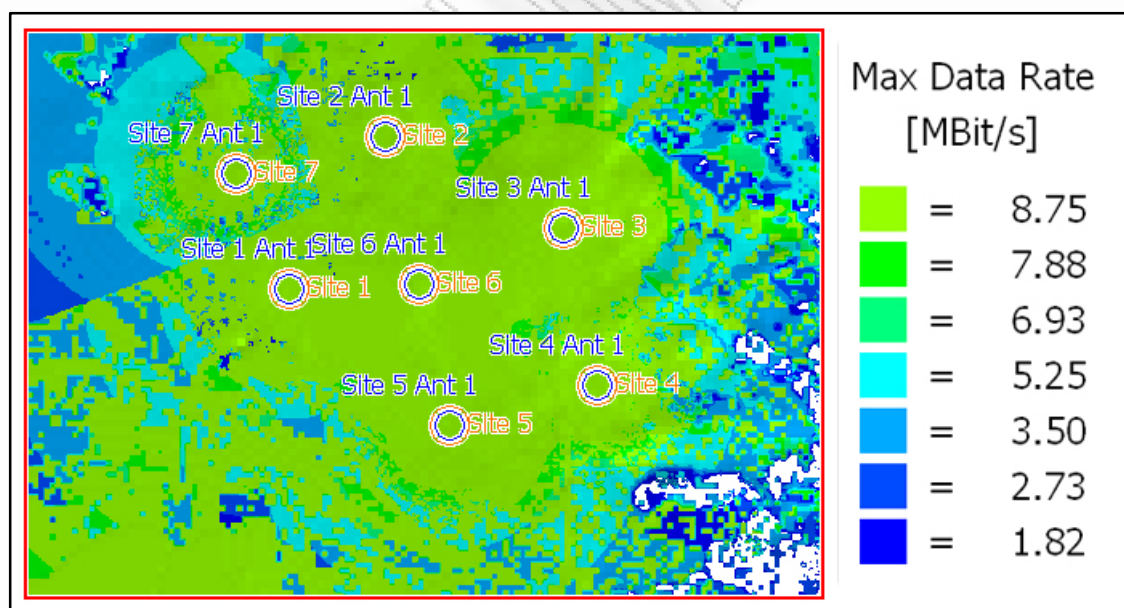


Εικόνα 6. 7 Περιοχή Κυφέλης

Κατά τη δημιουργία νέου project στο λογισμικό WinProp, τέθηκαν κάποιοι περιορισμοί για το ρυθμό δεδομένων που θα υποστηρίζει κάθε σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Τα στοιχεία αυτά καταγράφονται στον Πίνακα 3. Παρατηρείται από τη Εικόνα 6.8 ότι όσο ο κινητός χρήστης βρίσκεται κοντά στις κυψέλες, στα όρια ή στο κέντρο αυτών μπορεί να εξυπηρετηθεί με καλύτερη διαμόρφωση, ενώ όσο απομακρύνεται από τις κυψέλες τόσο μειώνεται και ο ρυθμός μετάδοσης.

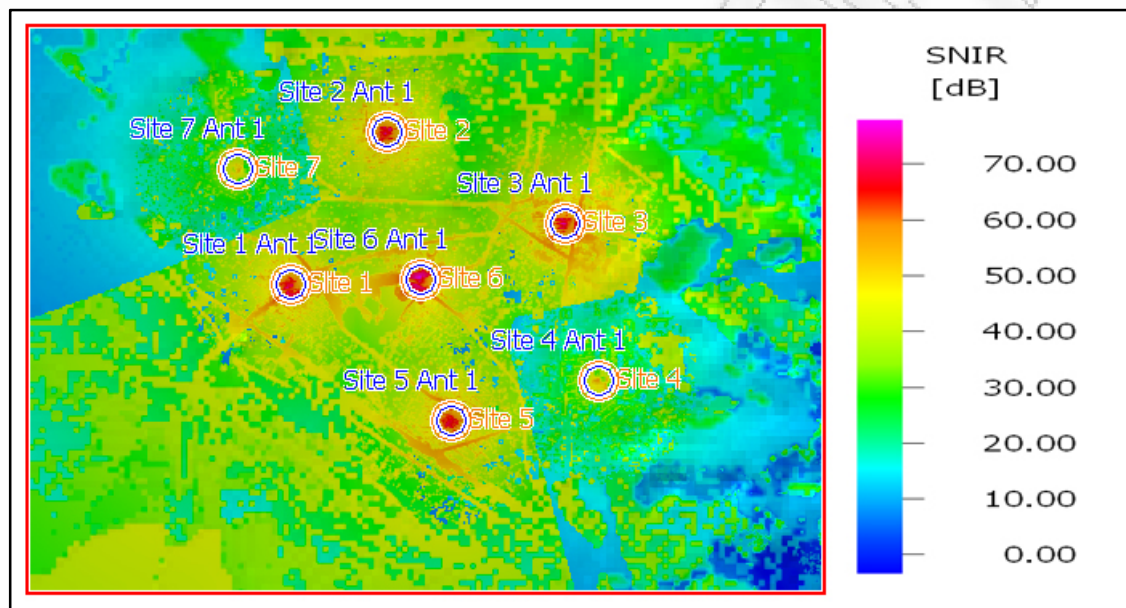
Πίνακας 3. Τιμές για Transmission Models

QPSK-1/2	1.82
QPSK-3/4	2.73
16QAM-1/2	3.50
16QAM-3/4	5.25
64QAM-1/2	5.25
64QAM-2/3	6.93
64QAM-3/4	7.88
64QAM-5/6	8.75



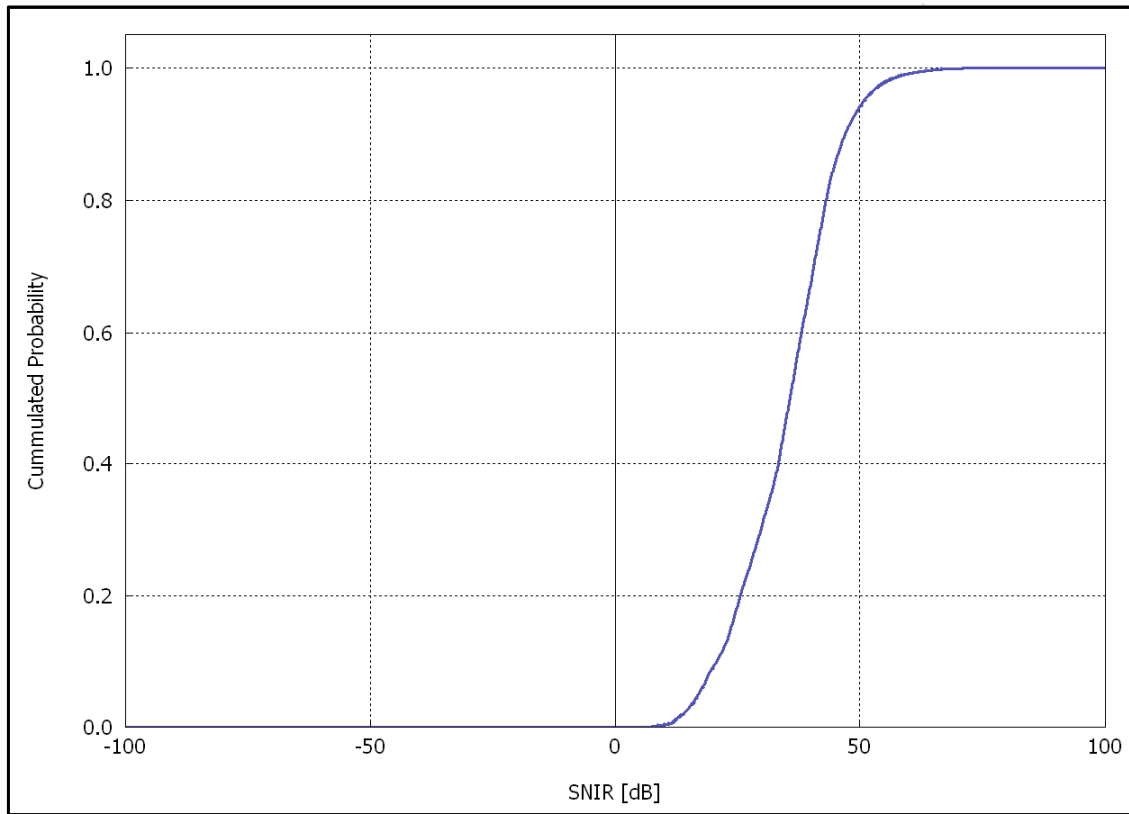
Εικόνα 6. 8 Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων

Τέλος, παρατίθεται ένα ακόμη σημαντικό αποτέλεσμα της μελέτης, το οποίο είναι το SNIR. Από την Εικόνα 6.9 παρατηρείται ότι καλύτερο SNIR επιτυγχάνεται στο κέντρο, όπως είναι αναμενόμενο. Παρόλα αυτά παρατηρείται και η πτώση του SNIR στις κυψέλες 4 και 7, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούν το ίδιο carrier, με αποτέλεσμα να υποφέρουν από παρεμβολές. Θα μπορούσε να ανατεθεί κοινό carrier σε κυψέλες που δεν θα φωτίζει η μία την άλλη προκειμένου να επιτευχθεί ένα ποσοστό βελτίωσης.



Εικόνα 6. 9 SNIR

Ακόμη μια δυνατότητα του WinProp είναι η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε CDF κατανομή, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6.10. Το στοιχείο αυτό θεωρείται πολύ χρήσιμο, δεδομένου ότι οι τιμές της CDF μπορούν να εξαχθούν σε αρχείο .dat, το οποίο και μπορεί να επεξεργαστεί με το Microsoft Excel. Η πρώτη στήλη του αρχείου αυτού είναι τιμές SNIR, ενώ η δεύτερη τιμές πιθανότητας.



Εικόνα 6. 10 CDF για το SNIR

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το excel της Εικόνας 6.11 προκειμένου να υπολογιστεί το πραγματικό throughput που χρησιμοποιείται στην περιοχή ενδιαφέροντος καθώς και το ποσοστό απόκλισης από το απαιτούμενο throughput που έχει καθοριστεί στις απαιτήσεις.

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του throughput είναι η ακόλουθη. Για κάθε σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ο κατασκευαστής έχει θέσει κάποιες απαιτήσεις όσο αφορά το Achievable Data Rate per Carrier και τα SNIR Threshold. Στη συνέχεια γίνεται αναζήτηση στο αρχείο .dat που έχει εξαχθεί από τη CDF του SNIR. Η αναζήτηση γίνεται βάσει του SNIR threshold που έχει δοθεί για κάθε διαμόρφωση από τον κατασκευαστή και βάσει αυτής της τιμής αναζητείται η αντίστοιχη πιθανότητα. Στη συνέχεια υπολογίζεται το συμπληρωματικό της πιθανότητας που βρέθηκε. Υπολογίζεται για κάθε διαμόρφωση το Achievable Data Rate για το Downlink και το Uplink χωριστά, αλλά και το συνολικό που είναι το άθροισμα του Downlink και του Uplink. Αθροίζοντας για όλες τις διαμορφώσεις το συνολικό data rate της κάθε διαμόρφωσης, υπολογίζεται το συνολικό throughput που επιτεύχθηκε στο σενάριο αυτό. Τέλος γίνεται αναγωγή του

αποτελέσματος που υπολογίστηκε σε throughput για κάθε τομέα (στην περίπτωση αυτή οι όροι τομέα και κυψέλη συμπίπτουν διότι δεν έχουμε τομεοποίηση, αλλά γενικά είναι δύο διαφορετικές έννοιες).

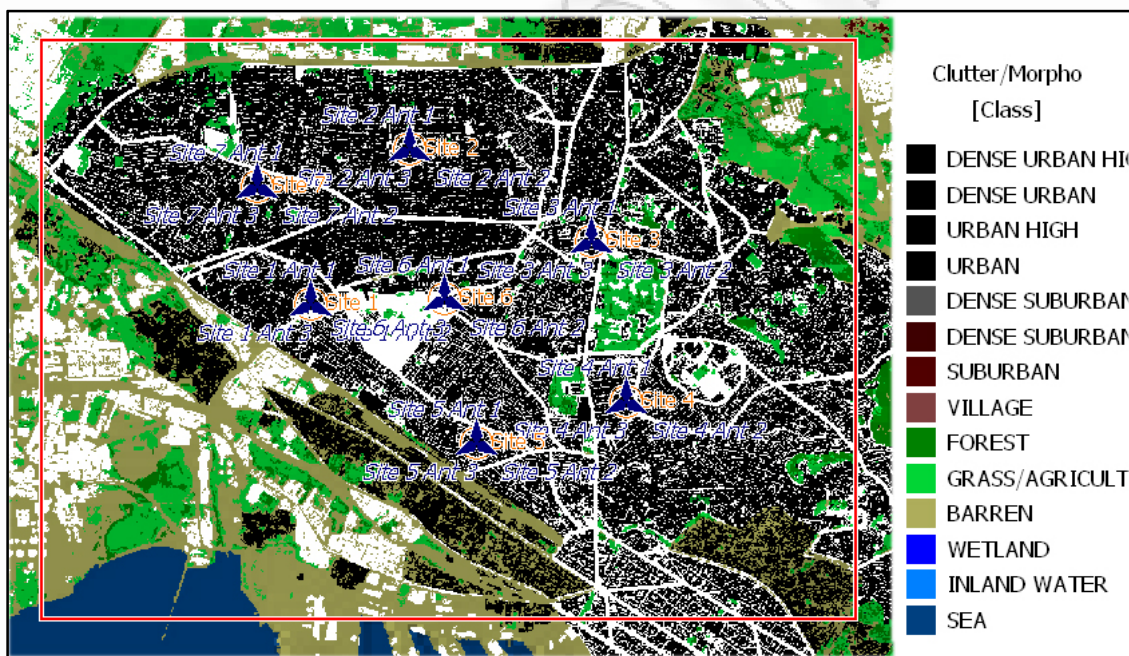
Από το Excel παρατηρείται ότι όσον αφορά το throughput το σενάριο αυτό δεν επιτυγχάνει καλό αποτέλεσμα, διότι το απαιτούμενο throughput ανά sector είναι 8421,053 kbps/km² και με το σενάριο αυτό επιτεύχθηκαν μόνο 3082,708 kbps/km².

Total Throughput Calculation based on Propagation Results												
Region:		Greece					Carriers per Site		1			
Total Number of Sectors		7					Carriers per Sector		1			
Total Coverage Area		19					Total Required Throughput (kbps)		160000			
Modulation Zone	Achievable Data Rate per Carrier (kbps)		SNIR Threshold (dB)	Probability (SNIR<Thres hold)	Probability (SNIR>Thres hold)	Total Covered Area	Assigned Area to Modulation Zone		Achieved Data Rate per Modulation Zone (kbps)			
	Downlink	Uplink					in km2	%	Downlink	Uplink	Total	
QPSK 1/2 repetition 6	245,00	58,33	-4,9	0,00%	100,00%	19,0000	0,0000	0,00%	0,00	0,00	0,00	
QPSK 1/2 repetition 4	367,50	87,50	-3,1	0,00%	100,00%	19,0000	0,0000	0,00%	0,00	0,00	0,00	
QPSK 1/2 repetition 2	735,00	175,00	-0,1	0,00%	100,00%	19,0000	0,0000	0,00%	0,00	0,00	0,00	
QPSK 1/2	1470,00	350,00	2,9	0,00%	100,00%	19,0000	0,0000	0,00%	0,00	0,00	0,00	
QPSK 3/4	2205,00	525,00	6,3	0,00%	100,00%	19,0000	0,0380	0,20%	30,87	7,35	38,22	
16 QAM 1/2	2800,00	700,00	8,6	0,20%	99,80%	18,9620	0,3420	1,80%	352,80	88,20	441,00	
16 QAM 3/4	4200,00	1050,00	12,7	2,00%	98,00%	18,6200	0,1900	1,00%	294,00	73,50	367,50	
64 QAM 1/2	4242,00	1001,00	13,8	3,00%	97,00%	18,4300	0,9880	5,20%	1544,09	364,36	1908,45	
64 QAM 2/3	5560,00	1330,00	16,9	8,20%	91,80%	17,4420	0,3230	1,70%	661,64	158,27	819,91	
64 QAM 3/4	6363,00	1512,00	18	9,90%	90,10%	17,1190	0,5890	3,10%	1380,77	328,10	1708,88	
64 QAM 5/6	7070,00	1680,00	19,9	13,00%	87,00%	16,5300	16,5300	87,00%	43056,30	10231,20	53287,50	
Total Achieved Throughput									47320,47	11250,99	58571,46	
Total Achieved Throughput per Sector									6760,07	1607,28	8367,35	
Achieved Throughput Density (kbps/km2)									2490,551	592,157	3082,708	
Required Throughput Density (kbps/km2)									8421,053			
<p>Notes</p> <p>Results from Greece_OMNI</p>												

Εικόνα 6. 11 Excel για τον υπολογισμό του Throughput

6.3. ΣΕΝΑΡΙΟ 2^ο SECTORING

Από το παραπάνω σενάριο διαπιστώθηκε ότι περιοχή που επιλέχθηκε μπορεί να καλυφθεί με επτά σταθμούς βάσης, όμως από πλευράς throughput υπάρχει μεγάλη απόκλιση, με αποτέλεσμα να μην εξυπηρετούνται όλοι οι χρήστες. Στο σενάριο που ακολουθεί, μελετάται η ραδιοκάλυψη της ίδιας περιοχής των 19 Km² στην πόλη της Ελλάδας, χρησιμοποιώντας επτά σταθμούς βάσης και τομεοποίηση κυψελών ώστε να επιτευχθούν κάποιες βελτιώσεις στη ραδιοκάλυψη. Από την Εικόνα 6.12 που ακολουθεί, διαπιστώνουμε τον τύπο της περιοχής που είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό αστικός. Σημειώνεται ότι όλο το κομμάτι που απεικονίζεται παρακάτω είναι 27 Km², αλλά το ενδιαφέρον εστιάζεται στα 19 Km² όπου σκοπός είναι να καλυφθούν με το βέλτιστο δυνατό σχεδιασμό.



Εικόνα 6. 12 Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών

Δεδομένων αυτών των περιορισμών και γνωρίζοντας το εύρος του καναλιού, την συχνότητα που λειτουργεί το Mobile WiMAX και τα χαρακτηριστικά των σταθμών βάσης, όπως ισχύς και ύψος κεραίας εκπομπής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ryWiMAX για να γίνει μια πρώτη επίμηση του πλήθους των sectors που χρειάζεται η περιοχή των 19 Km² για να καλυφθεί, καθώς και η ακτίνα που θα χρησιμοποιηθεί. Σύμφωνα με την προμελέτη χρειάζονται 15 sectors με ακτίνα κάλυψης περίπου 1.200 km. Σημειώνεται ότι το Building

Penetration Loss ισούται με μηδέν καθώς το μοντέλο διάδοσης που χρησιμοποιείται στο WinProp είναι Outdoor, οπότε θα πρέπει να ληφθεί ως παράμετρος στο ryWiMAX.

Αρχικά βάσει της προμελέτης τοποθετήθηκαν στη περιοχή που μελετάται πέντε σταθμοί με τρεις τομείς ανά site, οπότε συνολικά 15 sectors ανά site. Η απόσταση μεταξύ των πέντε σταθμών ήταν περίπου στα 1.200 Km, όμως διαπιστώθηκαν πολλές παρεμβολές και μεγάλες περιοχές που δεν καλυπτόνταν. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν μια σειρά από σενάρια τα οποία και παρατίθενται στο [Παράρτημα Β](#), όπου γίνονται κάποιες διορθώσεις προκειμένου να επιτευχθεί ένα καλό αποτέλεσμα ραδιοκάλυψης βασισμένο στους περιορισμούς.

Στη συνέχεια για την αστική περιοχή που επιλέχθηκε, χρησιμοποιήθηκαν επτά σταθμοί βάσης, με τρεις τομείς ανά κυψέλη, και με τρεις διαφορετικές συχνότητες για τα carrier, το οποίο επιλέχθηκε γιατί υπήρχαν διαθέσιμες μόνο αυτές οι συχνότητες από τις προδιαγραφές. Στο

Πίνακας 4. Ανάθεσης συχνότητας σε κάθε κυψέλη

ID	Frequency (MHz)
1	3462.500
2	3562.500
3	3469.500

Πίνακα 4 παρατίθενται οι συχνότητες που επιλέχθηκαν για κάθε ένα site. Προφανώς θα έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνότητας σε κάθε site, διότι έχουμε επτά σταθμούς βάσης με τρεις τομείς ο κάθε ένας και τρία carrier. Για το λόγο αυτό αναμένονται και αρκετές παρεμβολές.

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Google Earth για την κατάλληλη επιλογή των σημείων που τοποθετήθηκαν οι σταθμοί βάσης. Ο Πίνακας 5 αντιστοιχεί κάθε κυψέλη με το υψόμετρο του εδάφους που τοποθετήθηκε. Το στοιχείο αυτό είναι πολύ χρήσιμο, αφενός για να υπάρχει η πληροφορία για το αν τοποθετείται ο σταθμός βάσης σε ένα ψηλό σημείο ή όχι,

Πίνακας 5. Υψόμετρο εδάφους για τοποθέτηση κυψελών

Site 1	16 m
Site 2	50 m
Site 3	48 m
Site 4	62 m
Site 5	20 m
Site 6	22 m
Site 7	38 m

αφετέρου για να γνωρίζουμε τα κτίρια της γύρω περιοχής, δεδομένου ότι δεν υπάρχει λόγος να τοποθετηθεί ένας σταθμός βάσης σε ένα χαμηλό κτίριο που περιτριγυρίζεται από ψηλές πολυκατοικίες.

Τέλος παρατίθεται ο Πίνακας 6 με τιμές του Downtilt που τέθηκαν σε κάθε κεραία του σταθμού βάσης προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατό καλύτερη ραδιοκάλυψη με όσο το δυνατό λιγότερες παρεμβολές. Ο λόγος που μεταβάλλεται το downtilt σχετίζεται με το γεγονός ότι κάθε σταθμός βάσης έχει τοποθετηθεί σε διαφορετικά υψόμετρα και προκαλεί παρεμβολές στους γειτονικούς σταθμούς, δεδομένου ότι γίνεται επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.

Πίνακας 6 Τιμές Downtilt σε κάθε Sector των Sites			
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Site 1	7°	5°	0°
Site 2	0°	7°	10°
Site 3	5°	5°	10°
Site 4	5°	0°	10°
Site 5	7°	5°	5°
Site 6	3°	0°	5°
Site 7	0°	0°	0°

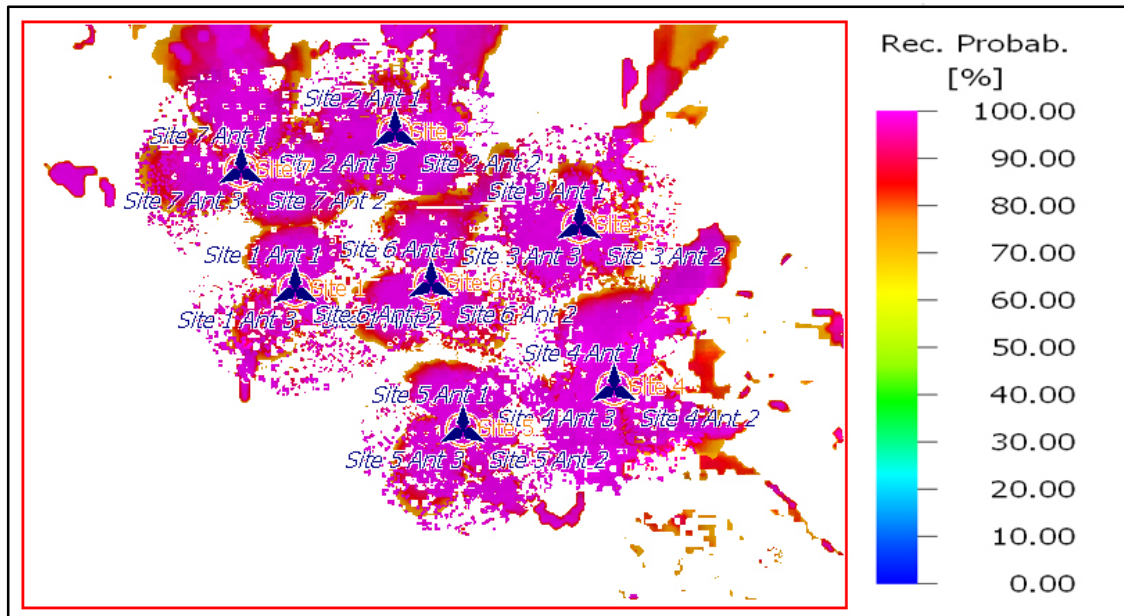
Δεδομένων όλων των παραπάνω, εξήχθησαν τα αποτελέσματα που απεικονίζονται και παρουσιάζονται παρακάτω. Στις Εικόνες 6.13, 6.14 και 6.15 παρουσιάζεται το Reception Probability, δηλαδή η πιθανότητα λήψης του εκπεμπόμενου σήματος του σταθμού βάσης.

Όπως προαναφέρθηκε, το WiMAX είναι μια τεχνολογία που υποστηρίζει πολλά σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Οι συνδυασμοί των σχεδίων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιούνται είναι οι παρακάτω οκτώ: QPSK-1/2, QPSK-3/4, 16QAM-1/2, 16QAM-3/4, 64QAM-1/2, 64QAM-2/3, 64QAM-3/4 και 64QAM-5/6. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις δύο ακραίες και μία μέση διαμόρφωση. Ακραίες θεωρούνται οι QPSK-1/2 η οποία καλύπτει μεγάλες αποστάσεις και 64QAM-5/6 η οποία καλύπτει πολύ κοντινές αποστάσεις. Τέλος, η 16QAM-3/4 επιλέχθηκε ως μια μέση διαμόρφωση, προκειμένου να παρατηρηθούν οι διαφοροποιήσεις από σχήμα διαμόρφωσης σε σχήμα διαμόρφωσης.



Εικόνα 6. 13 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2

Όπως παρατηρείται και από την Εικόνα 6.13 στο μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχή ενδιαφέροντος η πιθανότητα κάλυψης αγγίζει το 80 - 100%, εκτός από κάποια μέρη της περιοχής που βρίσκονται νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά της πόλης. Στο σημείο αυτό καλό θα ήταν η χρήση επιπλέον sites. Από τις Εικόνες 6.14 και 6.15 διαπιστώνεται ότι όλο και μειώνεται η πιθανότητα λήψης του σήματος, γεγονός αναμενόμενο καθώς επιλέγεται ένας πιο ισχυρός συνδυασμός διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που υποστηρίζεται σε μικρές αποστάσεις από το κέντρο της κυψέλης. Από τη στιγμή που το χαμηλότερο σχέδιο διαμόρφωσης (QPSK-1/2) καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος, δεν είναι απαραίτητη κάποια βελτίωση όσον αφορά τη προσθήκη νέων σταθμών βάσης ώστε και με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις να πετυχαίνουμε σε μεγάλες ακτίνες 100% κάλυψη.

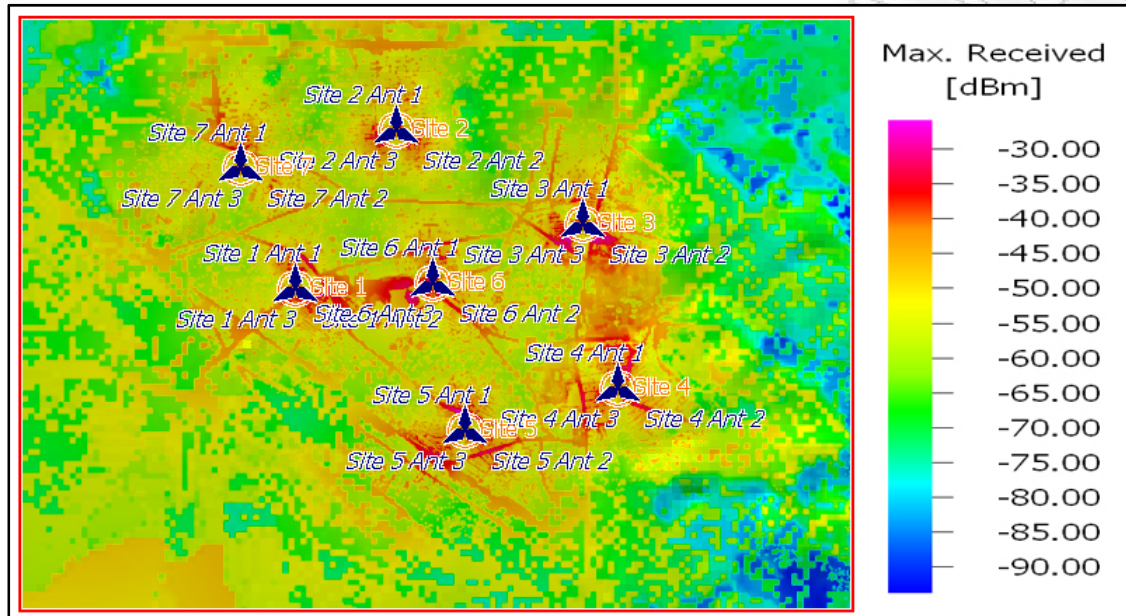


Εικόνα 6. 14 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 16QAM-3/4



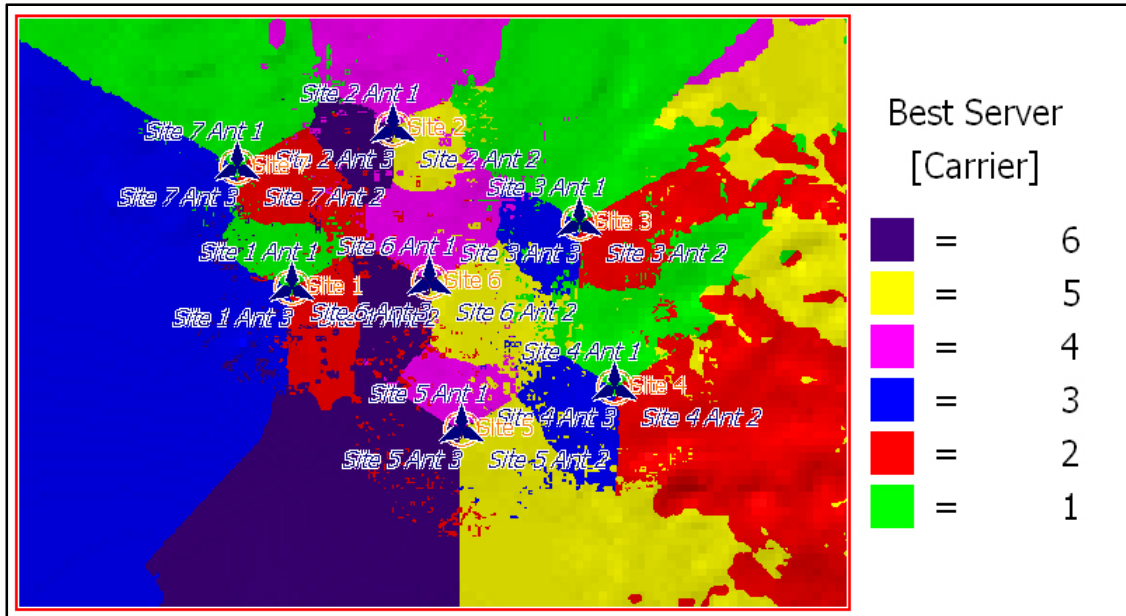
Εικόνα 6. 15 Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης 64QAM-5/6

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 6.16), παρουσιάζεται η μέγιστη λαμβανόμενη ισχύς για κάθε σταθμό βάσης. Στο κέντρο κάθε σταθμού παρατηρείται ότι η ισχύς κατέχει τη μέγιστη τιμή.



Εικόνα 6. 16 Μέγιστη Ισχύς για κάθε Κυψέλη

Ένα από τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη μελέτη με το λογισμικό WinProp είναι ο εντοπισμός της περιοχής που εξυπηρετεί κάθε carrier. Στην Εικόνα 6.17 παρατηρείται ποια κομμάτια της περιοχής που μελετάται καλύπτει ο κάθε σταθμός βάσης, δεδομένου ότι σε κάθε σταθμό βάσης έχει ανατεθεί ένα carrier για κάθε τομέα. Σε αρκετές περιπτώσεις διαπιστώνεται ότι σε περιοχές που καλύπτονται από κάποιο carrier παρουσιάζονται έντονα και γειτονικά carrier και αυτό οφείλεται στις παρεμβολές, οι οποίες δεν κρίνονται αρκετά σοβαρές στο συγκεκριμένο σενάριο, γεγονός αναμενόμενο λόγω της επαναχρησιμοποίησης της συχνότητας. Επίσης από την Εικόνα 6.18 εξάγονται αντίστοιχα συμπεράσματα με αυτά της Εικόνας 6.17 και αφορά την περιοχή που καλύπτει η κάθε κυψέλη.



Εικόνα 6. 17 Καλύτερος Εξυπηρετητής

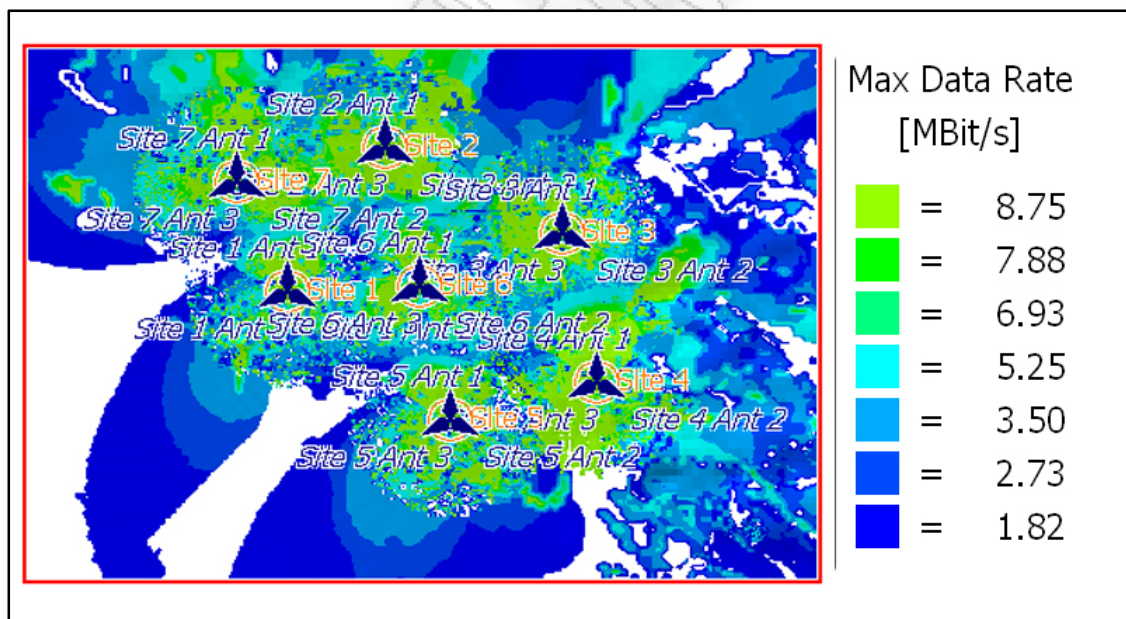


Εικόνα 6. 18 Περιοχή Κυφέλης

Κατά τη δημιουργία νέου project στο λογισμικό WinProp, τέθηκαν κάποιοι περιορισμοί για το ρυθμό δεδομένων που θα υποστηρίζει κάθε σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης. Τα στοιχεία αυτά καταγράφονται στον Πίνακα 7. Παρατηρείται από την Εικόνα 6.19 ότι όσο ο κινητός χρήστης βρίσκεται κοντά στις κυψέλες, στα όρια ή στο κέντρο αυτών μπορεί να εξυπηρετηθεί με καλύτερη διαμόρφωση, ενώ όσο απομακρύνεται από τις κυψέλες τόσο μειώνεται και ο ρυθμός μετάδοσης.

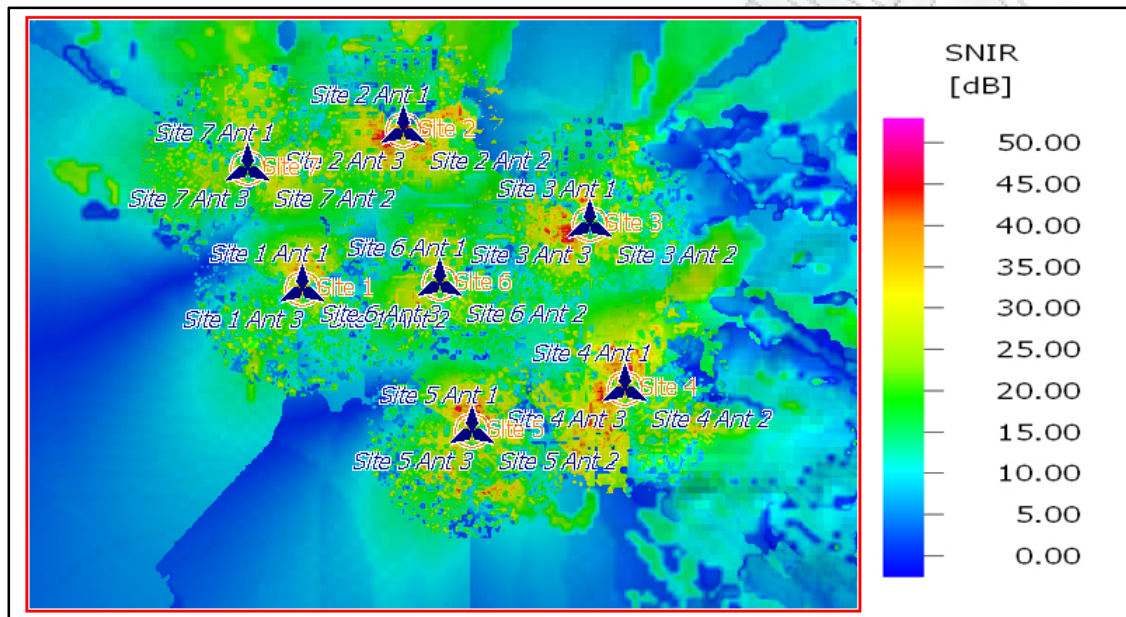
Πίνακας 7. Τιμές για Transmission Models

QPSK-1/2	1.82
QPSK-3/4	2.73
16QAM-1/2	3.50
16QAM-3/4	5.25
64QAM-1/2	5.25
64QAM-2/3	6.93
64QAM-3/4	7.88
64QAM-5/6	8.75



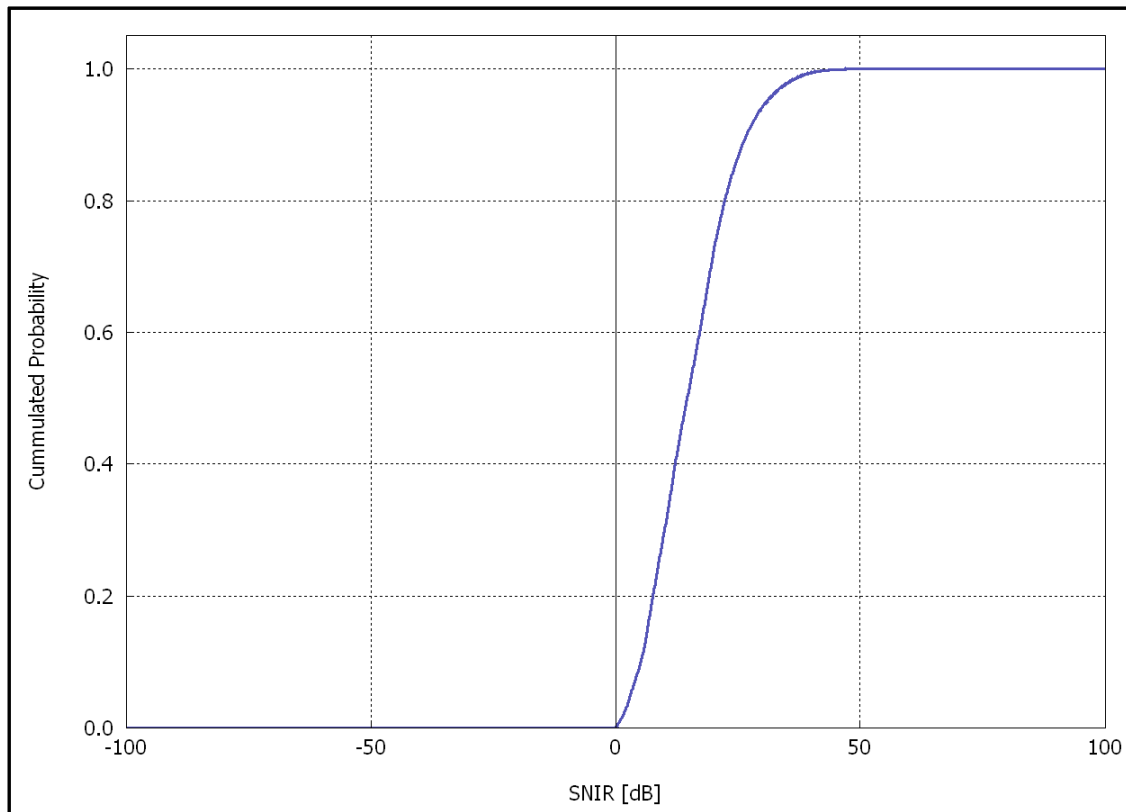
Εικόνα 6. 19 Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων

Τέλος, παρατίθεται ένα ακόμη σημαντικό αποτέλεσμα της μελέτης, το οποίο είναι το SNIR. Από την Εικόνα 6.20 παρατηρείται ότι καλύτερο SNIR επιτυγχάνεται στο κέντρο και στα όρια της κυψέλης όπως είναι αναμενόμενο. Παρόλα αυτά παρατηρείται και η πτώση του SNIR σε κοντινές περιοχές γύρω από το κάθε site και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται τα ίδια carriers, με αποτέλεσμα να υποφέρουν από παρεμβολές.



Εικόνα 6. 20 SNIR

Ακόμη μια δυνατότητα του WinProp είναι η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε CDF κατανομή, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6.21. Το στοιχείο αυτό θεωρείται πολύ χρήσιμο, δεδομένου ότι οι τιμές της CDF μπορούν να εξαχθούν σε αρχείο .dat, το οποίο και μπορεί να επεξεργαστεί με το Microsoft Excel. Η πρώτη στήλη του αρχείου αυτού είναι τιμές SNIR, ενώ η δεύτερη τιμές πιθανότητας.



Εικόνα 6. 21 CDF για το SNIR

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το excel της Εικόνας 6.22 προκειμένου να υπολογιστεί το πραγματικό throughput που χρησιμοποιείται στην περιοχή ενδιαφέροντος καθώς και το ποσοστό απόκλισης από το απαιτούμενο throughput που έχει καθοριστεί στις απαιτήσεις.

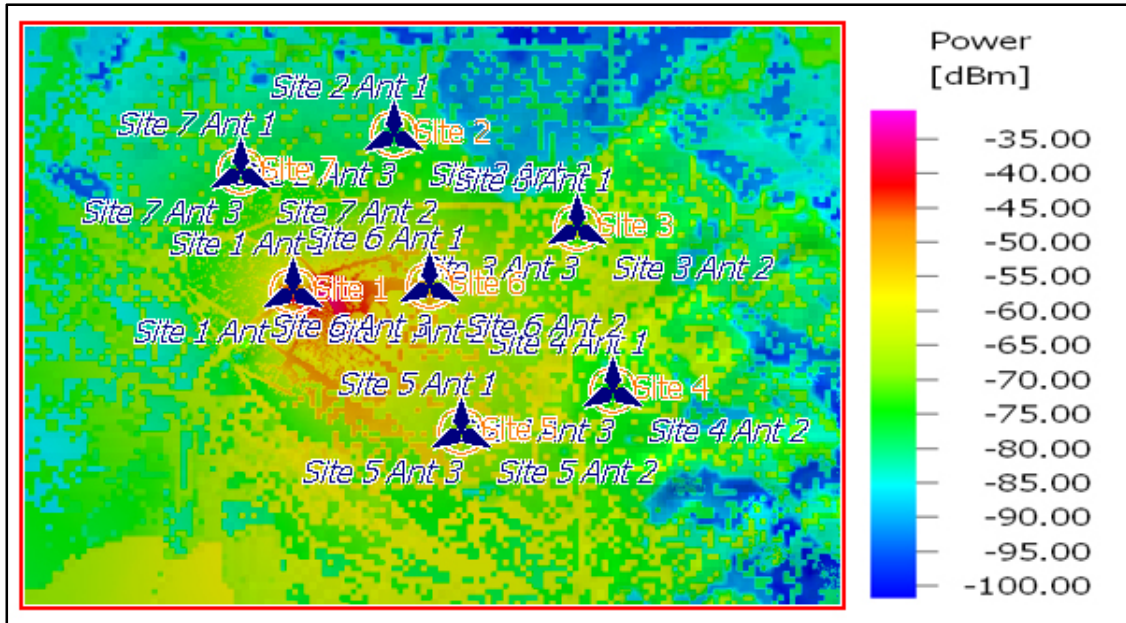
Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό του throughput είναι η ακόλουθη. Για κάθε σχήμα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης ο κατασκευαστής έχει θέσει κάποιες απαιτήσεις όσο αφορά το Achievable Data Rate per Carrier και τα SNIR Threshold. Στη συνέχεια γίνεται αναζήτηση στο αρχείο .dat που έχει εξαχθεί από τη CDF του SNIR. Η αναζήτηση γίνεται βάσει του SNIR threshold που έχει δοθεί για κάθε διαμόρφωση από τον κατασκευαστή και βάσει αυτής της τιμής αναζητείται η αντίστοιχη πιθανότητα. Στη συνέχεια υπολογίζεται το συμπληρωματικό της πιθανότητας που βρέθηκε. Υπολογίζεται για κάθε διαμόρφωση το Achievable Data Rate για το Downlink και το Uplink χωριστά, αλλά και το συνολικό που είναι το άθροισμα του Downlink και του Uplink. Αθροίζοντας για όλες τις διαμορφώσεις το συνολικό data rate της κάθε διαμόρφωσης, υπολογίζεται το συνολικό throughput που επιτεύχθηκε στο σενάριο αυτό. Τέλος γίνεται αναγωγή του αποτελέσματος που υπολογίσθηκε σε throughput για κάθε τομέα.

Από το Excel παρατηρείται ότι όσον αφορά το throughput το σενάριο αυτό επιτυγχάνει πολύ ικανοποιητικό αποτέλεσμα, διότι το απαιτούμενο throughput ανά sector είναι 6842,105 kbps/km² και με το σενάριο αυτό επιτεύχθηκαν 6091,666 kbps/km².

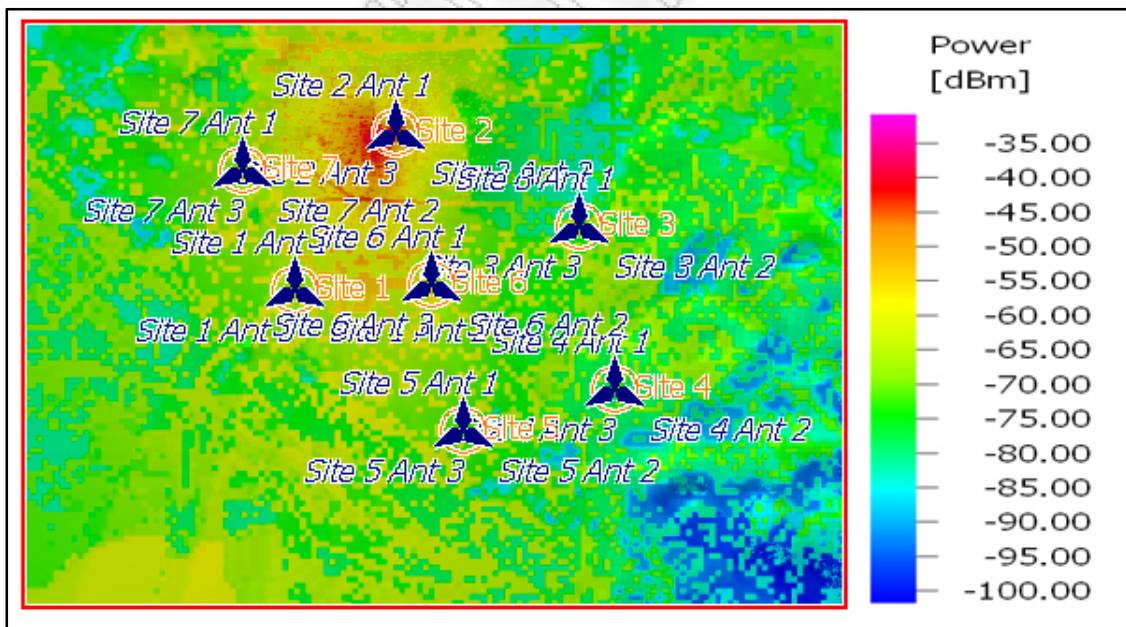
Total Throughput Calculation based on Propagation Results											
Region:		Greece				Carriers per Site		3			
Total Number of Sectors		21				Carriers per Sector		1			
Total Coverage Area		19				Total Required Throughput (kbps)		160000			
Modulation Zone	Achievable Data Rate per Carrier (kbps)		SNIR Threshold (dB)	Probability (SNIR<Threshold)	Probability (SNIR>Threshold)	Total Covered Area	Assigned Area to Modulation Zone		Achieved Data Rate per Modulation Zone (kbps)		
	Downlink	Uplink					in km2	%	Downlink	Uplink	Total
QPSK 1/2 repetition 6	245.00	58.33	-4.9	0.00%	100.00%	19.0000	0.0000	0.00%	0.00	0.00	0.00
QPSK 1/2 repetition 4	367.50	87.50	-3.1	0.00%	100.00%	19.0000	0.0000	0.00%	0.00	0.00	0.00
QPSK 1/2 repetition 2	735.00	175.00	-0.1	0.00%	100.00%	19.0000	0.8550	4.50%	694.58	165.38	859.95
QPSK 1/2	1470.00	350.00	2.9	4.50%	95.50%	18.1450	1.7100	9.00%	2778.30	661.50	3439.80
QPSK 3/4	2205.00	525.00	6.3	13.50%	86.50%	16.4350	1.8430	9.70%	4491.59	1069.43	5561.01
16 QAM 1/2	2800.00	700.00	8.6	23.20%	76.80%	14.5920	3.3440	17.60%	10348.80	2587.20	12936.00
16 QAM 3/4	4200.00	1050.00	12.7	40.80%	59.20%	11.2480	0.8740	4.60%	4057.20	1014.30	5071.50
64 QAM 1/2	4242.00	1001.00	13.8	45.40%	54.60%	10.3740	2.3560	12.40%	11046.17	2606.60	13652.77
64 QAM 2/3	5560.00	1330.00	16.9	57.80%	42.20%	8.0180	0.8740	4.60%	5370.96	1284.78	6655.74
64 QAM 3/4	6363.00	1512.00	18	62.40%	37.60%	7.1440	1.5770	8.30%	11090.71	2635.42	13726.13
64 QAM 5/6	7070.00	1680.00	19.9	70.70%	29.30%	5.5670	5.5670	29.30%	43501.71	10337.04	53838.75
Total Achieved Throughput							93380,01		22361,64	115741,65	
Total Achieved Throughput per Sector							4446.67		1064.84	5511.51	
Achieved Throughput Density (kbps/km2)							4914.737		1176.928	6091.666	
Required Throughput Density (kbps/km2)										6842.105	
Notes											
Results from Greece_Sectors											

Εικόνα 6. 22 Excel για τον υπολογισμό του Throughput

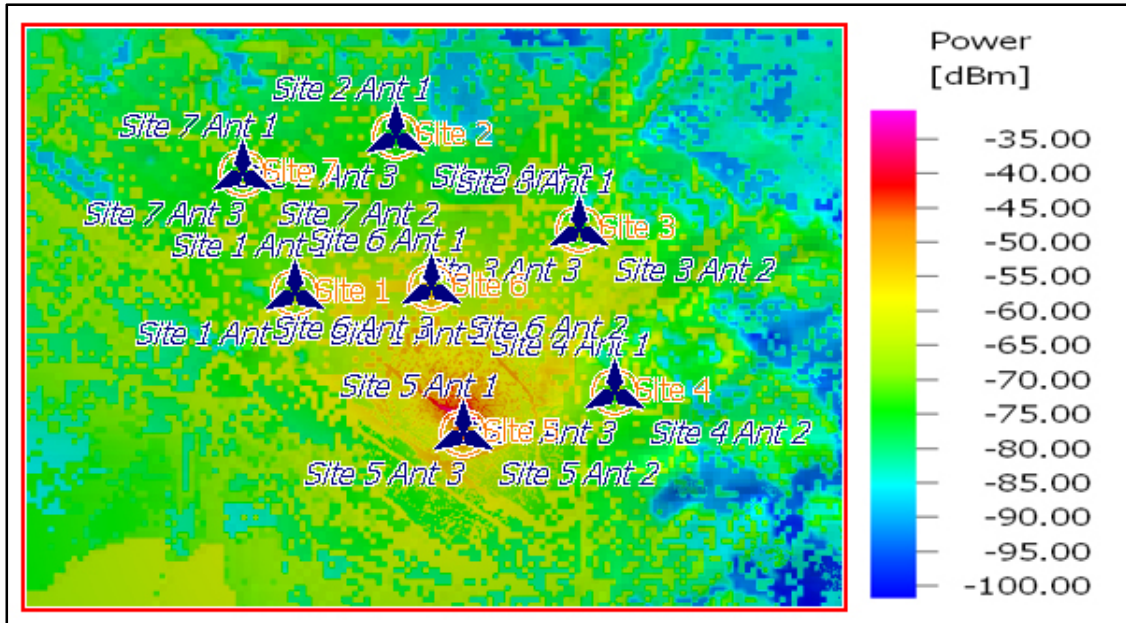
Τέλος παρατίθενται τα κυριότερα αποτελέσματα των παρεμβολών μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα παρατηρούνται μεταξύ των site 1, 2, 5, 6 και 7, τα οποία βρίσκονται σε κοντινές σχετικά αποστάσεις και παρεμβάλλει το ένα site το άλλο. Το Carrier 3 του Site 6 δημιουργεί τις πιο δυνατές παρεμβολές σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα. Ως βελτίωση θα μπορούσε να προταθεί η μείωση της ισχύς εκπομπής αυτής της κεραιάς, η αλλαγή του downtilt, ακόμα και η μετακίνηση του σταθμού βάσης. Βελτιώσεις τέτοιου είδους μπορούν να γίνουν και στους υπόλοιπους σταθμούς. Παρόλα αυτά το σενάριο θεωρείται ικανοποιητικό καθώς έχουμε κάλυψη στο μεγαλύτερο κομμάτι της περιοχής τουλάχιστον με την QPSK-1/2 και πολύ καλή τιμή throughput στην περιοχή που μελετάται.



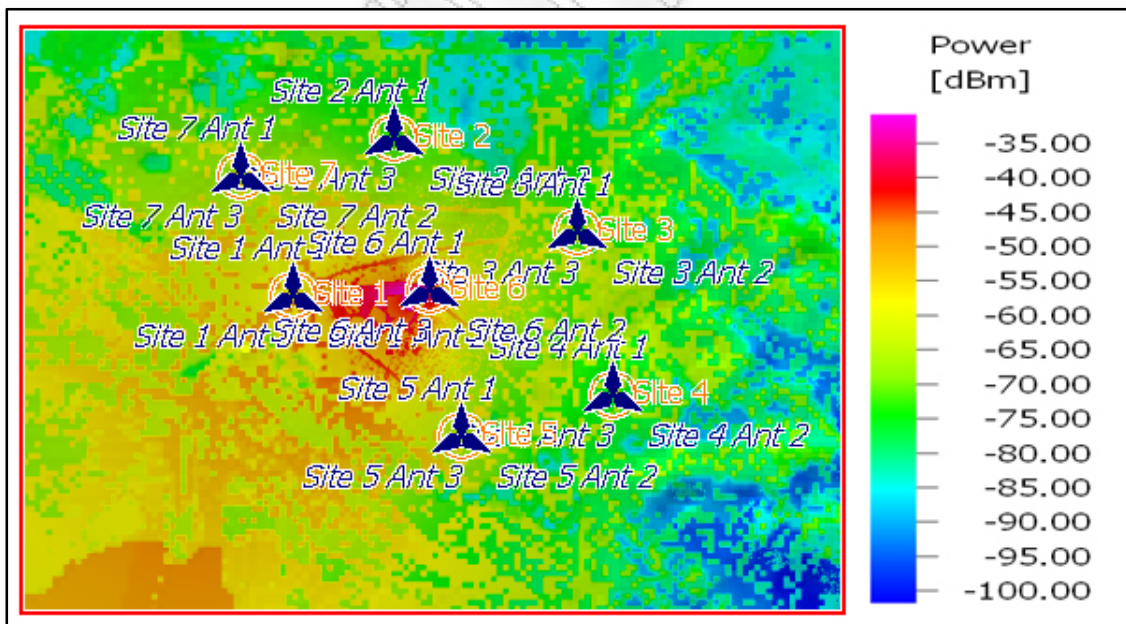
Εικόνα 6. 23 Ισχύς του Carrier 2 Site 1



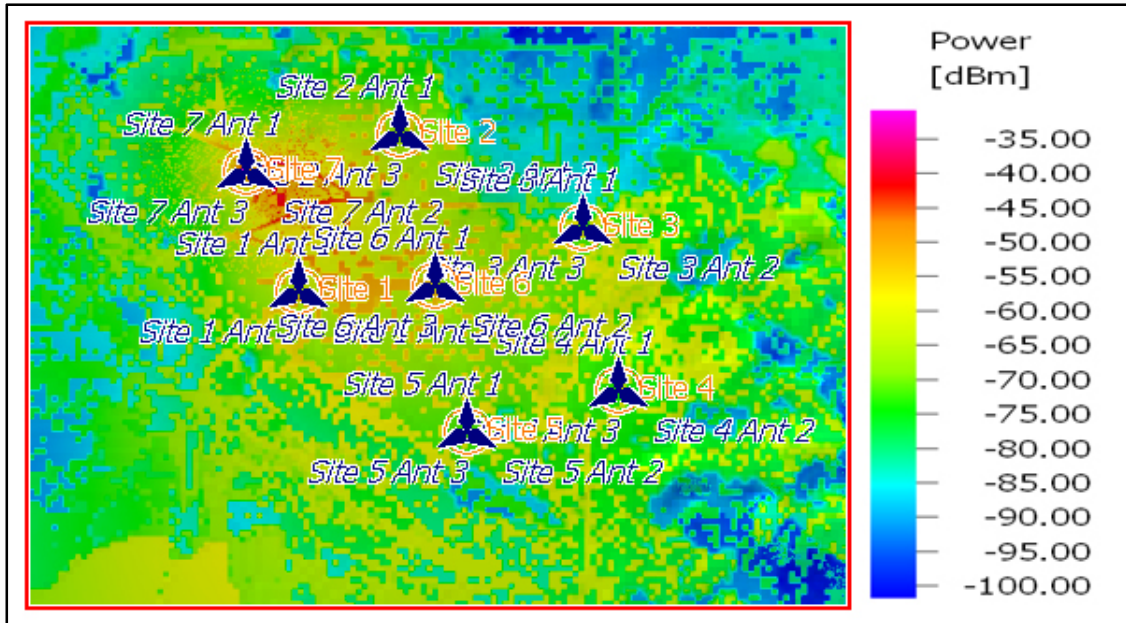
Εικόνα 6. 24 Ισχύς του Carrier 3 Site 2



Εικόνα 6. 25 Ισχύς του Carrier 1 Site 5



Εικόνα 6. 26 Ισχύς του Carrier 3 Site 6



Εικόνα 6. 27 Ισχύς του Carrier 2 Site 7

Βιβλιογραφία Κεφάλαιο 6

- [1] Short Guide Urban.pdf
- [2] ShortGuide_Measurements.pdf
- [3] DatabaseConverter.pdf
- [4] User Manual ProMan.pdf
- [5] Propagation Models.pdf
- [6] WinProp In Aircom Enterprise.pdf
- [7] AircomEnterprise_Integration.pdf
- [8] 1999 03 Fast 3D Ray Tracing for the Planning of Microcells by Intelligent Preprocessing of the Database .pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ PYWIMAX

CLASS VECTOR

```
class vector(list):
    '''Class that supports vector arithmetic in pyWiMAX'''

    def __init__(self, obj):
        if isinstance(obj, str):
            obj = obj[1:len(obj)-1]    # remove [ ]
            list.__init__(self, [ float(x) for x in obj.split(',') if len(x) > 0 ])
        elif isinstance(obj, list):
            list.__init__(self, obj)

    def __add__(left, right):
        if isinstance(right, vector):    # vector + vector
            return vector([ left[i] + right[i] for i in range(len(left)) ])
        else:                            # vector + constant
            return vector([ left[i] + right for i in range(len(left)) ])

    def __div__(left, right):
        try:
            if isinstance(right, vector):    # vector / vector
                return vector([ left[i] / right[i] for i in range(len(left)) ])
            else:                            # vector / constant
                return vector([ left[i] / right for i in range(len(left)) ])
        except ZeroDivisionError:          # hack to make division by zero equal to 0
            if isinstance(right, vector):    # vector / vector
                l = []
                for i in range(len(right)):
                    if right[i] != 0:
                        if isinstance(left, vector): l.append(left[i] / right[i])
                        else: l.append(left / right[i])
                    else: l.append(NaN())
                return vector(l)
            else: return NaN()

    def __mul__(left, right):
```

```

if isinstance(right, vector):    # vector * vector
    return vector([ left[i] * right[i] for i in range(len(left)) ])
else:                            # vector * constant
    return vector([ left[i] * right for i in range(len(left)) ])

def __pow__(left, right):
    if isinstance(right, vector):    # vector ** vector
        return vector([ left[i] ** right[i] for i in range(len(left)) ])
    else:                            # vector ** constant
        return vector([ left[i] ** right for i in range(len(left)) ])

def __radd__(right, left):
    return right + left

def __rdiv__(right, left):
    try:
        if isinstance(left, vector):    # vector / vector
            return vector([ left[i] / right[i] for i in range(len(right)) ])
        else:                            # constant / vector
            return vector([ left / right[i] for i in range(len(right)) ])
    except ZeroDivisionError:        # hack to make division by zero equal to 0
        if isinstance(right, vector):    # vector / vector
            l = []
            for i in range(len(right)):
                if right[i] != 0:
                    if isinstance(left, vector): l.append(left[i] / right[i])
                    else: l.append(left / right[i])
                else: l.append(NaN())
            return vector(l)
        else: return NaN()

def __rmul__(right, left):
    return right * left

def __rpow__(right, left):
    if isinstance(left, vector):    # vector ** vector
        return vector([ left[i] ** right[i] for i in range(len(right)) ])

```

```

else:
    # constant ** vector
    return vector([ left ** right[i] for i in range(len(right)) ])

def __rsub__(right, left):
    if isinstance(left, vector):
        # vector - vector
        return vector([ left[i] - right[i] for i in range(len(right)) ])
    else:
        # constant - vector
        return vector([ left - right[i] for i in range(len(right)) ])

def __sub__(left, right):
    if isinstance(right, vector):
        # vector - vector
        return vector([ left[i] - right[i] for i in range(len(left)) ])
    else:
        # vector - constant
        return vector([ left[i] - right for i in range(len(left)) ])

def __str__(self):
    return 'vector([' + ''.join([ '%s, ' % str(x) for x in self ]) + ')]'

def __repr__(self):
    return 'vector([' + ''.join([ '%s, ' % str(x) for x in self ]) + ')]'

```

CLASS NAN

```

class NaN:
    """
    dummy class that represents math domain errors
    e.g. sqrt(x) where x < 0
    it makes all further calculations NaN
    """

    def __add__(left, right):
        return NaN()

    def __div__(left, right):
        return NaN()

    def __mul__(left, right):
        return NaN()

```

```

def __pow__(left, right):
    return NaN()

def __radd__(right, left):
    return NaN()

def __rdiv__(right, left):
    return NaN()

def __rmul__(right, left):
    return NaN()

def __rpow__(right, left):
    return NaN()

def __rsub__(right, left):
    return NaN()

def __sub__(left, right):
    return NaN()

def __str__(self):
    return 'NaN()'

def __repr__(self):
    return 'NaN()'

```

FUNCTION ONINIT

```

def OnInit(self):
    '''Function called by wxWidgets to initialize the application'''
    self.res = xrc.XmlResource("pyWiMAX.xrc")
    self.InitFrame()
    self.InitEvents()
    self.InitEverythingElse()
    return True

```


FUNCTION INITFRAME

```
def InitFrame(self):
    '''Construct the main application frame'''
    self.frame = self.res.LoadFrame(None, 'frmMain')
    self.frame.Show()
```

FUNCTION INITEVENTS

```
def InitEvents(self):
    '''Bind menu options to class functions'''
    self.frame.Bind(wx.EVT_MENU, self.OnNew, id=xrc.XRCID('optNew'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_MENU, self.OnOpen, id=xrc.XRCID('optOpen'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_MENU, self.OnSave, id=xrc.XRCID('optSave'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_MENU, self.OnReport, id=xrc.XRCID('optReport'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_MENU, self.OnQuit, id=xrc.XRCID('optQuit'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_BUTTON, self.OnReport, id=xrc.XRCID('btnReport'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_COMBOBOX, self.UpdateCache, id=xrc.XRCID('comboModel'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_COMBOBOX, self.UpdateCache, id=xrc.XRCID(
('comboTotalDataPilotNull'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_TEXT,
self.UpdateCellImage, id=xrc.XRCID('txtSectorsPerSite'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_TEXT,
self.UpdateCellImage, id=xrc.XRCID('txtCarriersPerSector'))
    self.frame.Bind(wx.EVT_TEXT, self.OnSUISChanged, id=xrc.XRCID('txtS'))
    [ self.frame.Bind(wx.EVT_TEXT, self.UpdateCache, id=xrc.XRCID('txt%s' % box))
for box in ('BUSA', 'BUSB', 'BUSA', 'BUSD', 'RUSA', 'RUSB', 'RUSA',
'RUSD', 'DemandSA', 'DemandSB', 'DemandSC', 'DemandSD') ]
def InitEverythingElse(self):
    '''Initialize object's data structures'''
    self.cache = { 'Constellation Size' : vector([4, 4, 16, 16, 64, 64, 64, 64]),
'Coding Rate' :
vector([1.0/2.0, 3.0/4.0, 1.0/2.0, 3.0/4.0, 1.0/2.0, 2.0/3.0, 3.0/4.0, 5.0/6.0]),
'Correction Factor' : 0 }
    self.functions = 'floor', 'ceil', 'log', 'sum', 'sqrt', 'max', 'min'
    self.values = {}
    self.log = open('log.txt', 'w')
```

```

self.UpdateCache()
xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtPLd0').Disable()

```

FUNCTION INITEVERYTHINGELSE

```

def InitEverythingElse(self):
    '''Initialize object's data structures'''
    self.cache = { 'Constellation Size' : vector([4, 4, 16, 16, 64, 64, 64, 64]),
                  'Coding Rate' : vector([1.0/2.0, 3.0/4.0, 1.0/2.0, 3.0/4.0, 1.0/2.0,
                  2.0/3.0, 3.0/4.0, 5.0/6.0]),
                  'Correction Factor' : 0 }
    self.functions = 'floor', 'ceil', 'log', 'sum', 'sqrt', 'max', 'min'
    self.values = {}
    self.log = open('log.txt', 'w')
    self.UpdateCache()

```

FUNCTION UPDATECACHE

```

def UpdateCache(self, evt = None):
    '''Update values in cache, i.e. split the Total/Data/Pilot/Null aggregate
    value in four different values'''
    values = xrc.XRCCTRL(self.frame, 'comboTotalDataPilotNull').GetValue()
    labels = ['Subcarriers Total', 'Subcarriers Data', 'Subcarriers
    Pilot', 'Subcarriers Null']
    self.cache.update(dict([ (labels[i], int(x)) for i, x in
    enumerate(values.split('/')) ]))
    self.cache['Business Users Percentage'] = vector([ self.GetValue(txtBox) for
    txtBox in ('Business Users for Service A', 'Business Users for Service B',
    'Business Users for Service C', 'Business Users for Service D',) ])
    self.cache['Residential Users Percentage'] = vector([ self.GetValue(txtBox)
    for txtBox in ('Residential Users for Service A', 'Residential Users for
    Service B', 'Residential Users for Service C', 'Residential Users for Service D',)
    ])
    self.cache['Service Demand'] = vector([ self.GetValue(txtBox) for txtBox in
    ('Demand for Service A', 'Demand for Service B', 'Demand for Service C', 'Demand
    for Service D',) ])

    model = self.GetValue('Propagation Model')

```

```

self.cache['Correction Factor'] = model == 'COST 231- Hata Model - Urban'
if model == 'SUI - Terrian A' or model == 'SUI - Terrian B' or model == 'SUI
- Terrian C':
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtSUIRefd0').Enable()
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtS').Enable()
else:
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtSUIRefd0').Disable()
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtS').Disable()
if model == 'Path Loss Model (single slope)':
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtPLRefd0').Enable()
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtPathLossFactor').Enable()
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtPLd0').Enable()
else:
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtPLRefd0').Disable()
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtPathLossFactor').Disable()

```

FUNCTION UPDATECELLIMAGE

```

def UpdateCellImage(self, evt):
    '''Update the image of cell frequencies when sectors/carriers change'''
    try:
        sectors = int(self.GetValue('Number of Sectors per Site'))
    except: return
    if sectors not in range(1,5):
        wx.MessageBox('Sector values in range [1,4] are supported', 'Parameter Error!')
        xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtSectorsPerSite').SetValue(str(4))
        return
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtCarriersPerSite').SetValue(str(sectors
self.GetValue('Number of Carriers per Sector'))))
    xrc.XRCCTRL(self.frame, 'bmpCell').SetBitMAP(wx.BitMAP('./figures/%d.bmp'
sectors))

```

FUNCTION ONSUICHANGE

```

def OnSUISChanged(self, evt):

```

```

    if eval(xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtS').GetValue()) < 8.2 or
(xrc.XRCCTRL(self.frame, 'txtS').GetValue()) > 10.6:
        wx.MessageBox('S in SUI model is capped between 8.2 - 10.6',
'Parameter Error!')

```

FUNCTION ONNEW

```

def OnNew(self, evt):
    '''New option from menu -- load the default values in the forms'''
    filename = 'default.dat'
    try:
        file = open(filename, 'r')
        file.close()
        self.LoadFromFile(filename)
    except IOError:
        wx.MessageBox("%s' file not found!\nPlease make sure it is located in the
actory of the application." % filename, 'Error!')

```

FUNCTION ONOPEN

```

def OnOpen(self, evt):
    '''Open option from menu -- load an already saved set of values in the forms'''
    filename = wx.FileSelector('Choose file to Open')
    file = open(filename, 'r')
    for line in file:
        param, value = [ v.strip() for v in line.split('=') ]
        xrc.XRCCTRL(self.frame, param).SetValue(value)
    file.close()

```

FUNCTION ONSAVE

```

def OnSave(self, evt):
    '''Save option from menu -- save current form values in a file'''
    filename = wx.FileSelector('Choose file to Save', flags = wx.FD_SAVE
OVERWRITE_PROMPT)
    file = open(filename, 'w')
    for param in params.translation.values():
        value = xrc.XRCCTRL(self.frame, param).GetValue()

```

```
file.write('%s = %s\n' % (param, value))
file.close()
```

FUNCTION ONQUIT

```
def OnQuit(self, evt):
    '''Quit the application'''
    self.frame.Close()
```

FUNCTION LOADFROMFILE

```
def LoadFromFile(self, filename):
    '''Load form values from a specified file'''
    file = open(filename, 'r')
    for line in file:
        param, value = [ v.strip() for v in line.split('=') ]
        xrc.XRCCTRL(self.frame, param).SetValue(value)
    file.close()
```

FUNCTION ONREPORT

```
def OnReport(self, evt):
    '''Report option from menu -- '''
    self.log.write('REPORT\n-----\n')

    model = self.GetValue('Propagation Model')
    if model == 'All Models':
        models = "COST 231- Hata Model - Urban", "COST 231- Hata Model - Suburban,
Rural", "ECC-33 (medium city) - Suburban", "SUI - Terrian A", "SUI - Terrian B",
"SUI - Terrian C", "Path Loss Model (single slope)",
    else: models = model,

    for model in models:
        self.values = {}
        self.model = model
        if not self.CalcParameters('calcs.dat', self.values): return

    if model == 'ECC-33 (medium city) - Suburban':
```

```

self.CalcParameters('ECC33Model.dat', self.values)
    elif model == 'SUI - Terrian A': self.CalcParameters('SUIAModel.dat',
self.values)
    elif model == 'SUI - Terrian B': self.CalcParameters('SUIBModel.dat',
self.values)
    elif model == 'SUI - Terrian C': self.CalcParameters('SUICModel.dat',
self.values)
    elif model == 'Path Loss Model (single slope)':
self.CalcParameters('PathLossModel.dat', self.values)

    self.values['DL Max Site Range'], iterations = num(self.GetValue('DL Range
Estimation')[0]), 0
    while self.GetValue('DL Number of Sectors throughput based') !=
self.GetValue('DL Number of Sectors coverage based') or self.GetValue
('DL Number of Sectors throughput based') == None:
        self.UpdateMaxSiteRange(self.GetValue('DL Max Site Range'),
self.GetValue('DL Range Estimation'), 'DL')
        if not self.CalcParameters('dlMaxSiteRangeDep.dat', self.values): return
self.values['DL Max Site Range'] = self.GetValue('DL Desirable Site Range')
        if iterations == 100: wx.MessageBox("Model '%s' could not converge for
downlink!" % model, 'Warning!'); break
        else: iterations += 1

    self.values['UL Max Site Range'], iterations = num(self.GetValue('UL Range
Estimation')[0]), 0
    while self.GetValue('UL Number of Sectors throughput based') !=
self.GetValue('UL Number of Sectors coverage based') or self.GetValue('UL Number
of Sectors throughput based') == None:
        self.UpdateMaxSiteRange(self.GetValue('UL Max Site Range'), self.GetValue
('UL Range Estimation'), 'UL')
        if not self.CalcParameters('ulMaxSiteRangeDep.dat', self.values): return
self.values['UL Max Site Range'] = self.GetValue('UL Desirable Site Range')
        if iterations == 100: wx.MessageBox("Model '%s' could not converge for
uplink!" % model, 'Warning!'); break
        else: iterations += 1

    if not self.CalcParameters('capacity.dat', self.values): return

```

```

        self.CreateReport('report/template.html', 'report/report for %s.html' %
model) # if only one model, do verbose report
        if len(models) > 1:
            if model == models[0]: self.CreateReport('report/template_short.html',
'report/overall report.html') # for the first model in all, start from short
template
            else: self.CreateReport('report/overall report.html', 'report/overall
report.html') # for the rest models fill-in the spaces in the
semi-finished report
        wx.MessageBox('Report generated!', 'Done!')

```

FUNCTION GETVALUE

```

def GetValue(self, label):
    '''Returns a string representation of parameter's value'''
    if label in params.translation: # parameter exists in the GUI
        value = xrc.XRCCTRL(self.frame, params.translation[label]).GetValue()
        if '/' in value: value += '.0'
        try:
            if value.startswith('['): return vector(str(value)) #it's a vector
            return num(eval(value))
        except SyntaxError: return value
        except ValueError: return 0
    elif label in self.cache: # parameter is cached from GUI (e.g. Subcar
al/Data/Pilot/Null, Constalation Size, etc.)
        return self.cache[label]
    elif label in self.functions: # math functions like log, sqrt, sum, etc.
        return label
    elif label in self.values: # previously calculated parameter
        return self.values[label]
    else:
        return None

```

FUNCTION CALCPARAMETERS

```

def CalcParameters(self, filename, storage):
    '''Calculate intermediate results based on a text file and store to a pro
dictionary'''
    try:
        fp = open(filename, 'r')
        for line in fp:
            comp = line.split('=')
            if line.startswith('#') or len(comp) != 2: continue

            label, function = [ x.strip() for x in comp ]
            def ValueReplacer(matchObj):
                match = matchObj.group().strip()
                val = self.GetValue(match)
                if val == None: wx.MessageBox("Unknown parameter '%s' while calculating
% (val, label), 'Error!')
                return str(val)
            function = re.compile(r"[a-zA-Z][a-zA-Z0-9 ]*").sub(ValueReplacer, function)

            print '--->', function
            try:
                print('%s = %s = %s' % (label, function, str(eval(function))))
                self.log.write('%s = %s = %s\n' % (label, function, str(eval(function))))
                storage[label] = eval(function)
            except ZeroDivisionError: storage[label] = NaN()
        except IOError:
            wx.MessageBox("%s' file not found!" % filename, 'Error!')
            return False
        finally:
            self.log.write('---> %s' % function)
            fp.close()
        return True

```

FUNCTION UPDATEMAXSITERANGE

```

def UpdateMaxSiteRange(self, maxSiteRange, rangeEstimation, mode):
    '''Calculate max site range value, auto-updating its dependencies'''
    nextRange, coverage = rangeEstimation[1], vector([])

```



```

# first iteration is different from the rest
if maxSiteRange < nextRange: coverage.append(0.0)
else: coverage.append((maxSiteRange ** 2 - nextRange ** 2) / (maxSiteRange ** 2))

# now calculate the rest iterations for coverage
for range, nextRange in zip(rangeEstimation[1:], list(rangeEstimation[2:] +
[0.0])):
    if range <= maxSiteRange:
        coverage.append((range ** 2 - nextRange ** 2) / (maxSiteRange ** 2))
    elif nextRange < maxSiteRange:
        coverage.append((maxSiteRange ** 2 - nextRange ** 2) / (maxSiteRange ** 2))
    else:
        coverage.append(0.0)
self.values['%s Max Site Range' % mode] = maxSiteRange
self.values['%s Coverage' % mode] = coverage

```

FUNCTION CREATEREPORT

```

def CreateReport(self, template, output):
    '''Read a template document for the final report and replaces missing values
    in the template in order to produce the final output report'''
    lines = []
    try:
        fp = open(template, 'r')
        for line in fp:
            def VecReplacer(matchObj):
                var = matchObj.group().strip()
                return str(eval( '%s%s' % (str(self.GetValue(var[1:var.index('(')])),
var[var.index('('):len(var)-1]) ))
                line = re.compile(r"#[a-zA-Z][a-zA-Z0-9 ]*\[[0-9]\|#").sub(VecReplacer,
line) # regex for vector indices

            def VarReplacer(matchObj):
                var = matchObj.group().strip()
                return str(self.GetValue(var[1:len(var)-1]))
                line = re.compile(r"#[a-zA-Z][a-zA-Z0-9 ]*#").sub(VarReplacer, line)
                # regex for simple variables

```

```

def ConVarReplacer(matchObj):
    var, cond = [ x.strip() for x in matchObj.group().split('?') ]
    if eval(cond[:len(cond)-1]): return str(self.GetValue(var[1:]))
    else: return matchObj.group()

    line = re.compile(r"#[a-zA-Z][a-zA-Z0-9 ]*\?[a-zA-Z0-9 =<>,\"\"\\(\)\-\
\\.\\\/]*#").sub(ConVarReplacer, line) # regex for conditional variables

    lines.append(line)
except IOError: wx.MessageBox("%s' file, required for the final report, not
found!" % template)
finally: fp.close()

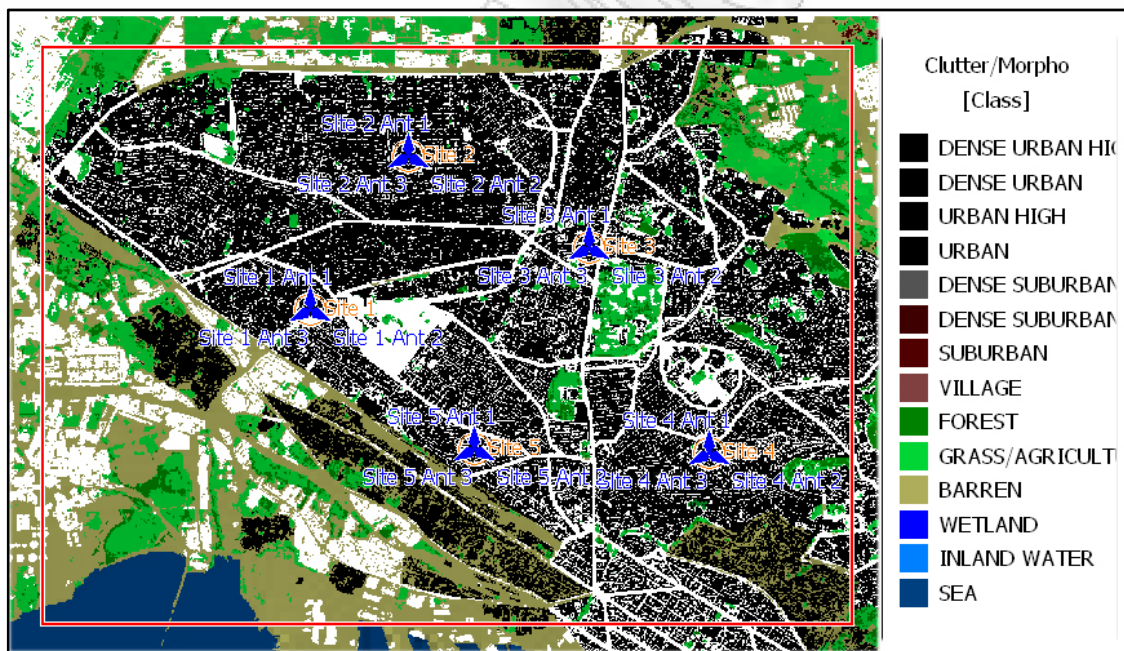
try:
    fp = open(output, 'w')
    fp.writelines(lines)
except IOError: wx.MessageBox("Can't open file '%s' for writing!" % output)
finally: fp.close()

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΣΕΝΑΡΙΑ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ

Στο παράρτημα Β παρατίθενται κάποια σενάρια ραδιοκάλυψης μιας περιοχής της Ελλάδας, τα οποία δεν κάλυπταν ικανοποιητικά την περιοχή, και συγκεκριμένα δημιουργούνταν πολλές παρεμβολές καθώς και το throughput δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται τρία σενάρια που υλοποιήθηκαν μέχρι να δημιουργηθεί το βέλτιστο το οποίο και παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6. Για τα σενάρια αυτά προστέθηκαν κατάλληλοι πίνακες με τις παραμέτρους που διαφοροποιούνται κάθε φορά. Γενικά παρατηρούνται πολλές παρεμβολές και μεγάλα κομμάτια που δεν ραδιοκαλύπτονται σε κεντρικές περιοχές του χάρτη.

Β.1. Σενάριο



Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών

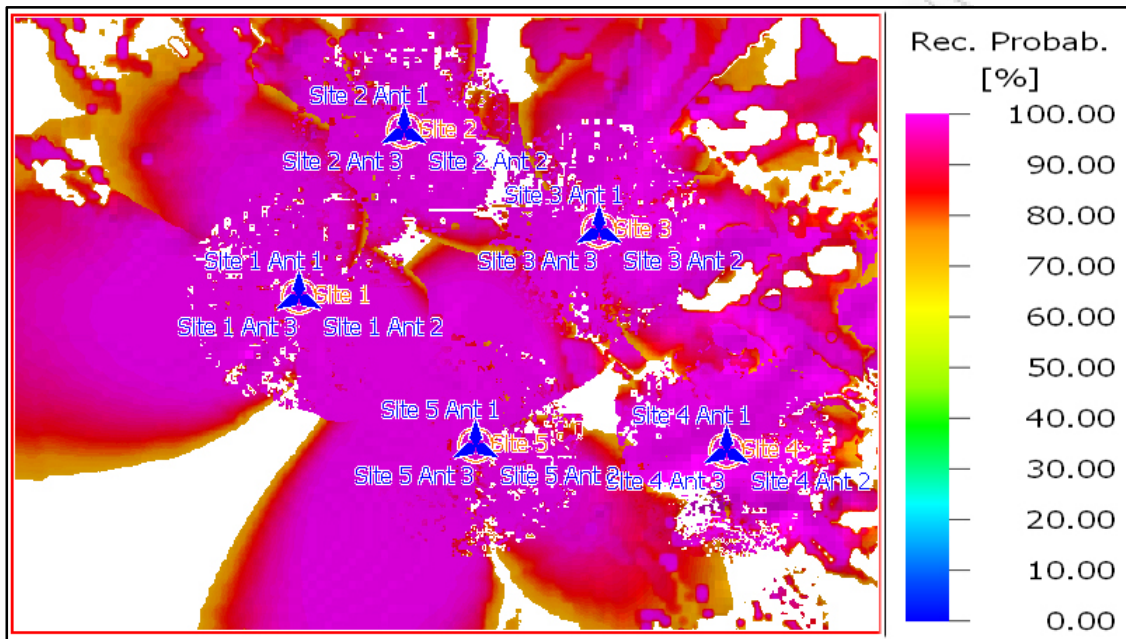
ID	Frequency (MHz)
1	3462.500
2	3562.500
3	3469.500

Ισχύς Εκπομπής 27 dBm

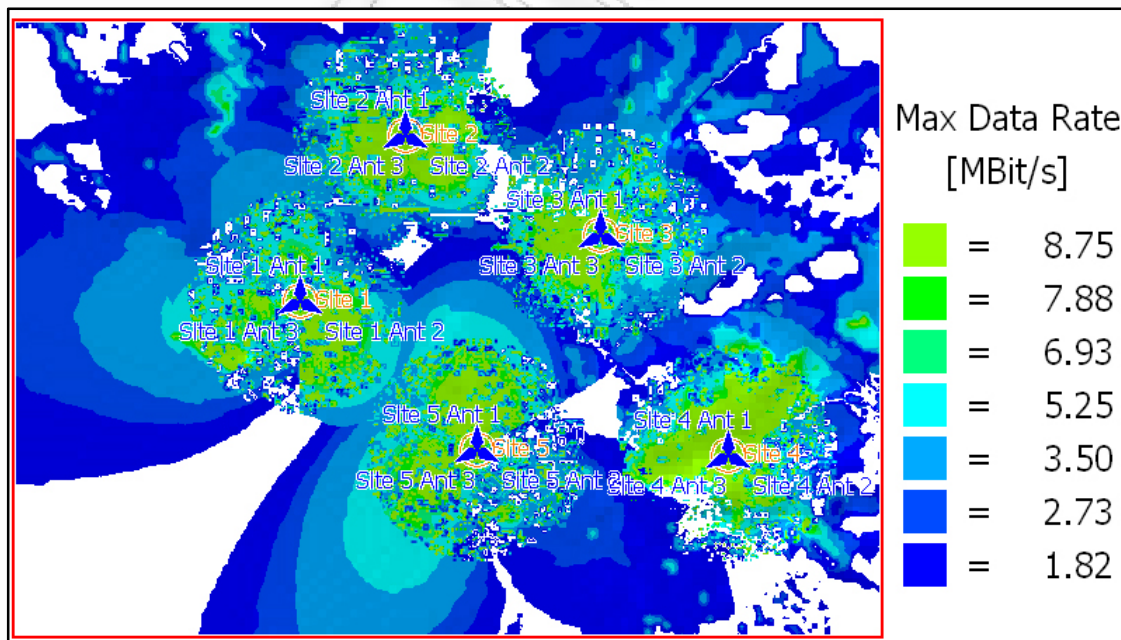
Site	Height (m)
Site 1	16 m
Site 2	50 m
Site 3	48 m
Site 4	85 m
Site 5	20 m

QPSK-1/2	1.82
QPSK-3/4	2.73
16QAM-1/2	3.50
16QAM-3/4	5.25
64QAM-1/2	5.25
64QAM-2/3	6.93
64QAM-3/4	7.88
64QAM-5/6	8.75

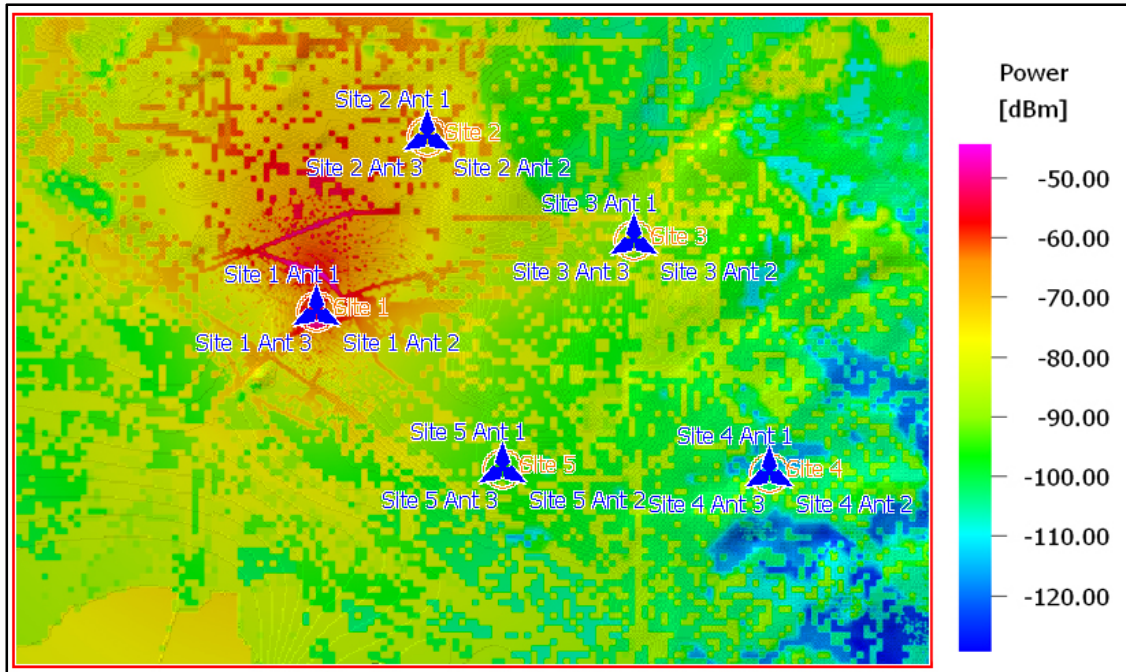
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Site 1	0°	0°	0°
Site 2	0°	5°	10°
Site 3	0°	0°	10°
Site 4	0°	0°	10°
Site 5	0°	0°	0°



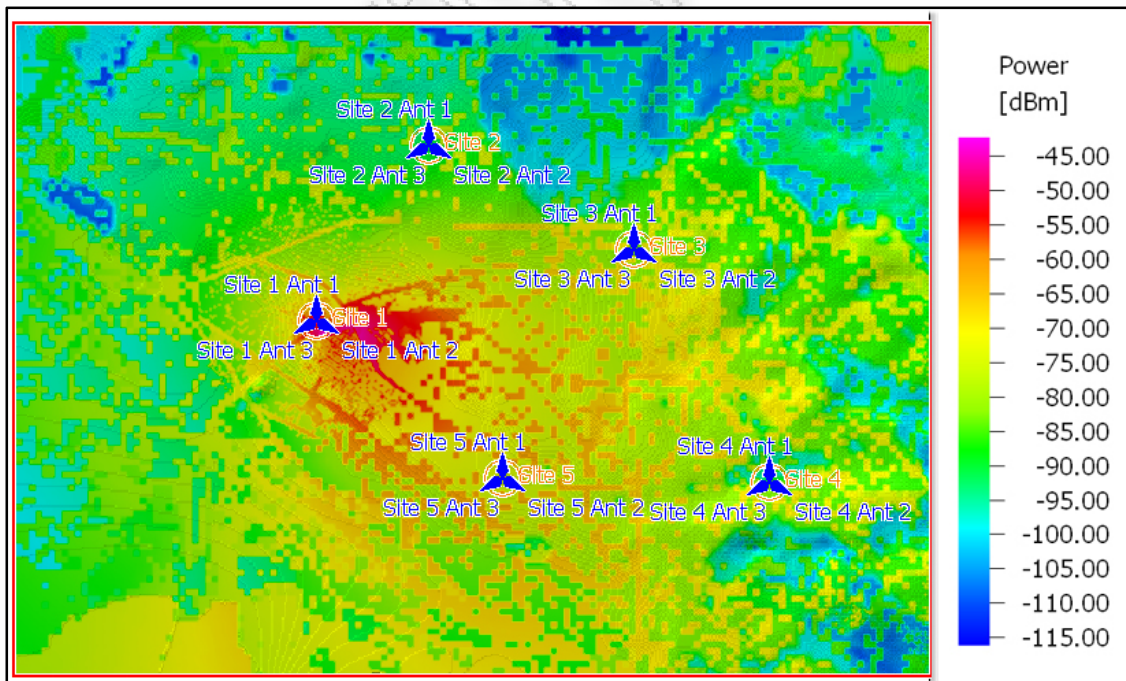
Rec Probab Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2



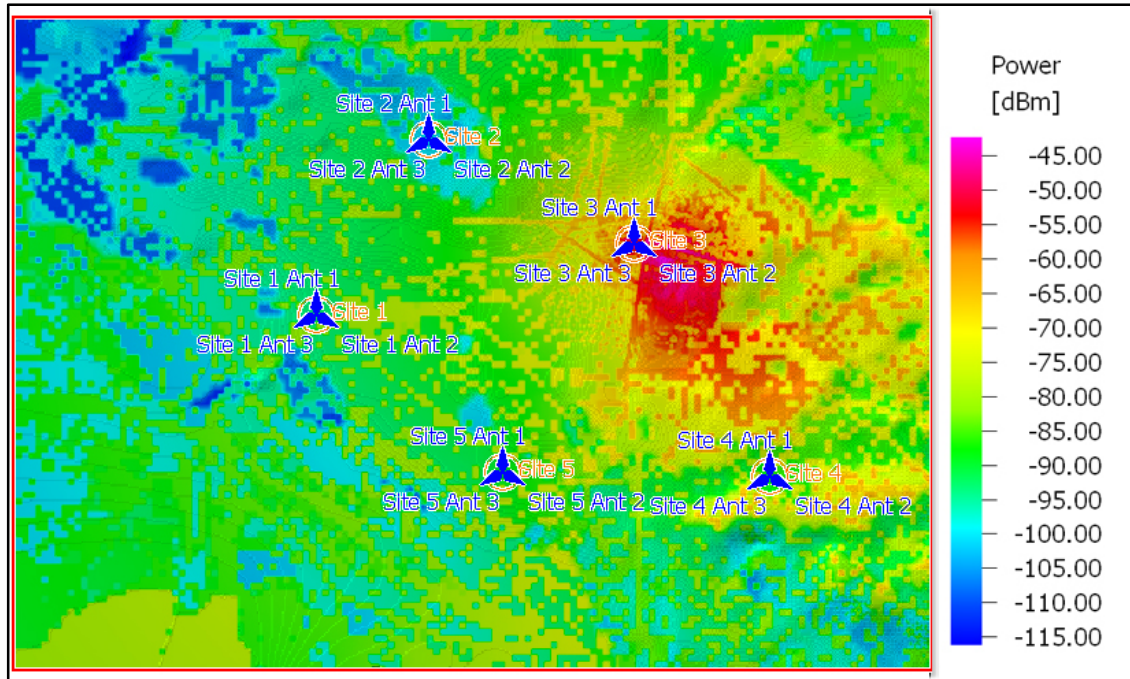
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων



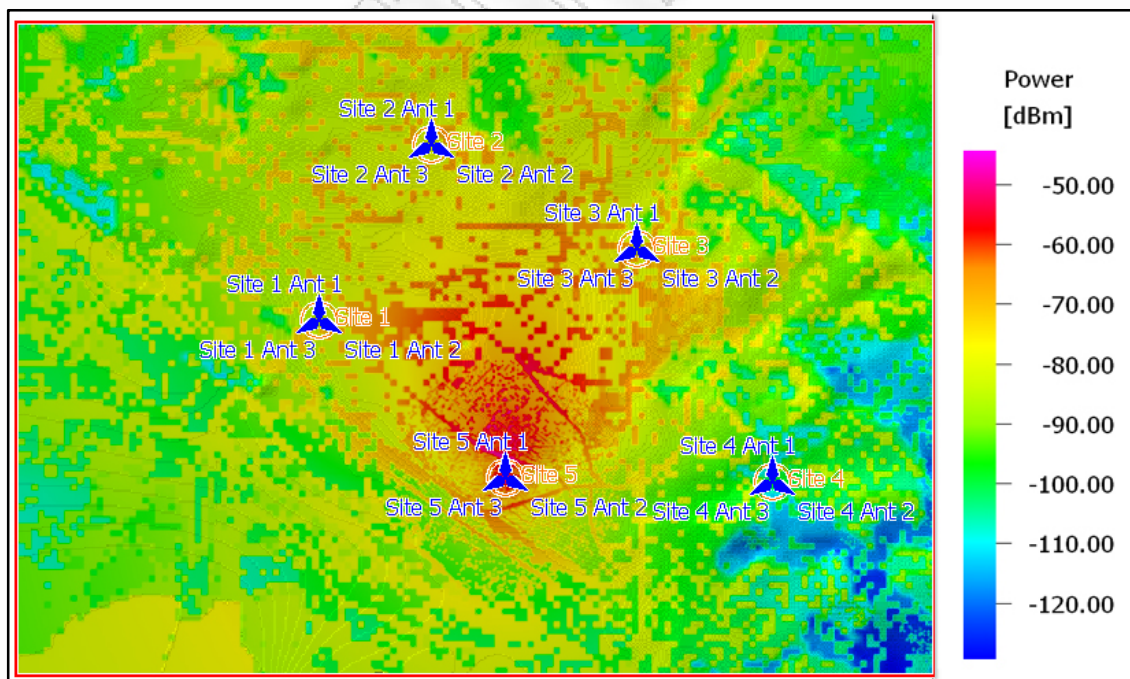
Ισχύς του Carrier 1 Site 1



Ισχύς του Carrier 2 Site 1

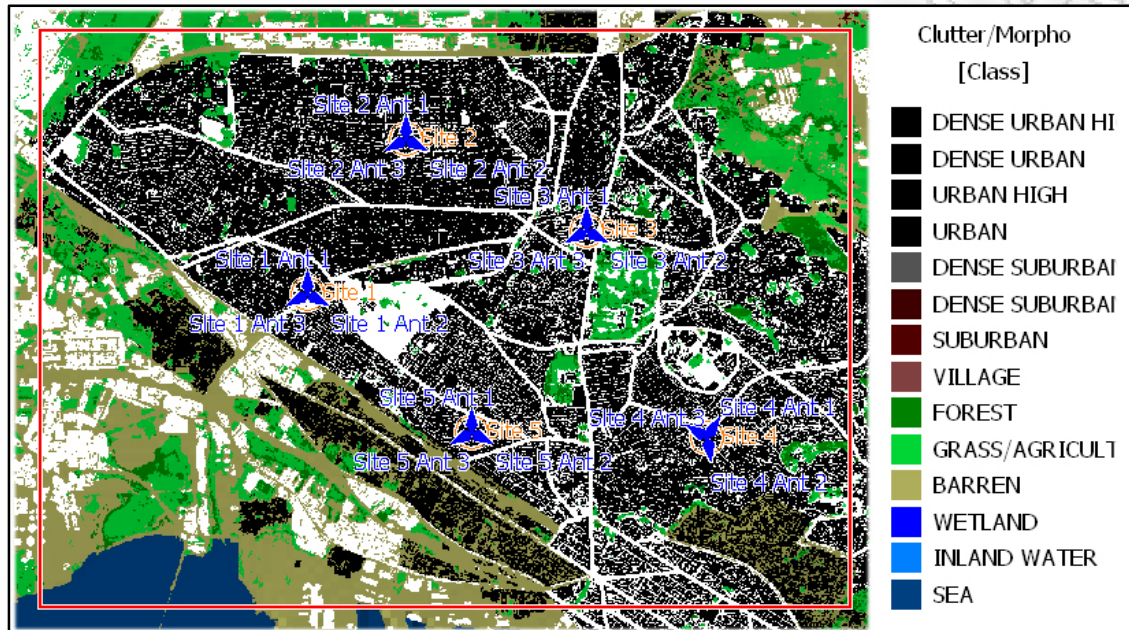


Ισχύς του Carrier 2 Site 3



Ισχύς του Carrier 1 Site 5

B.2. Σενάριο



Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών

Πίνακας 1. Ανάθεση συχνότητας σε κάθε κυψέλη

ID	Frequency (MHz)
1	3462.500
2	3562.500
3	3469.500

Ισχύς Εκπομπής 36 dBm

Πίνακας 2. Υψόμετρο εδάφους για τοποθέτηση κυψελών

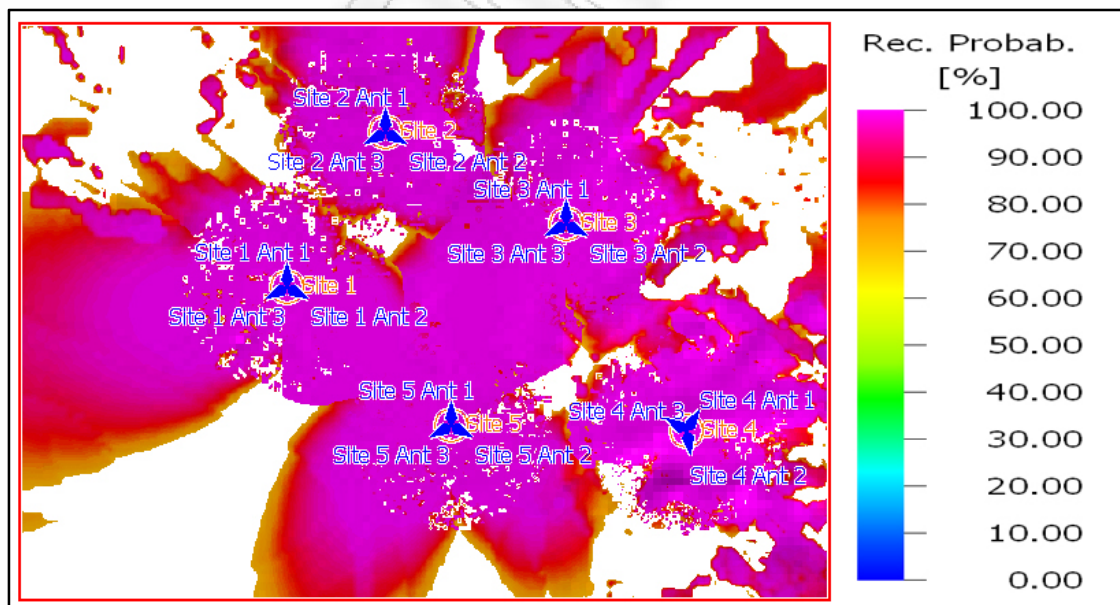
Site 1	16 m
Site 2	50 m
Site 3	48 m
Site 4	85 m
Site 5	20 m

Πίνακας 3. Τιμές για Transmission Models

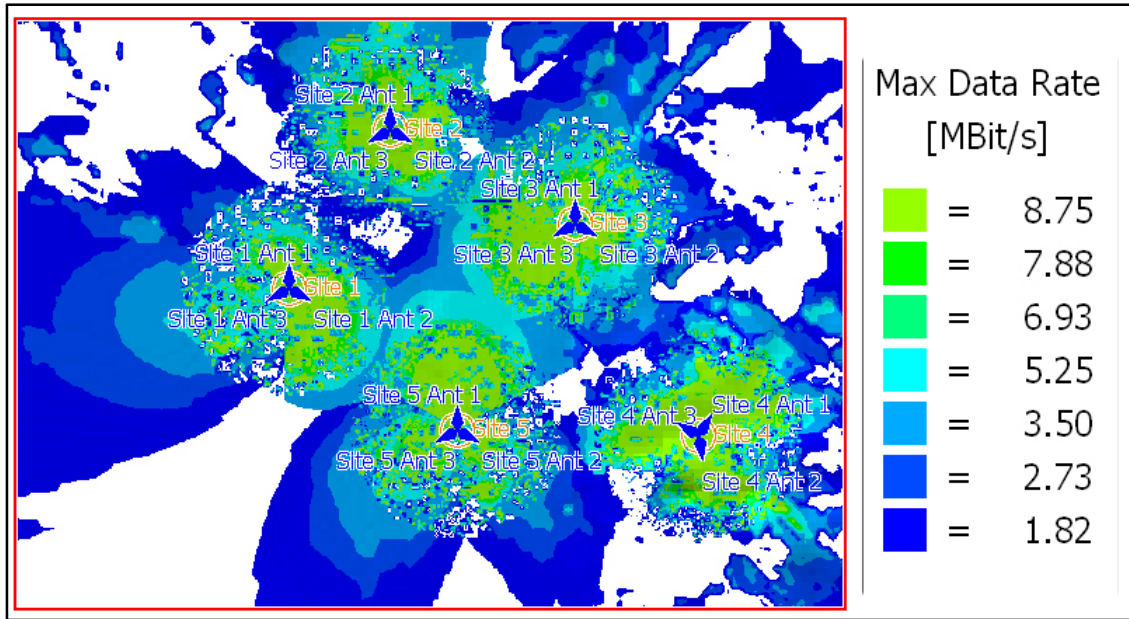
QPSK-1/2	1.82
QPSK-3/4	2.73
16QAM-1/2	3.50
16QAM-3/4	5.25
64QAM-1/2	5.25
64QAM-2/3	6.93
64QAM-3/4	7.88
64QAM-5/6	8.75

Πίνακας 4 Τιμές Downtilt σε κάθε Sector των Sites

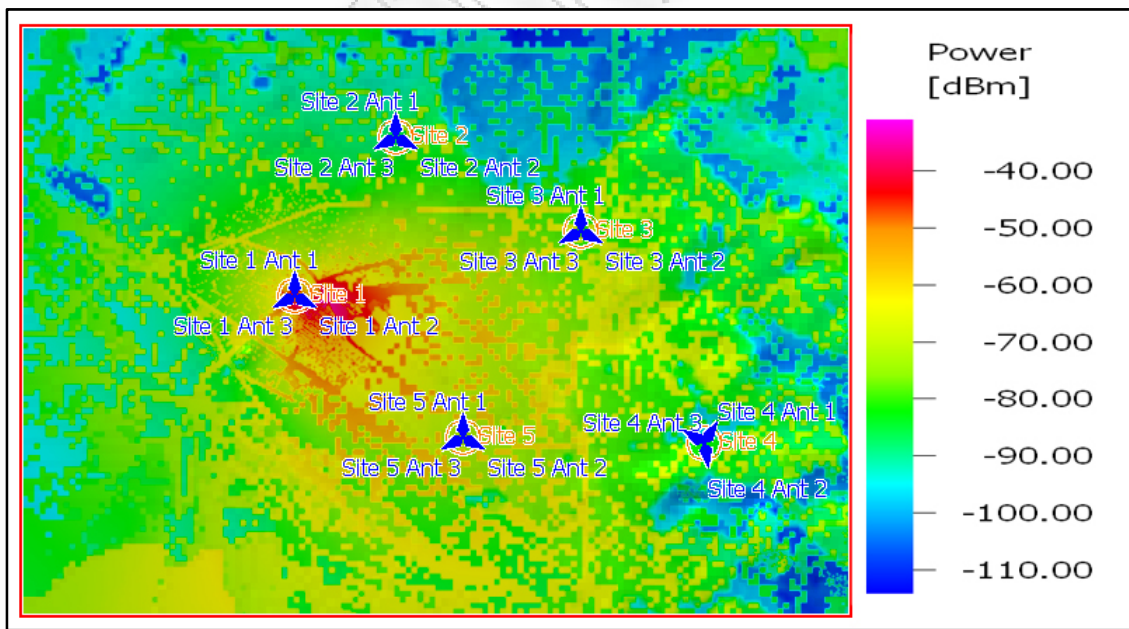
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Site 1	7°	0°	0°
Site 2	0°	7°	10°
Site 3	5°	5°	10°
Site 4	5°	0°	10°
Site 5	0°	5°	5°



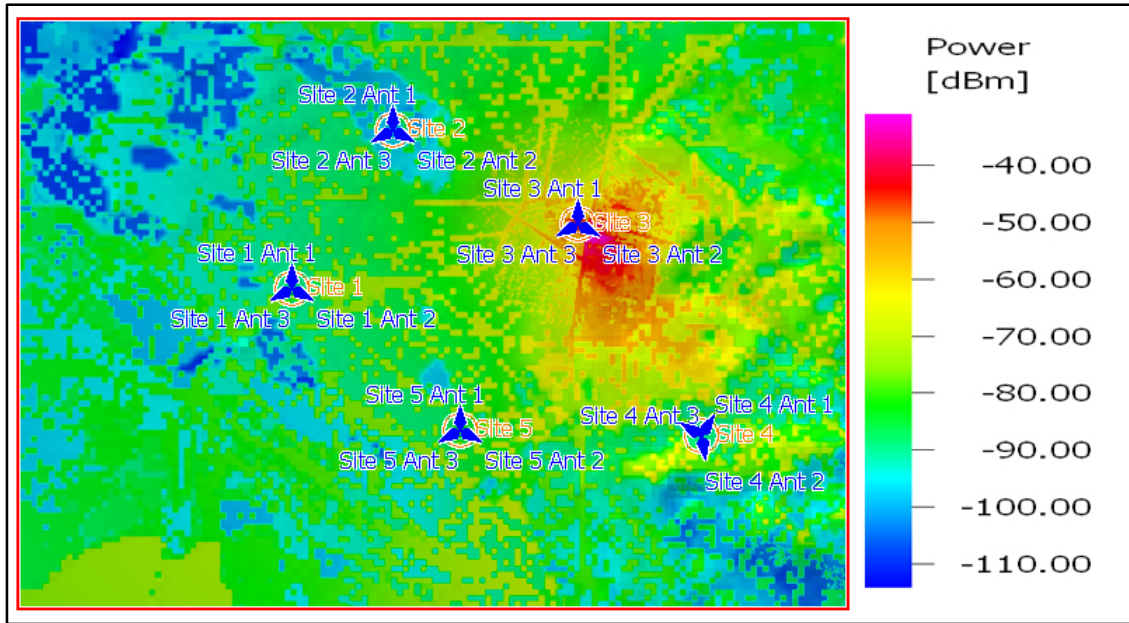
Rec Probab Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2



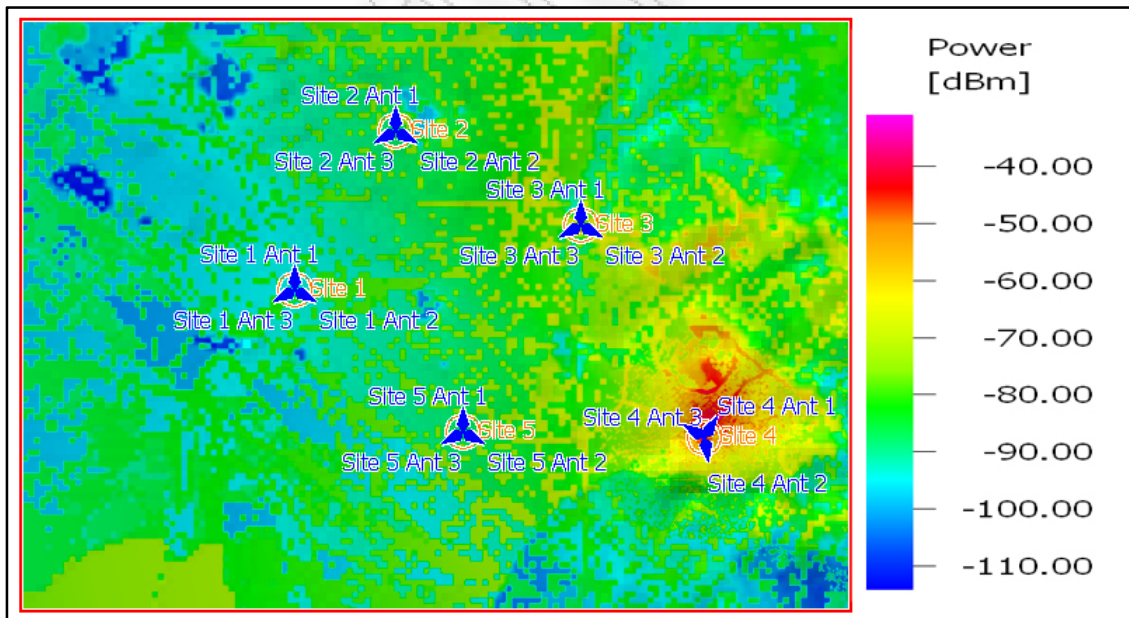
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων



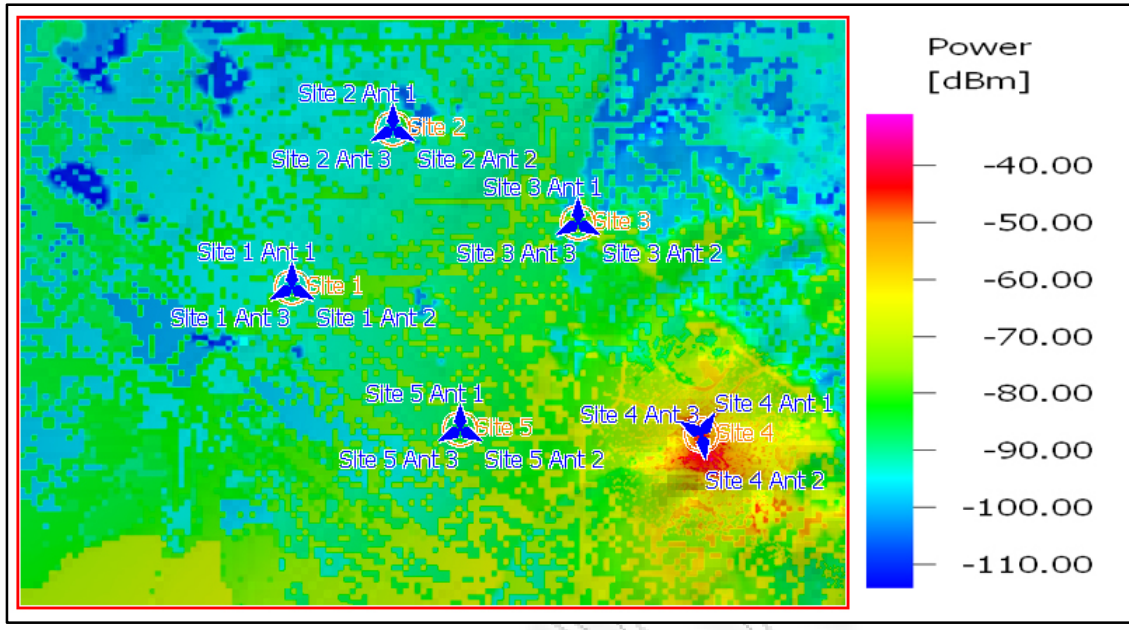
Ισχύς του Carrier 2 Site 1



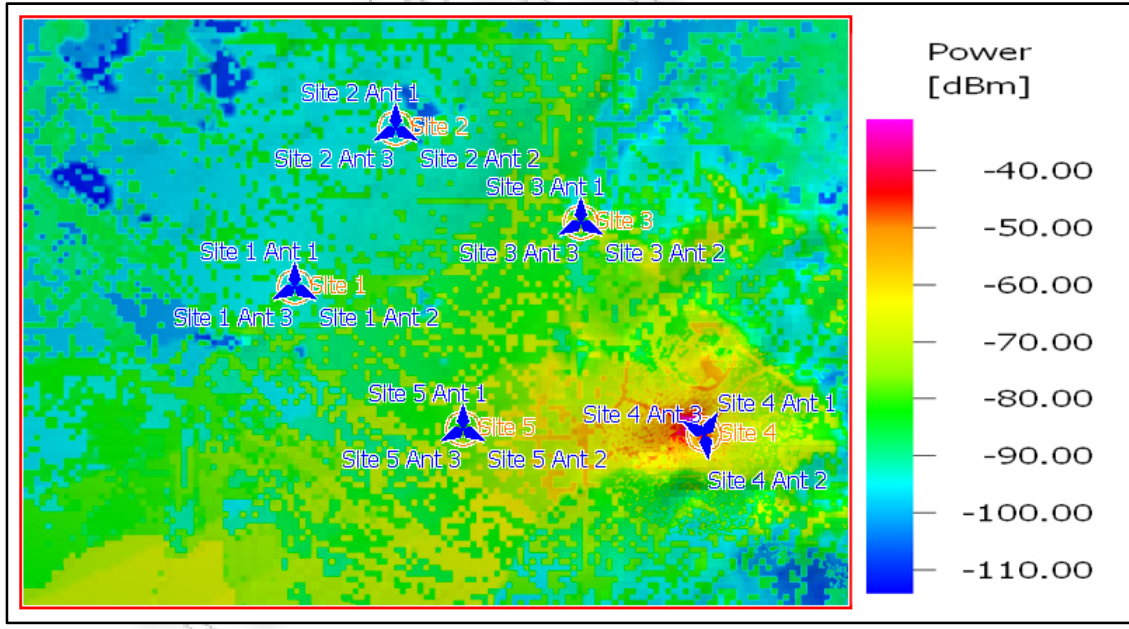
Ισχύς του Carrier 2 Site 3



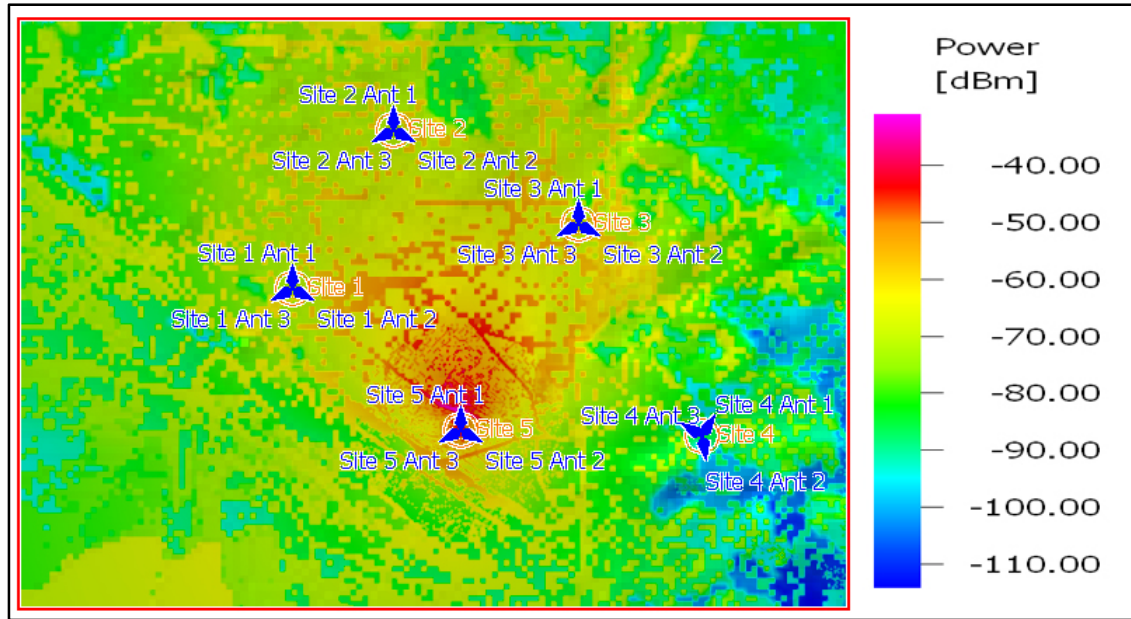
Ισχύς του Carrier 1 Site 4



Ισχύς του Carrier 2 Site 4

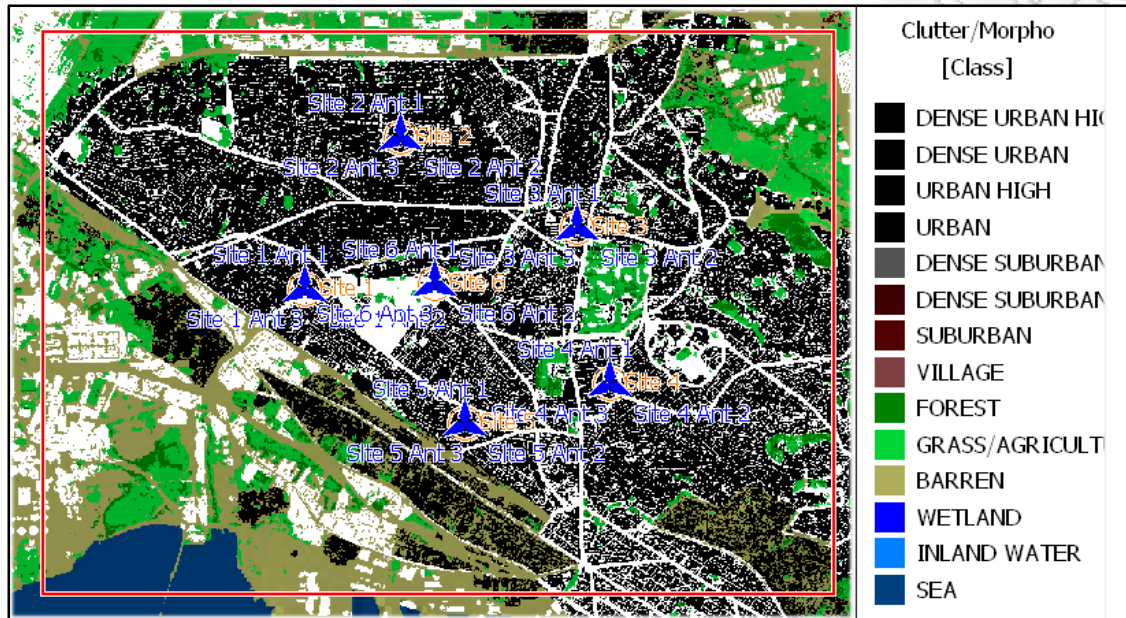


Ισχύς του Carrier 3 Site 4



Ισχύς του Carrier 1 Site 5

B.3. Σενάριο



Ραδιοκάλυψη Περιοχής της Ελλάδας με Τομεοποίηση Κυψελών

Πίνακας 1. Ανάθεση συχνότητας σε κάθε κυψέλη

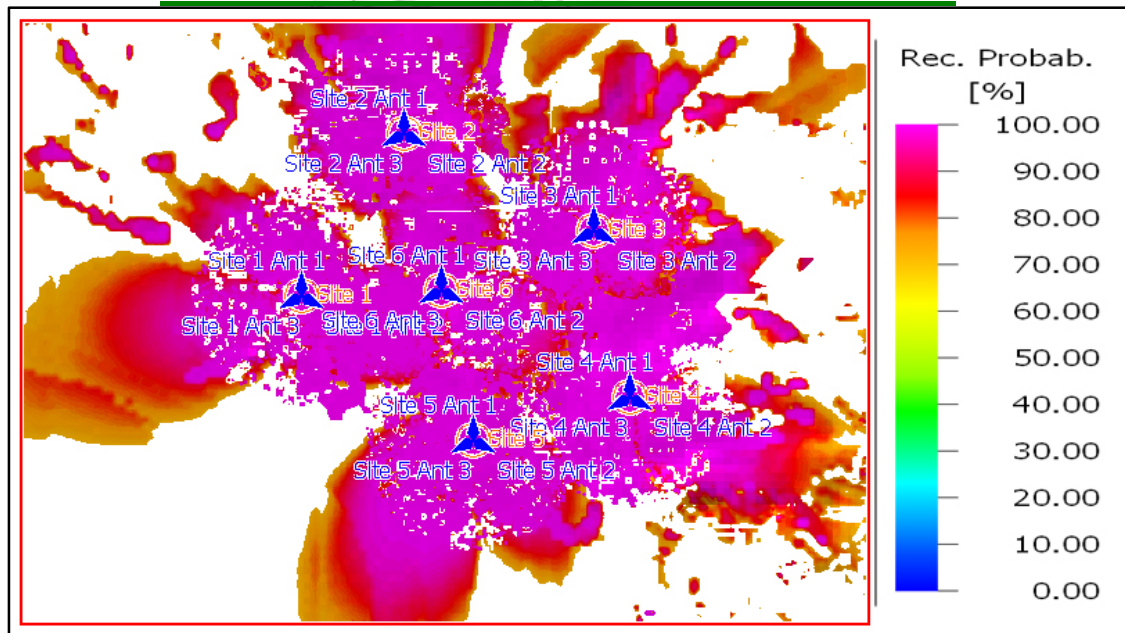
ID	Frequency (MHz)
1	3462.500
2	3562.500
3	3469.500
Ισχύς Εκπομπής 36 dBm	

Πίνακας 2. Υψόμετρο εδάφους για τοποθέτηση κυψελών

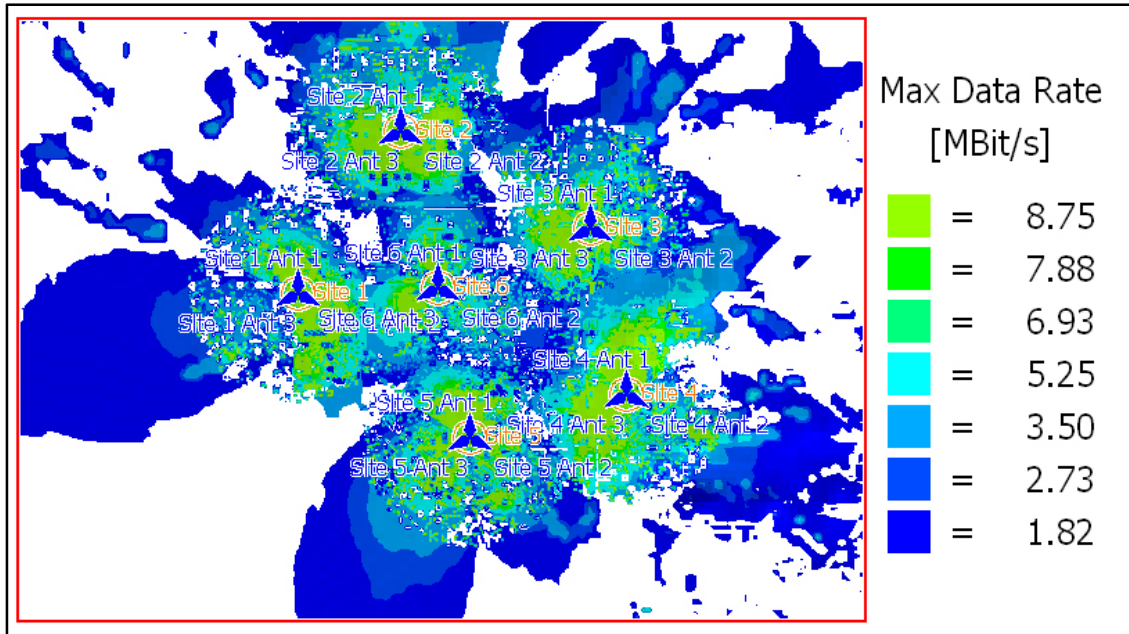
Site 1	16 m
Site 2	50 m
Site 3	48 m
Site 4	62 m
Site 5	20 m
Site 6	22 m
Site 7	38 m

QPSK-1/2	1.82
QPSK-3/4	2.73
16QAM-1/2	3.50
16QAM-3/4	5.25
64QAM-1/2	5.25
64QAM-2/3	6.93
64QAM-3/4	7.88
64QAM-5/6	8.75

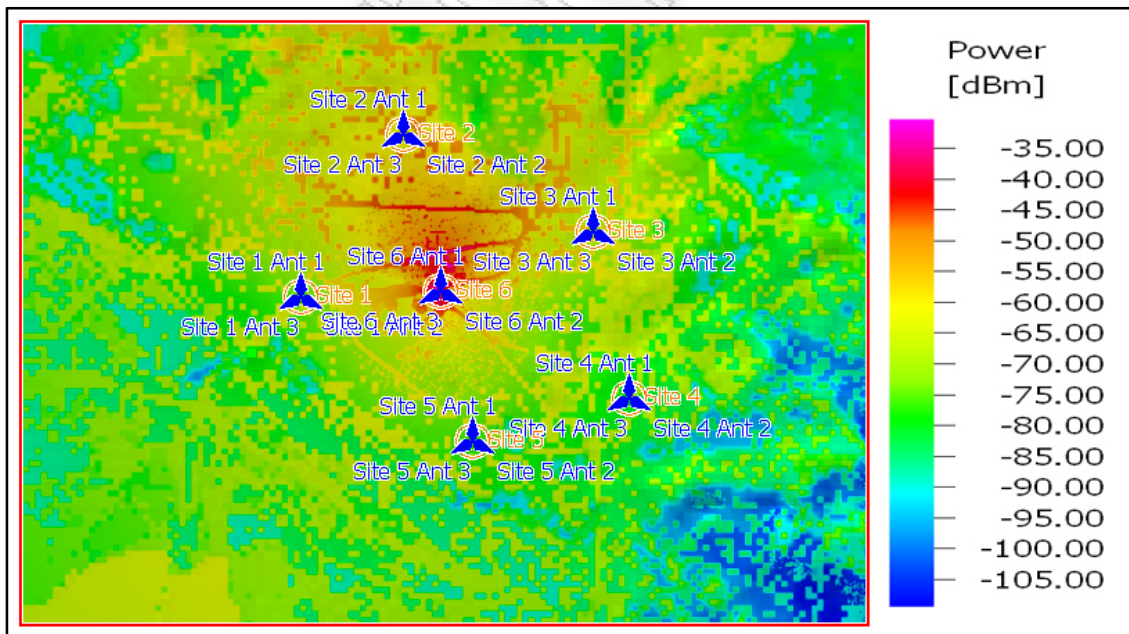
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Site 1	7°	5°	0°
Site 2	0°	7°	10°
Site 3	5°	5°	10°
Site 4	5°	0°	10°
Site 5	7°	5°	5°
Site 6	3°	0°	5°
Site 7	0°	0°	0°



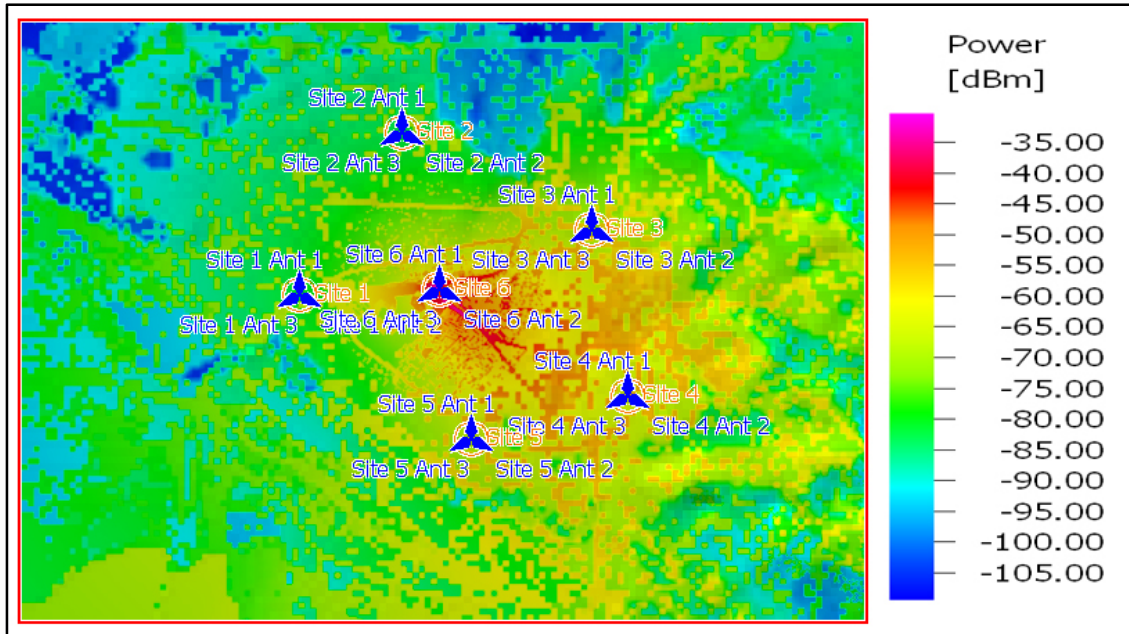
Rec Probab Πιθανότητα Κάλυψης για τη ζώνη διαμόρφωσης QPSK-1/2



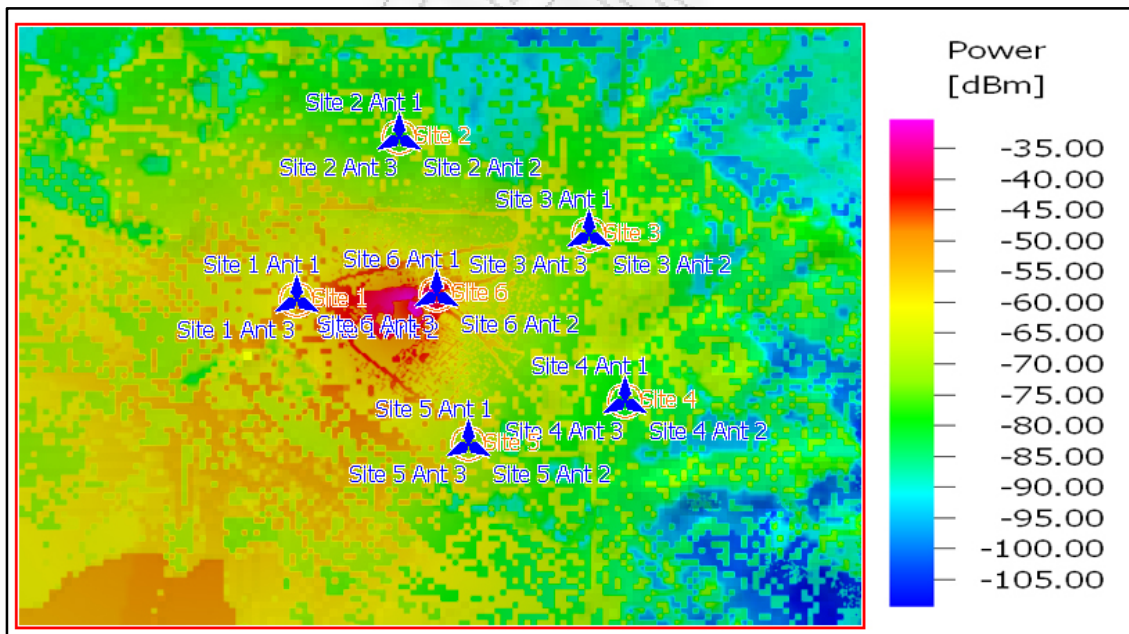
Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων



Ισχύς του Carrier 1 Site 6



Ισχύς του Carrier 2 Site 6



Ισχύς του Carrier 3 Site 6