



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

**Μοντελοποίηση καναλιού κινητών επικοινωνιών για  
συστήματα νέας γενιάς**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ουρανία Γ.Θανασοπούλου

**Επιβλέπων:** Αθανάσιος Δ.Παναγόπουλος  
Λέκτορας

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011





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

**Μοντελοποίηση καναλιού κινητών επικοινωνιών για  
συστήματα νέας γενιάς**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ουρανία Γ.Θανασοπούλου**

**Επιβλέπων:** Αθανάσιος Δ.Παναγόπουλος  
Λέκτορας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2011

.....  
Α.Δ. Παναγόπουλος  
Λέκτορας Ε.Μ.Π

.....  
Φ.Κωνσταντίνου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Ι.Δ.Κανελλόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Δεκέμβριος 2011

.....  
Ουρανία Γ.Θανασοπούλου  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Ουρανία Γ.Θανασοπούλου, 2011  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι η μελέτη της μοντελοποίησης καναλιού σε συστήματα κινητών επικοινωνιών νέας γενιάς. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται το μοντέλο καναλιού WINNER, το οποίο έχει προταθεί για την αξιολόγηση των κυψελωτών συστημάτων σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί από την ITU. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των απαιτήσεων των παρερχόμενων υπηρεσιών, των συστημάτων και των τερματικών χρηστών που θα πρέπει να πληρούνται ώστε να ικανοποιούνται οι χρήστες και να γίνεται αποτελεσματική απόδοση φάσματος.

Η αξιολόγηση γίνεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης συμπεριλαμβανομένων εσωτερικών και εξωτερικών χώρων με ποικίλα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και διάφορες κινητικότητες χρηστών. Στη Διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αναλυτικά αυτά τα περιβάλλοντα και τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση του μοντέλου καναλιού και του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η εισαγωγή παραμέτρων ώστε να αξιολογηθεί το σύστημα. Ακόμη, δίνονται τα κυριότερα κομμάτια κώδικα του μοντέλου και επεξήγηση αυτών. Τέλος, πραγματοποιούνται προσομοιώσεις με εισαγωγή διάφορων μοντέλων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για απώλειες διάδοσης και μοντέλα μεγάλης κλίμακας.

### ***Λέξεις κλειδιά:***

Μοντελοποίηση Καναλιού, νέα γενιά, IMT-Advanced, WINNER, κυψελωτά συστήματα, ραδιοδιάλυος, κινητές επικοινωνίες, περιβάλλοντα προσομοίωσης, τέταρτη γενιά δικτύων, 4G



## ***ABSTRACT***

The subject of this thesis is the presentation and the implementation of the radio channel modeling for new generation mobile systems. For this purpose WINNER model is employed. WINNER model is a tool for the evaluation of cellular systems in accordance with ITU standards and criteria. In addition, the requirements of the mobile systems, the user terminals and the provided services are presented. These requirements should meet the needs of users and lead to increased spectral efficiency.

The various indoor and outdoor environments with diverse geographical features and user mobility of the WINNER model are analytically presented and expected to help in the evaluation of radio interfaces. In particular, the characteristics of these environments are presented. Furthermore, the radio channel and the input parameters are analyzed. The WINNER model program codes are presented. Finally, various models are introduced in simulations and some results are presented regarding the path loss models and the large scale effects.

## ***Keywords:***

Modeling, new generation, IMT-Advanced, WINNER, cellular, radiochannel, mobile communication, test environments, fourth generation of networks, 4G





## ***ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ***

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω το Λέκτορα Αθανάσιο Παναγόπουλο που μου εμπιστεύτηκε αυτή τη διπλωματική εργασία και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Τον ευχαριστώ θερμά για τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις καθώς και για την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου Παναγιώτα, τα αδέρφια μου Νάντια και Δημήτρη και όλη την οικογένεια μου για την εμπιστοσύνη τους, τη συμπαράσταση τους και τη βοήθεια τους. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον άντρα μου Μιχάλη όχι μόνο για τη συμπαράσταση, την αγάπη και κατανόηση που μου έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά πάνω από όλα που μου χάρισε την κόρη μας Αθηνά. Η κορούλα μου αποτέλεσε το μεγαλύτερο κίνητρο για την ολοκλήρωση των σπουδών μου και απίστευτή πηγή έμπνευσης. Την ευχαριστώ που ήρθε στη ζωή μου και μου δείχνει κάθε μέρα πόσο όμορφο είναι να δίνεις αλλά πιο πολύ να λαμβάνεις αληθινή αγάπη από ένα πανέξυπνο, γλυκύτατο και πανέμορφο πλασματάκι.



Στην κόρη μου,  
Αθηνά



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT .....	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	13
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	17
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	19
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ .....	20
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	23
1.1 Εισαγωγή .....	23
1.2 Γενικά χαρακτηριστικά κυψελωτών δικτύων .....	23
1.2.1 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης.....	25
1.2.2 Τύποι διαύλων επικοινωνιών .....	28
1.2.3 Πρωτόκολλα κατανομής πόρων.....	29
1.2.4 Τεχνικές Μεταπομπής.....	30
1.2.5 Διαμόρφωση .....	31
1.2.6 Κύρια χαρακτηριστικά κυψελωτών δικτύων .....	32
1.2.6.1 Φασματική απόδοση κυψέλης .....	32
1.2.6.2 Μέγιστη φασματική απόδοση.....	32
1.2.6.3 Εύρος ζώνης.....	32
1.2.6.4 Φασματική απόδοση στα όρια της κυψέλης.....	33
1.2.6.5 Κινητικότητα.....	33
1.2.6.6 Χωρητικότητα VoIP .....	33
1.2.6.7 Καθυστέρηση .....	34
1.3 Εξέλιξη δικτύων.....	34
1.3.1 Δίκτυα 1ης γενιάς.....	34
1.3.1.1 Προβλήματα της πρώτης γενιάς δικτύων .....	35
1.3.2 Δίκτυα 2 <sup>ης</sup> Γενιάς .....	35
1.3.2.1 Προβλήματα δικτύων 2 <sup>ης</sup> γενιάς .....	37
1.3.2.2 Γενιά 2.5G.....	38
1.3.2.3 Γενιά 2.75G.....	38
1.3.3 Δίκτυα 3 <sup>ης</sup> γενιάς.....	39
1.3.3.1 Πρότυπο UMTS .....	39
1.3.3.2 Πρότυπο HSPA .....	41
1.3.3.3 Πρότυπο HSDPA και HSUPA.....	41
1.3.3.4 LTE.....	42
1.3.3.5 WiMaX.....	43
1.4 Δίκτυα νέας γενιάς IMT-Advanced.....	45
1.4.1 Μετρήσεις ITU .....	46
1.4.2 LTE-Advanced.....	48
1.4.3 WirelessMan-Advanced.....	48
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	49
2. Σενάρια χρήσης και τεχνικές απαιτήσεις του Μοντέλου WINNER.....	51
2.1 Μοντέλο WINNER .....	51
2.1.1 Περιοχές προσομοίωσης.....	53
2.1.2 Τύποι περιβάλλοντος .....	56
2.1.3 Ραδιοκάλυψη .....	56
2.1.4 Τύποι τερματικών .....	57
2.1.5 Πυκνότητα χρηστών, παράμετροι κίνησης και κινητικότητα χρηστών .....	58
2.2 Απαιτήσεις υπηρεσιών .....	58
2.3 Απαιτήσεις συστημάτων WINNER .....	60
2.4 Απαιτήσεις τερματικών.....	64
2.5 Απαιτήσεις απόδοσης.....	64

2.5.1	Κάλυψη.....	65
2.5.2	Ρυθμοί μετάδοσης.....	65
2.5.3	Ανεκτός ρυθμός μετάδοσης.....	66
2.5.4	Επιτρεπτός ρυθμός σφαλμάτων .....	66
2.5.5	Καθυστέρηση στο επίπεδο χρήστη .....	66
2.6	Φασματική απόδοση .....	67
2.6.1	Μέγιστη ταχύτητα τερματικού.....	68
2.6.2	Απαιτήσεις φάσματος .....	69
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	69
3.	Περιβάλλοντα προσομοίωσης .....	71
3.1	Εσωτερικού χώρου hotspot (B3).....	71
3.1.1	Παράμετροι περιβάλλοντος .....	72
3.1.1.1	Βασικές παράμετροι.....	72
3.1.1.2	Προσομοίωση συστήματος.....	73
3.1.1.3	Προσομοίωση ζεύξης.....	74
3.1.2	Μοντέλα απωλειών .....	74
3.2	Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μικροκυψέλες (B1- B4) .....	75
3.2.1	Παράμετροι περιβάλλοντος .....	75
3.2.1.1	Βασικές παράμετροι.....	75
3.2.1.2	Προσομοίωση συστήματος.....	76
3.2.1.3	Προσομοίωση ζεύξης.....	77
3.2.2	Μοντέλα απωλειών .....	77
3.3	Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες (C2) .....	80
3.3.1	Παράμετροι περιβάλλοντος .....	80
3.3.1.1	Βασικές παράμετροι.....	80
3.3.1.2	Προσομοίωση συστήματος.....	81
3.3.1.3	Προσομοίωση ζεύξης.....	82
3.3.2	Μοντέλα απωλειών .....	82
3.4	Επαρχιακή περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες (D1-D2).....	83
3.4.1	Παράμετροι περιβάλλοντος .....	83
3.4.1.1	Βασικές παράμετροι.....	83
3.4.1.2	Προσομοίωση συστήματος.....	84
3.4.1.3	Προσομοίωση ζεύξης.....	85
3.4.2	Μοντέλα απωλειών .....	85
3.5	Προαστιακή περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες (C1).....	87
3.5.1	Παράμετροι περιβάλλοντος .....	87
3.5.1.1	Βασικές παράμετροι.....	87
3.5.1.2	Προσομοίωση συστήματος.....	88
3.5.1.3	Προσομοίωση ζεύξης.....	89
3.5.2	Μοντέλα απωλειών .....	89
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	90
4.	Ανάλυση Βασικών Συναρτήσεων Μοντέλου Καναλιού WINNER .....	91
4.1	Μοντέλο παραμέτρων.....	91
4.1.1	Γενικές παράμετροι.....	93
4.1.2	Παράμετροι μεγάλης κλίμακας.....	93
4.1.3	Παράμετροι μικρής κλίμακας .....	98
4.1.3.1	Σενάριο A1 .....	103
4.1.3.2	Σενάριο A2/B4 .....	104
4.1.3.3	Σενάριο B1 .....	105
4.1.3.4	Σενάριο B2.....	106
4.1.3.5	Σενάριο B3 .....	106
4.1.3.6	Σενάριο C1 .....	107
4.1.3.7	C2.....	108
4.1.3.8	C3.....	110

4.1.3.9 C4.....	111
4.1.3.10 D1.....	111
4.1.3.11 D2a.....	112
4.1.3.12 B5a.....	112
4.1.3.13 B5b.....	113
4.1.3.14 B5c.....	115
4.1.3.15 B5f.....	116
4.2 Συναρτήσεις μοντέλου WINNER.....	117
4.2.1 antenna_pol_vect.m.....	117
4.2.2 AntennaArray.m.....	117
4.2.3 AntennaResponse.m.....	118
4.2.4 Aperture_Calc.p.....	119
4.2.5 arrayparset.m.....	119
4.2.6 arrayPreprocess.m.....	119
4.2.7 BP2Aperture.m.....	119
4.2.8 BP2Aperture1D.m.....	119
4.2.9 cas.m.....	120
4.2.10 Contents.m.....	120
4.2.11 dipole.m.....	121
4.2.12 ds.m.....	121
4.2.13 example_channel_matrix.m.....	121
4.2.14 example_EADF_approx.m.....	121
4.2.15 example_syntetic_arrays.m.....	121
4.2.16 fixedAoas.m.....	121
4.2.17 fixedAods.m.....	122
4.2.18 fixedPdp.m.....	122
4.2.19 fixedScatterFreq.m.....	123
4.2.20 G_Calc1D_simple.p.....	123
4.2.21 G_Calc3D_simple.p.....	123
4.2.22 generate_bulk_par.....	123
4.2.23 interpbp.p.....	141
4.2.24 layout2link.m.....	141
4.2.25 layoutparset.m.....	143
4.2.26 LOSprobability.m.....	147
4.2.27 LScorrelation.m.....	147
4.2.28 mycart2sph.m.....	147
4.2.29 mysph2cart.m.....	147
4.2.30 NTlayout.m.....	147
4.2.31 offset_matrix_generation.m.....	148
4.2.32 pathloss.m.....	148
4.2.33 rotate_vector.m.....	148
4.2.34 ScenarioMapping.m.....	148
4.2.35 ScenParTables.m.....	152
4.2.36 StationDirectionXY.m.....	152
4.2.37 StationDistXY.m.....	152
4.2.38 StationNumElements.m.....	152
4.2.39 StationVelocityXY.m.....	153
4.2.40 struct_generation.m.....	153
4.2.41 unrotate_vector.m.....	153
4.2.42 vel_vector.m.....	153
4.2.43 wim.m.....	153
4.2.44 wim_core.m.....	162
4.2.45 wimparset.m.....	173
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	173
5. Αποτελέσματα μοντέλων απωλειών διάδοσης μεγάλης κλίμακας.....	175
5.1 Εισαγωγή.....	175
5.2 Πιθανότητα LOS.....	175
5.2.1 Σενάριο A1.....	175

5.2.2 Σενάρια B1&B3.....	177
5.2.3 Σενάριο C1 & C2.....	183
5.2.4 Σενάριο D1 .....	185
5.3 Απώλειες Διάδοσης.....	186
5.3.1 Σενάριο A1.....	186
5.3.1.1 LOS.....	187
5.3.1.2 NLOS.....	188
5.3.2 Σενάριο B1.....	195
5.3.2.1 LOS.....	195
5.3.2.2 NLOS.....	196
5.3.3 Σενάριο B3.....	198
5.3.4 Σενάριο C1.....	199
5.3.4.1 LOS.....	199
5.3.4.2 NLOS.....	200
5.3.5 Σενάριο C2.....	201
5.3.5.1 LOS.....	202
5.3.5.2 NLOS.....	203
5.3.6 Σενάριο D1 .....	203
5.3.6.1 LOS.....	204
5.3.6.2 NLOS.....	205
5.3.7 Σύγκριση Σεναρίων B1 & C1 & C2 .....	206
5.3.7.1 LOS.....	206
5.3.7.2 NLOS.....	207
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	207
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	209



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

<a href="#">Σχήμα 1.1 Σχήμα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων [WIKI]</a> .....	24
<a href="#">Σχήμα 1.2 Λειτουργία FDMA [ΘΕΟ]</a> .....	26
<a href="#">Σχήμα 1.3 Λειτουργία TDMA[ΘΕΟ]</a> .....	27
<a href="#">Σχήμα 1.4 Διαμόρφωση QPSK[WIKI]</a> .....	31
<a href="#">Σχήμα 1.5 Εξέλιξη των δικτύων [OKT]</a> .....	35
<a href="#">Σχήμα 1.6 Εξέλιξη των δικτύων μετά τη δεύτερη γενιά [ΣΤΡΑ]</a> .....	37
<a href="#">Σχήμα 1.7 Είδη κυψελών [ΣΤΡΑ]</a> .....	40
<a href="#">Σχήμα 1.8 Εξέλιξη δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς σε LTE [FRI]</a> .....	43
<a href="#">Σχήμα 1.9 Λειτουργία WiMax[FRE]</a> .....	44
<a href="#">Σχήμα 1.10 Χρήση πολλαπλών φερόντων στο LTE-Advanced [ROH]</a> .....	48
<a href="#">Σχήμα 2.1 Λογότυπο του μοντέλου WINNER [WIN1]</a> .....	51
<a href="#">Σχήμα 2.3 Σχήμα μητροπολιτικού δικτύου [FRI]</a> .....	55
<a href="#">Σχήμα 2.4 Διαφορετικά είδη τερματικών με πρόσβαση στο διαδίκτυο [TGI]</a> .....	57
<a href="#">Σχήμα 2.5 Μηχανισμός διατομής εντός κυψέλης [ART]</a> .....	61
<a href="#">Σχήμα 2.6 Είδη τερματικών και υπηρεσίες [ITU]</a> .....	64
<a href="#">Σχήμα 3.1 Σημεία τοποθέτησης hotspot σε όροφο [ITU]</a> .....	71
<a href="#">Σχήμα 3.2 Παράδειγμα σύνδεσης σε hotspot [MIK]</a> .....	72
<a href="#">Σχήμα 3.3 Μικροκυψέλες σε αστική περιοχή[AMP]</a> .....	76
<a href="#">Σχήμα 3.4 Αποστάσεις διάταξης τύπου Manhattan</a> .....	78
<a href="#">Σχήμα 3.5 Διαφορετικά είδη κυψελών σε αστικό περιβάλλον [HAR]</a> .....	80
<a href="#">Σχήμα 3.6 Είδη περιβαλλόντων με διαφορετικά είδη κυψελών</a> .....	84
<a href="#">Σχήμα 3.7 Είδη κυψελών σε περιβάλλοντα [ENG]</a> .....	87
<a href="#">Σχήμα 4.1 Μοντέλο καναλιού [ITU1]</a> .....	92
<a href="#">Σχήμα 4.3 Εξάρτηση συντελεστή ετεροσυσχέτισης με την απόσταση [WIN1]</a> .....	95
<a href="#">Σχήμα 4.4 Αποστάσεις για μη γραμμικές περιγραφές [ITU1]</a> .....	102
<a href="#">Σχήμα 4.5 Προσομοιώσεις στο επίπεδο συστήματος [WIN3]</a> .....	109
<a href="#">Σχήμα 4.6 Μονή ζεύξη</a> .....	110
<a href="#">Σχήμα 4.9 Αναπαράσταση των γωνιών άφιξης και αναχώρησης και της καθυστέρησης στο σενάριο A1</a> .....	122
<a href="#">Σχήμα 4.10 Διάταξη σεναρίου A1[WIN1]</a> .....	149
<a href="#">Σχήμα 5.1 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο A1 σενάριο</a> .....	176
<a href="#">Σχήμα 5.2 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο A1 σενάριο με λογαριθμοκανονική κλίμακα</a> .....	176
<a href="#">Σχήμα 5.3 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B1</a> .....	177
<a href="#">Σχήμα 5.4 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B1</a> .....	178
<a href="#">Σχήμα 5.5 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B3</a> .....	179
<a href="#">Σχήμα 5.6 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B3 Λογαριθμοκανονική κλίμακα</a> .....	179
<a href="#">Σχήμα 5.7 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια B1 και B3</a> .....	180
<a href="#">Σχήμα 5.8 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια B1 και B3 για απόσταση 100m</a> .....	181
<a href="#">Σχήμα 5.9 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια B1 και B3 Λογαριθμοκανονική κλίμακα στα 100m</a> .....	181
<a href="#">Σχήμα 5.10 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια A1 και B3</a> .....	182
<a href="#">Σχήμα 5.11 Πιθανότητα οπτικής επαφής λογαριθμοκανονική στα σενάρια A1 και B3</a> .....	183
<a href="#">Σχήμα 5.12 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια C1 και C2</a> .....	184
<a href="#">Σχήμα 5.13 Λογαριθμοκανονική Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια C1 και C2</a> .....	184
<a href="#">Σχήμα 5.14 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο D1</a> .....	185
<a href="#">Σχήμα 5.15 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο D1</a> .....	186
<a href="#">Σχήμα 5.16 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	187
<a href="#">Σχήμα 5.17 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν δεν παρεμβάλλεται κανένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	188
<a href="#">Σχήμα 5.18 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 3 τοίχοι και κανένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	189
<a href="#">Σχήμα 5.19 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 5 τοίχοι και κανένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	190
<a href="#">Σχήμα 5.20 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 5 τοίχοι και ένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	190
<a href="#">Σχήμα 5.21 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 5 τοίχοι και τρεις όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	191
<a href="#">Σχήμα 5.22 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν</a> .....	

<a href="#">παρεμβάλλεται 1 γοντρός τοίχος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	192
<a href="#">Σχήμα 5.23 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 γοντρός τοίχος και ένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	192
<a href="#">Σχήμα 5.24 Σύγκριση απωλειών διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 γοντρός τοίχος και 5 τοίχοι και ένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο</a> .....	193
<a href="#">Σχήμα 5.25 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 τοίχος Δωμάτιο-Δωμάτιο</a> .....	194
<a href="#">Σχήμα 5.26 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 2 τοίχοι και ένας όροφος Δωμάτιο-Δωμάτιο</a> .....	194
<a href="#">Σχήμα 5.27 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	195
<a href="#">Σχήμα 5.28 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	196
<a href="#">Σχήμα 5.29 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής</a> .....	197
<a href="#">Σχήμα 5.30 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής</a> .....	197
<a href="#">Σχήμα 5.31 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B3 για συνθήκες οπτικής και μη οπτικής επαφής</a> .....	198
<a href="#">Σχήμα 5.32 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	199
<a href="#">Σχήμα 5.33 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	200
<a href="#">Σχήμα 5.34 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής</a> .....	201
<a href="#">Σχήμα 5.35 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C2 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	202
<a href="#">Σχήμα 5.36 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C2 για συνθήκες οπτικής επαφής <math>10 &lt; d &lt; 32.5</math></a> .....	202
<a href="#">Σχήμα 5.37 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C2 για συνθήκες μη οπτικής επαφής</a> .....	203
<a href="#">Σχήμα 5.38 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον D1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	204
<a href="#">Σχήμα 5.39 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον D1 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	205
<a href="#">Σχήμα 5.40 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον D1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής</a> .....	205
<a href="#">Σχήμα 5.41 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1, C1, C2 για συνθήκες οπτικής επαφής</a> .....	206
<a href="#">Σχήμα 5.42 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1, C1, C2 για συνθήκες μη οπτικής επαφής</a> .....	207

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

<a href="#">Πίνακας 1.1 Προδιαγραφές ITU[ITU2]</a> .....	46
<a href="#">Πίνακας 1.2 Είδη διαπομπής και χρόνοι διακοπής υπηρεσίας[ITU2]</a> .....	47
<a href="#">Πίνακας 4.1 Παράμετροι σεναρίων [WIN1]</a> .....	92
<a href="#">Πίνακας 4.2 Υπολογισμός πιθανότητας να βρισκόμαστε σε οπτική επαφή συναρτήσει της απόστασης d ανάλογα με το σενάριο [WIN1]</a> .....	93
<a href="#">Πίνακας 4.3 Μοντέλα απωλειών διάδοσης [WIN1]</a> .....	95
<a href="#">Πίνακας 4.4 Υπολογισμός σταθεράς C από αριθμό συστάδων [ITU1]</a> .....	99
<a href="#">Πίνακας 4.5 Γωνίες <math>a_m</math> εντός συστάδας για 1 rms εύρος γωνίας αφίξης [ITU1]</a> .....	100
<a href="#">Πίνακας 4.6 Παράμετροι για τις υποσυστάδες [ITU1]</a> .....	102
<a href="#">Πίνακας 4.7 Παράμετροι εσωτερικού περιβάλλοντος σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο A1 [WIN1]</a> .....	103
<a href="#">Πίνακας 4.8 Παράμετροι εσωτερικού περιβάλλοντος σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο A1 [WIN1]</a> .....	104
<a href="#">Πίνακας 4.9 Παράμετροι κατά τη μεταφορά από εσωτερικό σε εξωτερικό περιβάλλον, σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο A2/B4 [WIN1]</a> .....	104
<a href="#">Πίνακας 4.10 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο B1 [WIN1]</a> .....	105
<a href="#">Πίνακας 4.11 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο B1 [WIN1]</a> .....	105
<a href="#">Πίνακας 4.12 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο B2 [WIN1]</a> .....	106
<a href="#">Πίνακας 4.13 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο B3 [WIN1]</a> .....	106
<a href="#">Πίνακας 4.14 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο B3 [WIN1]</a> .....	107
<a href="#">Πίνακας 4.15 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο C1 [WIN1]</a> .....	107
<a href="#">Πίνακας 4.16 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C1 [WIN1]</a> .....	108
<a href="#">Πίνακας 4.17 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο C2 [WIN1]</a> .....	108
<a href="#">Πίνακας 4.18 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C2 [WIN1]</a> .....	108
<a href="#">Πίνακας 4.19 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C3 [WIN1]</a> .....	110
<a href="#">Πίνακας 4.20 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C4 [WIN1]</a> .....	111
<a href="#">Πίνακας 4.21 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο D1 [WIN1]</a> .....	111
<a href="#">Πίνακας 4.22 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο D1 [WIN1]</a> .....	112
<a href="#">Πίνακας 4.23 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο D2a</a> .....	112
<a href="#">Πίνακας 4.24 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης από οροφή σε οροφή. Σενάριο B5a [WIN1]</a> .....	113
<a href="#">Πίνακας 4.25 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης στο επίπεδο του δρόμου με απώλειες διάδοσης μικρότερες των 85dB. Σενάριο B5b [WIN1]</a> .....	113
<a href="#">Πίνακας 4.26 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης στο επίπεδο του δρόμου με απώλειες διάδοσης μικρότερες των 110dB και μεγαλύτερες από 85dB. Σενάριο B5b [WIN1]</a> .....	114
<a href="#">Πίνακας 4.27 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης στο επίπεδο του δρόμου με απώλειες διάδοσης μεγαλύτερες των 110dB. Σενάριο B5b [WIN1]</a> .....	115
<a href="#">Πίνακας 4.28 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης με οπτική επαφή. Σενάριο B5c [WIN1]</a> .....	116
<a href="#">Πίνακας 4.29 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης χωρίς οπτική επαφή από οροφή σε οροφή. Σενάριο B5f [WIN1]</a> .....	116

## *ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ*

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ABR	Average Bit Rate
ACK	Acknowledgement
ACS	Array Coordinate System
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ARQ	Automatic Repeat Request
ASA	Angle Spread of Arrival (AoA spread)
ASD	Angle Spread of Departure (AoD spread)
BPSK	Binary phase-shift keying
BS	Base Station
CAS	Circular Angle Spread
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
DCA	Dynamic Channel Allocation
DS	Delay Spread
DSL	Digital subscriber line
EADF	Effective Aperture Density Function
ECS	Element Coordinate System
E-DCH	Enhanced-Dedicated Channel
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
FCA	Fixed Channel Allocation
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
FP	Field Pattern
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HCA	Hybrid Channel Allocation
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access

HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMT	International Mobile Telecommunications
InH	Indoor Hotspot
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol television
IS	Interim Standard
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
LOS	Line Of Sight
MAC	Media Access Control
MAHO	Mobile Assisted Hand-Off
MCHO	Mobile Controlled Hand-Off
MIMO	multiple-input and multiple-output
MMS	Multimedia Messaging Service
NACK	Negative acknowledge
NCHO	Network Controlled Hand-Off
NLOS	Non Line Of Sight
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection model
PDC	Personal Digital Cellular
PHY	Physical Layer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase-shift Keying
RMa	Rural Macro
RRC	Radio Resource Control
SMa	Suburban Macro
SDMA	Space Division Multiple Access
SF	Shadow Fading
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TTI	Transmission Time Interval
UBR	Unspecified Bit Rate

UCA	Uniform Circular Array
ULA	Uniform Linear Arrays
UMa	Urban Macro
UMi	Urban Micro
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UT	User Terminal
VoIP	Voice over Internet Protocol
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMaX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WINNER	Wireless World Initiative New Radio
XPD	Cross Polarization Discrimination
XPR	Cross-Polarisation Power Ratio

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Εισαγωγή

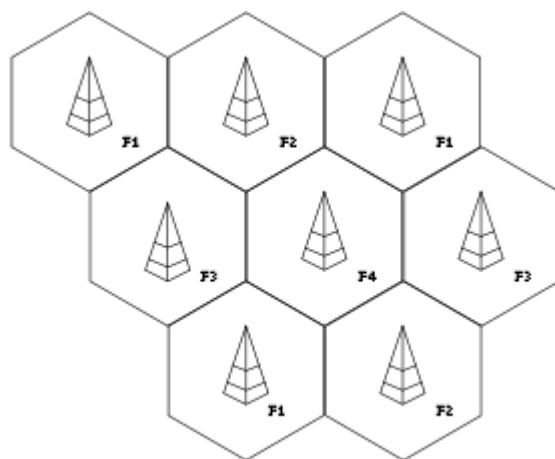
Οι αυξημένες ανάγκες για επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων έχουν οδηγήσει σε ευρεία χρήση των ασύρματων δικτύων. Τα ασύρματα δίκτυα προσφέρουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Παράλληλα προσφέρουν ευκολία και χαμηλό κόστος στην υλοποίηση. Το μεγάλο πλεονέκτημα τους σε σχέση με τα ενσύρματα δίκτυα είναι ότι παρέχουν μεγάλη χωρική κάλυψη. Οι χρήστες πλέον βρίσκονται σε κίνηση είτε χαμηλή είτε υψηλή και οι υπηρεσίες που τους παρέχονται πρέπει να παραμένουν συνεχείς. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα που βασίζονται σε κυψελωτή δομή. Στη συνέχεια γίνεται μια ιστορική αναδρομή με τα χαρακτηριστικά των δικτύων πρώτης, δεύτερης και τρίτης γενιάς. Γίνεται αναφορά στα προβλήματα που αντιμετώπισε η κάθε γενιά και στον τρόπο μετάβασης από τη μία γενιά στην άλλη. Παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων νέας γενιάς και αποδεκτές μετρήσεις για αυτά μετρημένες σε συγκεκριμένο σύστημα κεραιών. Τέλος, περιγράφονται τα δύο συστήματα που θεωρούνται αντιπρόσωποι των δικτύων νέας γενιάς, αφού τα χαρακτηριστικά τους συμφωνούν με αυτά που επέβαλε η Διεθνής Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunication Union).

## 1.2 Γενικά χαρακτηριστικά κυψελωτών δικτύων

Τα πρώτα ασύρματα δίκτυα αντιμετώπισαν προβλήματα που αφορούσαν την περιοχή ραδιοκάλυψης και την κατανομή του φάσματος. Η περιοχή ραδιοκάλυψης περιοριζόταν από τη φύση της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο χώρο, ενώ η κατανομή του ραδιοφάσματος δε γινόταν με τον πλέον αποδοτικό τρόπο λόγω των υψηλών συχνοτήτων που χρησιμοποιούσαν τα πρώτα ασύρματα δίκτυα. Η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων οδήγησε στη δημιουργία των κυψελωτών τοπολογιών δικτύων. Τα κυψελωτά δίκτυα άρχισαν να αναπτύσσονται στα μέσα της δεκαετίας του '70. Από την αρχή της εμφάνισης τους βελτιώνονται συνεχώς για να καλύψουν τις εκάστοτε ανάγκες των χρηστών.

Στα κυψελωτά δίκτυα η κάλυψη της γεωγραφικής περιοχής γίνεται με τη

διαίρεση της περιοχής αυτής σε υποπεριοχές που ονομάστηκαν κυψέλες. Κάθε κυψέλη περιέχει ένα κόμβο που λειτουργεί ως πομπός και δέκτης ταυτόχρονα. Κάθε κόμβος χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα από το γειτονικό του. Έτσι με τη μετακίνηση του χρήστη γίνεται αυτόματη μετάβαση από τη μια κυψέλη στην άλλη και επομένως γίνεται μεταβίβαση σε νέα συχνότητα. Με τη μετακίνηση του χρήστη γίνεται μεταγωγή του χρήστη από το ένα κανάλι στο άλλο. Το σήμα πρέπει να έχει επαρκώς μικρή ισχύ ώστε να καλύπτει μόνο το εμβαδό της συγκεκριμένης κυψέλης. Για το λόγο αυτό και για την καλύτερη χρησιμοποίηση του φάσματος [KAN] γίνεται επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων από κόμβους που απέχουν αρκετά μεταξύ τους. Η τεχνική επαναχρησιμοποίησης συχνότητας φαίνεται στο σχήμα 1.1.



**ΣΧΗΜΑ 1.1 Σχήμα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων [WIKI]**

Γενικά, τα κυψελωτά συστήματα θα πρέπει να καλύπτουν μεγάλο αριθμό χρηστών. Αυτό γίνεται με την ύπαρξη πολλών κυψελών, ενώ παράλληλα συνδυάζεται με αποδοτική κατανομή του φάσματος. Τα συστήματα αυτά θα πρέπει να προσαρμόζονται στην τηλεπικοινωνιακή κίνηση και να παρέχουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος. Οι δύο βασικές λειτουργίες που πρέπει να επιτελούνται από ένα κυψελωτό σύστημα είναι ο εντοπισμός και η παρακολούθηση των σταθμών βάσης ώστε να πραγματοποιείται σύνδεση με το βέλτιστο σταθμό βάσης.

Τα τερματικά που χρησιμοποιήθηκαν είχαν μεγάλη ποικιλία. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους ήταν το μέγεθος, το βάρος και η κατανάλωση ισχύος. Η μεγάλη διασπορά των τερματικών προκάλεσε αρχικά την εντύπωση πως θα έπρεπε κάθε



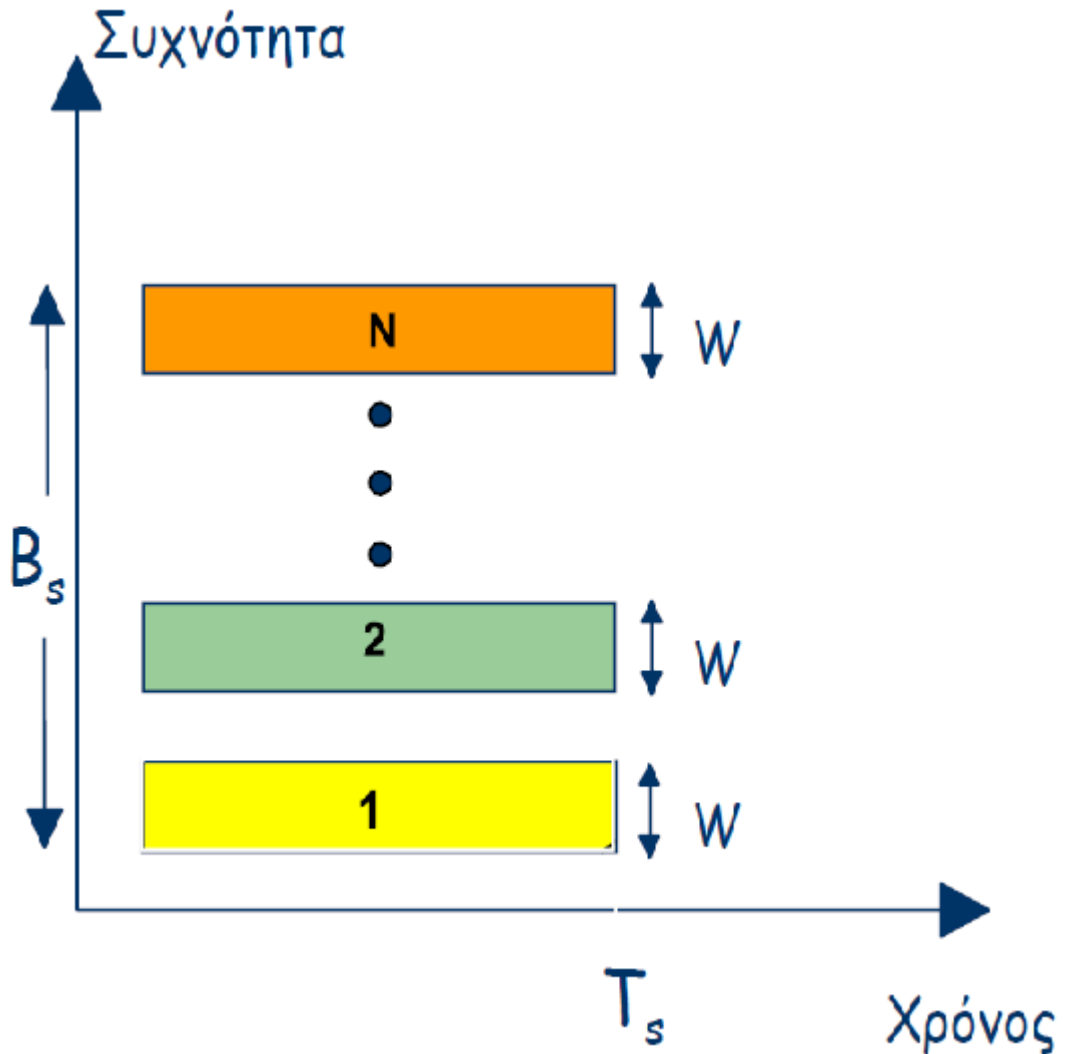
σταθμός βάσης να έχει μεγάλη ραδιοκάλυψη. Για το λόγο αυτό οι σταθμοί βάσης τοποθετούνταν σε πολύ υψηλά σημεία (λόφοι και υψηλά κτίρια). Η εξέλιξη των δικτύων όμως κατέδειξε πως η χωρητικότητα των συστημάτων ήταν πιο σημαντική και αυτή μπορούσε να βελτιωθεί με τη χρήση μικρότερων κυψελών.

Τέλος, οι σταθμοί βάσης ήταν αρχικά πολύ ακριβοί. Το μέγεθος τους ήταν τέτοιο που έκανε δύσκολη την εγκατάστασή τους σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Το μεγάλο κόστος τους οδήγησε στην ανάγκη να μειωθεί ο αριθμός των ακριβών βάσεων και η υλοποίηση να γίνει με πιο φτηνό τρόπο. Τα θέματα λοιπόν που αντιμετώπιζαν αλλά και συνεχίζουν να αντιμετωπίζουν τα κυψελωτά δίκτυα είναι η ικανοποίηση μεγάλου αριθμού χρηστών με όσο το δυνατόν λιγότερη κατανάλωση ισχύος και όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος.

### ***1.2.1 Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης***

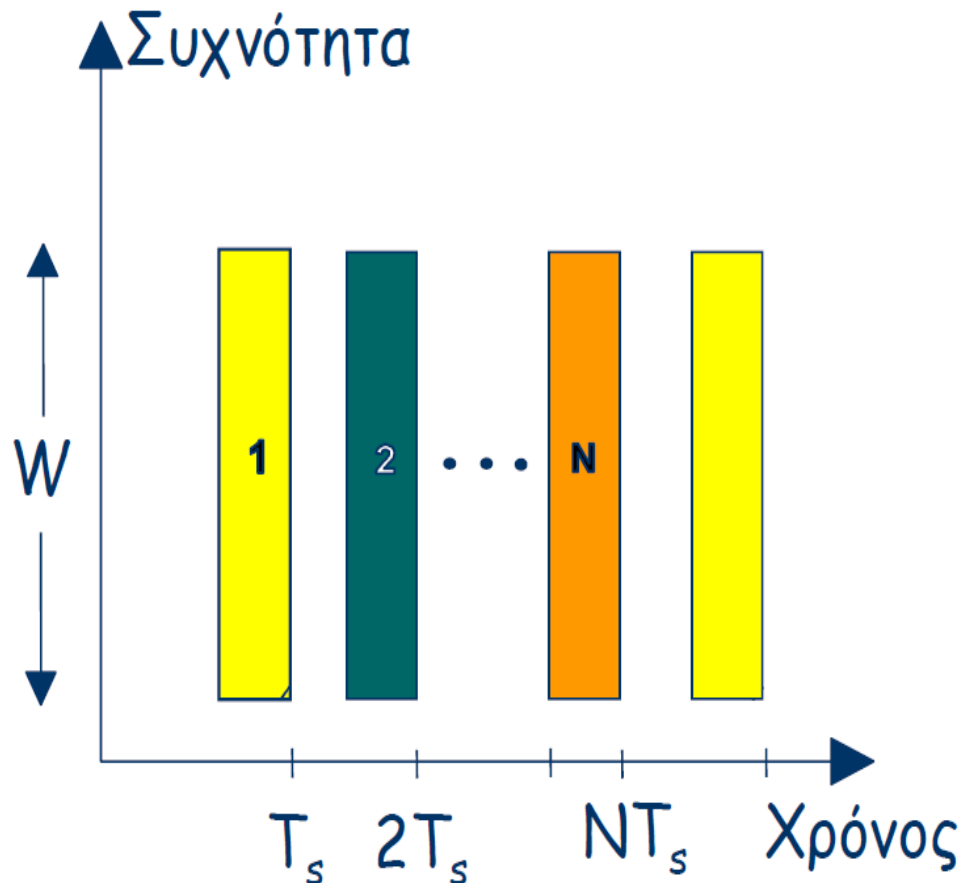
Σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα πολλοί κόμβοι μοιράζονται το ίδιο κανάλι. Σε περίπτωση που δύο ή περισσότεροι κόμβοι θέλουν να μεταδώσουν δεδομένα ταυτόχρονα θα υπάρξει σύγκρουση. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης επιτρέπουν το διαμοιρασμό του καναλιού ώστε να χρησιμοποιήσουν όλοι οι κόμβοι το φάσμα όσο πιο αποδοτικά γίνεται, χωρίς να υπάρχει παραμόρφωση των σημάτων λόγω συγκρούσεων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητών επικοινωνιών είναι:

- Πολλλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας (FDMA): Στην τεχνική αυτή εκχωρείται μία συχνότητα σε κάθε χρήστη όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Το εύρος ζώνης των διαύλων είναι μικρό, της τάξης των 30KHz και έτσι η τεχνική δεν είναι αποδοτική για δίκτυα ευρείας ζώνης [ΘΕΟ]. Η απόδοση φάσματος είναι χαμηλή και η τεχνική αυτή δεν ενδείκνυται για υπηρεσίες πολυμέσων λόγω της μειωμένης χωρητικότητας [ΘΕΟ]. Σε αυτό το πρωτόκολλο πρόσβασης χρησιμοποιείται αναλογική διαμόρφωση FM. Για την αποφυγή παρεμβολών θα πρέπει να υπάρχουν ζώνες προστασίας [ΣΤΡΑ]. Πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι το χαμηλό κόστος και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των φορητών συσκευών [ΚΑΝ] καθώς και το γεγονός ότι δεν απαιτείται χρονισμός.



**ΣΧΗΜΑ 1.2 Λειτουργία FDMA [ΘΕΟ]**

- Πολλλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου (TDMA): Στην τεχνική αυτή κάθε πλαίσιο διαιρείται σε χρονοσχισμές. Στο χρήστη εκχωρείται μια χρονοσχισμή μέχρι το πέρας της επικοινωνίας του. Λόγω της χρήσης των χρονοσχισμών απαιτείται συγχρονισμός των μεταδόσεων [ΚΑΝ]. Χρησιμοποιείται ψηφιακή διαμόρφωση και έτσι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ψηφιακές συσκευές [ΘΕΟ]. Σε σχέση με την FDMA τεχνική ο ρυθμός μετάδοσης είναι υψηλός αλλά η διάρκεια συμβόλου μικρή [ΘΕΟ]. Η εκχώρηση των χρονοσχισμών γίνεται ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. [ΣΤΡΑ] Έτσι γίνεται αποδοτική και δυναμική εκχώρηση του φάσματος. Το σχήμα 1.3 δείχνει την εκχώρηση των χρονοσχισμών κατά τη λειτουργία του πρωτοκόλλου.



**ΣΧΗΜΑ 1.3 Λειτουργία TDMA[ΘΕΟ]**

- Πολλλαπλή πρόσβαση Διάρεσης Χώρου (SDMA): Στην τεχνική αυτή η εξυπηρέτηση των χρηστών γίνεται με χρήση κεραιών σημειακής δέσμης [ΘΕΟ]. Η διαίρεση του χώρου γίνεται σύμφωνα με αυτές τις δέσμες [KAN]. Είναι σημαντικό να διατηρούνται οι παρεμβολές λόγω πλευρικών λοβών αμελητέες [ΣΤΡΑ]. Έτσι, το ίδιο κανάλι μπορεί να χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες.
- Πολλλαπλή Πρόσβαση Διάρεσης Κώδικα (CDMA): Στην τεχνική αυτή όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το ίδιο φέρον και έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης [ΘΕΟ]. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται για μετάδοση φωνής, αφού η κάθε συνομιλία μεταξύ των χρηστών κωδικοποιείται με μοναδικό τρόπο [ΘΕΟ]. Το σήμα διαμορφώνεται από μια κωδική ακολουθία, γνωστή στον αποστολέα και τον δέκτη. Με την αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται η αποδιαμόρφωση στο δέκτη [ΘΕΟ]. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής πολλαπλής

πρόσβασης είναι η ταυτόχρονη επικοινωνία χρηστών στην ίδια περιοχή συχνοτήτων [ΣΤΡΑ]. Υπάρχουν πολλά είδη πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα:

- CDMA ευθείας ακολουθίας: Το σήμα πολλαπλασιάζεται απευθείας με το σήμα κωδικοποίησης και το προκύπτον σήμα διαμορφώνει το φέρον [ΘΕΟ].
- CDMA με μεταπήδηση συχνότητας: Η συχνότητα του φέροντος αλλάζει περιοδικά μέσω ενός ταλαντωτή [ΘΕΟ].
- CDMA με μεταπήδηση χρόνου: Σε κάθε χρήστη εκχωρείται μια ακολουθία κωδικών, η οποία καθορίζει τα χρονικά διαστήματα που μεταδίδονται τα σήματα [ΘΕΟ].

Η εξέλιξη του CDMA, ή όπως λέγεται WCDMA δηλαδή CDMA ευρείας ζώνης, χρησιμοποιήθηκε ευρέως στα δίκτυα νέας γενιάς.

### ***1.2.2 Τύποι διαύλων επικοινωνιών***

Στα ασύρματα συστήματα έχουμε δύο διαύλους από το σταθμό βάσης στο χρήστη και αντίστροφα. Χωρίζονται σε simplex όπου η επικοινωνία είναι δυνατή μόνο στη μία κατεύθυνση, half-duplex όπου η επικοινωνία είναι αμφίδρομη αλλά όχι ταυτόχρονη και full-duplex όπου η επικοινωνία είναι αμφίδρομη και ταυτόχρονη [KAN]. Τα συστήματα είναι δύο τύπων :

- Σύστημα Frequency Division Duplex FDD: Οι δύο διάυλοι χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα, ενώ χρησιμοποιείται η ίδια κεραία για εκπομπή και λήψη [KAN]. Θα πρέπει οι δύο διάυλοι να έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται να έχουν στενή ζώνη διέλευσης [KAN]. Προτιμούνται σε συστήματα όπου θέλουμε μεγάλη γεωγραφική κάλυψη με υψηλή ισχύ εκπομπής [KAN]. Ενδείκνυται για συστήματα που παρέχουν χωριστές συχνότητες σε κάθε χρήστη [ΘΕΟ] και συμμετρική κίνηση [WIKI].
- Σύστημα Time Division Duplex TDD: Οι δύο διάυλοι χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αλλά γειτονικές χρονοσχισμές [KAN]. Σε αυτό το σύστημα δεν υπάρχει απαίτηση για στενά φίλτρα αλλά πρέπει να υπάρχει

συγχρονισμός [KAN]. Αυτό αποτελεί πλεονέκτημα στα συστήματα εντός κτιρίων αλλά μειονέκτημα για μεγάλα συστήματα όπου έχουμε σύνδεση σε διαφορετικά κεντρικά σημεία [ΘΕΟ]. Ο τύπος συστήματος TDD προτιμάται σε περιπτώσεις με περιορισμένο εύρος ζώνης και πυκνή δομή επαναχρησιμοποίησης [KAN]. Ενδείκνυται σε ασύμμετρες εκρηκτικές κινήσεις όπως η μετάδοση δεδομένων και το διαδίκτυο [WIKI].

### **1.2.3 Πρωτόκολλα κατανομής πόρων**

Ένα μεγάλο πρόβλημα των ασύρματων δικτύων είναι η έλλειψη φάσματος. Τα πρωτόκολλα κατανομής πόρων φροντίζουν την αποτελεσματική απόδοση των διαύλων. Τα είδη των πρωτοκόλλων που φροντίζουν την κατανομή του φάσματος είναι [ΘΕΟ]:

- Σταθερή κατανομή καναλιών FCA (Fixed Channel Allocation): Σε αυτή την τεχνική οι διαθέσιμοι δίαυλοι εκχωρούνται σε κυψέλες μόνιμα. Η εκτίμηση της κίνησης της κυψέλης είναι το κριτήριο για τον αριθμό των διαύλων που θα αποδοθούν. Η επίδοση αυτής της τεχνικής είναι πολύ ικανοποιητική σε προβλέψιμο περιβάλλον όπου έχουμε στατική και ομοιόμορφη κίνηση. Υπό άλλες συνθήκες, η απόδοση του φάσματος δεν είναι ικανοποιητική αφού λόγω της έλλειψης ευελιξίας δεν μπορεί να εξυπηρετήσει εκρηκτική κίνηση.
- Δυναμική κατανομή καναλιών DCA (Dynamic Channel Allocation): Σε αυτή την τεχνική οι διαθέσιμοι δίαυλοι εκχωρούνται δυναμικά. Όλοι οι δίαυλοι είναι διαθέσιμοι για να εξυπηρετήσουν νέες κλήσεις. Η τεχνική αυτή μπορεί να αντιμετωπίσει εκρηκτικότητα κίνησης και το φάσμα κατανέμεται με αποδοτικό τρόπο. Το μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού.
- Υβριδική κατανομή καναλιών HCA (Hybrid Channel Allocation): Σε αυτή την τεχνική συνδυάζονται οι δύο παραπάνω τεχνικές με σκοπό την καλύτερη απόδοση. Οι δίαυλοι χωρίζονται σε δύο ομάδες, σε αυτούς που εκχωρούνται με σταθερό τρόπο και σε αυτούς που εκχωρούνται με δυναμικό τρόπο. Επομένως σε κάθε κυψέλη εκχωρείται ένας σταθερός αριθμός διαύλων αλλά σε περίπτωση εκρηκτικότητας και απρόβλεπτης κίνησης υπάρχουν διαθέσιμοι δίαυλοι που θα αποδοθούν δυναμικά σε

αυτή.

### **1.2.4 Τεχνικές Μεταπομπής**

Είναι πιθανό οι κινητοί σταθμοί να έχουν κλήση σε εξέλιξη ενώ διασχίζουν τα όρια μιας κυψέλης. Γι'αυτό είναι αναγκαίο να υπάρχουν αλγόριθμοι με τους οποίους η εξυπηρέτηση του κινητού σταθμού να περνάει σε άλλο σταθμό βάσης. Η διαδικασία αυτή λέγεται μεταπομπή και πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην γίνεται αντιληπτή η μετάβαση από το χρήστη αλλά και να μην υπάρχει ομοδιαυλική παρεμβολή ή παρεμβολή με άλλους σταθμούς. Η μεταγωγή από τη μια κυψέλη στην άλλη ορίζεται σαν ο χρόνος που ο χρήστης δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από κανένα σταθμό βάσης. Επομένως, ο χρόνος αυτός που μεσολαβεί θα πρέπει να είναι πολύ μικρός ώστε η υπηρεσία να μη διακόπτεται και να διατηρείται η ποιότητα παροχής υπηρεσιών πολύ υψηλή.

Οι κυριότεροι αλγόριθμοι μεταπομπής [KAN] είναι:

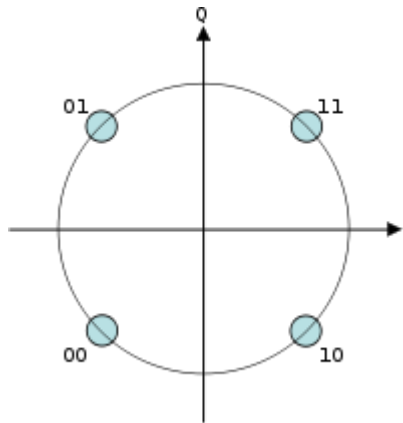
- Αλγόριθμος μεταπομπής με έλεγχο από το δίκτυο (Network Controlled Hand-Off NCHO) : Σε αυτή την τεχνική οι σταθμοί βάσης που ανήκουν σε ένα κέντρο μεταγωγής ελέγχουν την ποιότητα της ζεύξης. Ο σταθμός διαθέτει δύο δέκτες που υπολογίζουν το επίπεδο ισχύος του διαύλου επικοινωνίας. Ο πρώτος προσδιορίζει τη σχετική θέση των χρηστών ως προς το δίαυλο επικοινωνίας και ο εφεδρικός καταγράφει το επίπεδο ισχύος σε γειτονικές κυψέλες και προωθεί την αξιολόγηση των ζεύξεων στο κέντρο μεταγωγής. Οι μεταπομπές διαρκούν μερικά δευτερόλεπτα.
- Αλγόριθμος μεταπομπής με υποβοήθεια από κινητό σταθμό (Mobile Assisted Hand-Off MAHO): Σε αυτή την τεχνική η αξιολόγηση της ζεύξης με τον εξυπηρετούμενο σταθμό γίνεται από τον ίδιο το σταθμό και από τον κινητό σταθμό, ενώ η αξιολόγηση των ζεύξεων με εναλλακτικούς σταθμούς γίνεται από τον κινητό σταθμό. Ο κινητός σταθμός με τη βοήθεια του κέντρου μεταγωγής αποφασίζει την έναρξη της μεταπομπής. Οι παρεμβολές διαρκούν το πολύ 2 sec.
- Αλγόριθμος μεταπομπής με έλεγχο από τον κινητό σταθμό (Mobile Controlled Hand-Off MCHO): Σε αυτή την τεχνική η αξιολόγηση των εναλλακτικών ζεύξεων γίνεται από τον κινητό σταθμό ενώ η ζεύξη με τον εξυπηρετούμενο σταθμό αξιολογείται και από τον εξυπηρετούμενο σταθμό

και από τον κινητό. Η αξιολόγηση στέλνεται από τον σταθμό βάσης στον κινητό σταθμό. Ο κινητός σταθμός είναι αυτός που τελικά παίρνει την απόφαση για τη μεταπομπή. Η διάρκεια των μεταγωγών είναι περίπου 100msec.

### 1.2.5 Διαμόρφωση

Τα είδη διαμόρφωσης είναι πάρα πολλά. Στα κυψελωτά συστήματα που μελετάμε οι πιο συνηθισμένες διαμορφώσεις είναι οι QPSK και QAM.

- QPSK : Η διαμόρφωση QPSK είναι μια διαμόρφωση φάσης. Η φάση του φέροντος διαμορφώνεται για την κωδικοποίηση δυαδικών ψηφίων. Έχουμε 4 γωνίες διαμόρφωσης  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  και  $315^\circ$  και επομένως έχουμε 4 συνδυασμούς ψηφίων που κωδικοποιούνται 00, 01, 11, και 10 αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5



**ΣΧΗΜΑ 1.4 Διαμόρφωση QPSK[WIKI]**

Η φάση του φέροντος λοιπόν εναλλάσσεται μεταξύ των τιμών που αναφέραμε που απέχουν  $90^\circ$  μεταξύ τους. [ΘΕΟ]

- QAM: Η διαμόρφωση QAM είναι διαμόρφωση πλάτους και φάσης. Χρησιμοποιείται ευρέως στις ψηφιακές επικοινωνίες. Δύο σήματα διαμορφώνονται από δύο φέροντα που διαφέρουν κατά  $90^\circ$  μεταξύ τους. Οι συνηθέστερες μορφές της διαμόρφωσης είναι 16QAM, 64QAM, 128QAM και 256QAM. Η υψηλότερης τάξης κωδικοποίηση φέρει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης αλλά και μεγαλύτερους

ρυθμούς σφάλματος. Το σύστημα λοιπόν γίνεται λιγότερο αξιόπιστο αφού είναι πιο ευαίσθητο στο θόρυβο. [WIKI]

## **1.2.6 Κύρια χαρακτηριστικά κυψελωτών δικτύων**

### **1.2.6.1 Φασματική απόδοση κυψέλης**

Η φασματική απόδοση κυψέλης είναι το πηλίκο της μεταφερόμενης κίνησης σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο προς την περίοδο αυτή προς το εύρος ζώνης του καναλιού για κάθε κυψέλη. Η μεταφερόμενη κίνηση μετριέται με τον αριθμό των bits που μεταφέρονται από και προς το χρήστη. Το εύρος ζώνης εδώ είναι κανονικοποιημένο προς το λόγο κάτω ζεύξης προς άνω ζεύξης. Ακόμη, για τον υπολογισμό του εύρους ζώνης υπολογίζεται και ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Η μονάδα μέτρησης της φασματικής απόδοσης είναι bits/sec/Hz/cell. Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο [ITU2]:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^N \chi_i}{T \cdot B \cdot M} \quad (1.1)$$

όπου  $\chi_i$ : είναι ο αριθμός των bits που έχουν μεταφερθεί

N: ο αριθμός των χρηστών

M: ο αριθμός των κυψελών που χρησιμοποιεί το σύστημα

T: ο χρόνος που χρειάστηκε για να μεταφερθούν τα bits

B: το εύρος ζώνης του συστήματος

### **1.2.6.2 Μέγιστη φασματική απόδοση**

Η μέγιστη φασματική απόδοση είναι ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων κανονικοποιημένος ως προς το εύρος ζώνης. Η μέτρηση αυτής της παραμέτρου γίνεται υπό συνθήκες πλήρους χρησιμοποίησης των πόρων του συστήματος. [ITU2]

### **1.2.6.3 Εύρος ζώνης**

Το εύρος ζώνης του συστήματος είναι το φάσμα συχνοτήτων που μπορεί να περάσει από ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα [ITU2]. Στα νέα κυψελωτά συστήματα



ορίζεται κλιμακωτά [ITU2]. Κάθε φέρον που χρησιμοποιείται έχει εύρος ζώνης μήκους 20 MHz [ITU2]. Τα φέροντα μπορούν να φτάσουν μέχρι τα 100 MHz [ITU2].

#### 1.2.6.4 Φασματική απόδοση στα όρια της κυψέλης

Η φασματική απόδοση στα όρια της κυψέλης καθορίζεται σαν το 5% της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής των χρηστών [ITU2]. Είναι τα κανονικοποιημένα μεταφερόμενα bits από και προς το χρήστη σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο προς την περίοδο αυτή προς το εύρος ζώνης που χρησιμοποιήθηκε [ITU2]. Όπως και προηγουμένως το εύρος ζώνης είναι κανονικοποιημένο ως προς το λόγο κάτω προς άνω ζεύξης [ITU2]. Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο [ITU2]:

$$\gamma_i = \frac{\chi_i}{T_i \cdot B} \quad (1.2)$$

όπου  $\chi_i$  είναι ο αριθμός των μεταφερόμενων bits από και προς το χρήστη  
 $T_i$  ο χρόνος της ενεργούς σύνδεσης του χρήστη και  
 $B$  το εύρος ζώνης.

#### 1.2.6.5 Κινητικότητα

Τα είδη κινητικότητας [ITU2] είναι:

- οι στατικοί χρήστες που μένουν ακίνητοι
- οι κινούμενοι χρήστες με χαμηλή ταχύτητα από 0 ως 10 km/h
- οι κινούμενοι με μέτρια ταχύτητα από 10 ως 120km/h και
- οι κινούμενοι χρήστες με υψηλή ταχύτητα από 120 ως 350 km/h.

#### 1.2.6.6 Χωρητικότητα VoIP

Τα πιο σημαντικά προβλήματα των VoIP δικτύων αφορά τον αριθμό ταυτόχρονων κλήσεων που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα δίκτυο και η εξυπηρέτηση χρηστών σε πραγματικούς χρόνους [ITU2]. Η χωρητικότητα VoIP αφορά την ελάχιστη χωρητικότητα για κάθε κατεύθυνση διαιρεμένη με το εύρος ζώνης [ITU2]. Υποθέτουμε πως η χωρητικότητα VoIP μετριέται όταν υπάρχει 50% πιθανότητα να είναι ενεργή η σύνδεση έτσι ώστε όταν έχουν μεταφερθεί σωστά λιγότερα από 98% των πακέτων προς αποστολή σε χρόνο 50msec, να υπάρχουν

λιγότεροι από 2% των χρηστών που ετοιμάζονται να εξυπηρετηθούν [ITU2].

### **1.2.6.7 Καθυστέρηση**

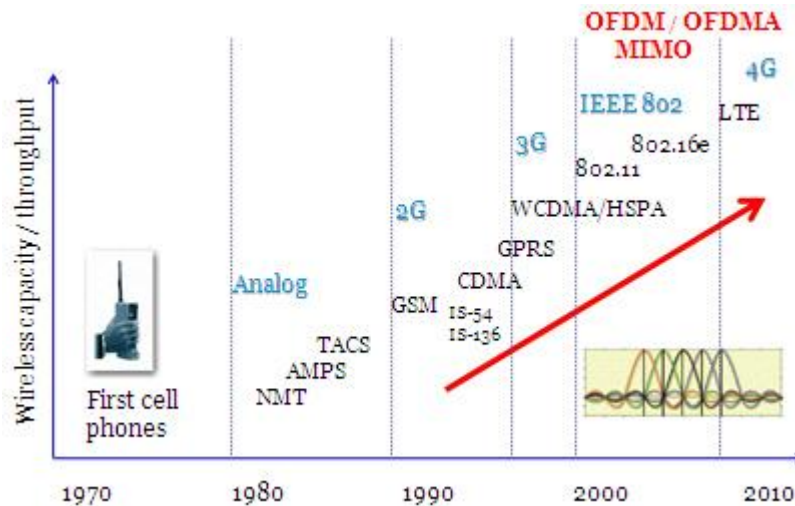
Οι καθυστερήσεις που εισάγονται είναι δύο ειδών [ITU2]:

- Καθυστερήσεις στο επίπεδο χρήστη: Σε αυτή την περίπτωση οι καθυστερήσεις οφείλονται στους χρόνους μεταφοράς από το χρήστη προς το σταθμό και αντίστροφα. Συγκεκριμένα είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που αρχίζει η αποστολή ενός πακέτου από το χρήστη ή από το σταθμό βάσης μέχρι τη στιγμή που αυτό θα είναι διαθέσιμο στο σταθμό βάσης ή στο χρήστη αντίστοιχα. Οι ανεκτοί χρόνοι για αυτό το μέγεθος είναι μικρότεροι από 10ms.
- Καθυστερήσεις στο επίπεδο ελέγχου: Σε αυτή την περίπτωση οι καθυστερήσεις που εισάγονται οφείλονται σε καθυστερήσεις των αλλαγών καταστάσεων, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την αλλαγή από ανενεργή σε ενεργή κατάσταση. Ανεκτός χρόνος είναι η καθυστέρηση στο επίπεδο ελέγχου να είναι μικρότερη από 100ms.

## **1.3 Εξέλιξη δικτύων**

### **1.3.1 Δίκτυα 1ης γενιάς**

Τα πρώτα κυψελωτά συστήματα εμφανίστηκαν το 1977 στις Η.Π.Α όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5. Ήταν αναλογικά κυψελωτά συστήματα και χρησιμοποιούσαν διαμόρφωση FM. Βασίστηκαν στο FDMA που προσφέρει διαφορετικές συχνότητες για κάθε επικοινωνία. Η ανάγκη για διαφορετικές συχνότητες ήταν και ο λόγος για τις μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Οι αποστάσεις στις συχνότητες εκπομπής και λήψης ήταν 45 MHz [KAN]. Η φασματική πυκνότητα ισχύος έπρεπε να ελέγχεται ώστε η ακτινοβολούμενη ισχύς σε γειτονικούς διαύλους να είναι από 60 ως 80dB χαμηλότερα από την επιθυμητή[KAN].



**Σχήμα 1.5 Εξέλιξη των δικτύων [OKT]**

Το σύστημα AMPS Advanced Mobile Phone System είναι το σύστημα 1<sup>ης</sup> γενιάς που χρησιμοποιήθηκε στην Αμερική. Χρησιμοποιούσε 800 MHz διαύλους στη ζώνη 824-849/869-894 με εύρος διαύλου τα 30 KHz [KAN]. Ο αλγόριθμος μεταπομπής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο NCHO στον οποίο υποστηρίζεται μόνο διακυψελική μεταπομπή και η ανανέωση της αξιολόγησης της ζεύξης δεν είναι τόσο συχνή.

### 1.3.1.1 Προβλήματα της πρώτης γενιάς δικτύων

Τα προβλήματα που υπήρχαν στην πρώτη γενιά δικτύων δημιούργησαν και την ανάγκη για στροφή στις ψηφιακές επικοινωνίες. Λόγω της χαμηλής ποιότητας υπηρεσιών οι χρήστες έδειχναν αδιαφορία για τις υπηρεσίες που προσέφεραν τα πρώτα δίκτυα. Το κόστος ήταν πολύ υψηλό σε σχέση με την απόδοση και ο εξοπλισμός αρκετά μεγάλος για μεταφορά. Τα διάφορα αναλογικά συστήματα αναπτύσσονταν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο με αποτέλεσμα να υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ τους. Τέλος, το φάσμα ήταν περιορισμένο. Αυτό σήμαινε μικρή χωρητικότητα αλλά και μη ικανοποιητική κατανομή φάσματος [KAN].

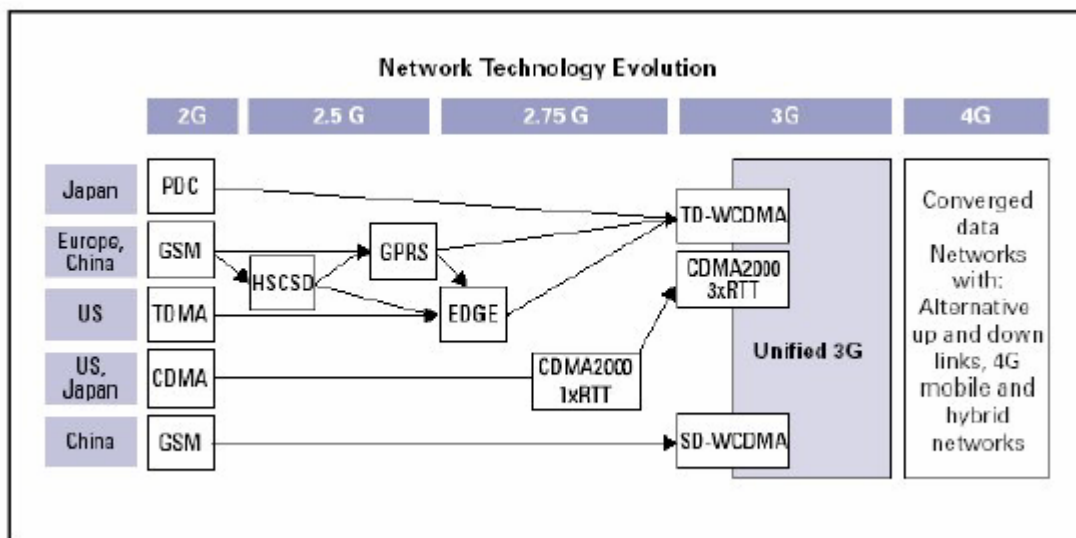
### 1.3.2 Δίκτυα 2<sup>ης</sup> Γενιάς

Τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς σκοπό είχαν να δώσουν λύση σε όλα εκείνα τα προβλήματα που αντιμετώπισε η πρώτη γενιά δικτύων. Στη δεύτερη γενιά εισάγονται

τα ψηφιακά συστήματα τα οποία εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα αναλογικά. Αρχικά μαζί με τη φωνή γινόταν δυνατή και η μετάδοση δεδομένων με τη μορφή σύντομων γραπτών μηνυμάτων. Η ποιότητα υπηρεσίας ήταν πιο υψηλή και η ζήτηση από τη μεριά των χρηστών αυξανόταν συνεχώς. Τα συστήματα αυτά έκαναν επεξεργασία σημάτων με τη χρήση αποτελεσματικών διαμορφώσεων και κωδικοποιήσεων. Η ασφάλεια βελτιώθηκε μέσω των μεθόδων κρυπτογράφησης αλλά και με τη χρήση κωδικών διόρθωσης σφαλμάτων. Το επίπεδο της κατανάλωσης ισχύος ήταν χαμηλότερο και η αντοχή στο θόρυβο υψηλότερη σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα [KAN]. Τα δίκτυα αυτά ήταν εύκολα επεκτάσιμα και υλοποιήσιμα με μικρότερο κόστος. Στηρίζονταν κυρίως στις τεχνικές TDMA. Τα κυριότερα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- GSM: Χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην Ευρώπη. Λειτουργεί στη ζώνη 890-915/935-960. Οι τεχνικές που χρησιμοποίησε ήταν TDMA και FDMA με FDD [KAN]. Η απόσταση φέροντος ήταν 200kHz με 124 κανάλια ανά φέρον [WIKI]. Κάθε φέρον είχε 8 διαύλους με διάρκεια χρονοσχιμής 0.577msec [KAN]. Οι ρυθμοί μετάδοσης για τη μετάδοση φωνής είναι 13kbps και για τη μετάδοση δεδομένων 9.6kbps [KAN]. Οι υπηρεσίες που προσφέρονταν στους χρήστες ήταν πολλές όπως αναγνώριση, εκτροπή, απόκρυψη, φραγή και ειδοποίηση κλήσεων [WIKI]. Ο αλγόριθμος μεταπομπής που χρησιμοποιούσε ήταν ο MAHO [KAN]. Μια τροποποίηση του συστήματος χρησιμοποιούσε τις ζώνες 1710-1785/1805-1880 [KAN]. Στη συνέχεια βγήκαν τα dual-band συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούσαν και τις δύο ζώνες ταυτόχρονα με μη αντιληπτή από τον χρήστη μεταγωγή από τη μία ζώνη στην άλλη [WIKI].
- IS-54, IS-136, IS-95: Χρησιμοποιήθηκαν στις ΗΠΑ. Το IS-54 χρησιμοποιούσε TDMA τεχνική και MAHO αλγόριθμους μεταπομπής [KAN]. Λειτουργούσε στη ζώνη 824-849/869-894 [KAN]. Σε αυτό χρησιμοποιήθηκαν 3 χρονοσχιμές ανά φέρον με απόσταση των φερόντων στα 30kHz [KAN]. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης ήταν 48.6kbps [KAN]. Το σύστημα υποστήριζε και ένα δίαυλο για το αναλογικό σύστημα με ρυθμό 10kbps [KAN]. Το IS-136 είναι η εξέλιξη αυτού του συστήματος που υποστηρίζει την αποστολή

γραπτών μηνυμάτων [KAN].



Σχήμα 1.6 Εξέλιξη των δικτύων μετά τη δεύτερη γενιά [ΣΤΡΑ]

- Το IS-95 δημιουργήθηκε αργότερα και χρησιμοποιούσε την τεχνική CDMA [KAN]. Λειτουργούσε στη ζώνη 824-849/869-894 και 1800-2000 [KAN]. Εδώ η απόσταση των φερόντων είναι 1250kHz [KAN]. Στο σύστημα αυτό οι αλγόριθμοι μεταπομπής γίνονται πιο επεικειές.
- PDC: Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε στην Ιαπωνία. Τα χαρακτηριστικά του είναι κοινά με το IS-54 με διαφορά στις ζώνες συχνοτήτων που εδώ είναι 810-830/940-960 και 1429-1453/1477-1501 [KAN]. Η απόσταση των φερόντων είναι 25kHz με τελικό ρυθμό μετάδοσης τα 42kbps [KAN].

### 1.3.2.1 Προβλήματα δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς

Η ευρεία χρήση των συστημάτων 2<sup>ης</sup> γενιάς οδήγησε στην ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και υψηλότερη χωρητικότητα. Για τη μετάβαση στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς οι απαιτούμενες αλλαγές είχαν υψηλό κόστος. Για τη διευκόλυνση στη μετάβαση δημιουργήθηκε μια ενδιάμεση γενιά, η μεταβατική φάση των 2.5G. Η μεγάλη αλλαγή σε σχέση με τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς είναι η χρήση της μεταγωγής πακέτου όπου έκανε δυνατή την αποστολή και λήψη δεδομένων με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες. Τα προηγούμενα δίκτυα χρησιμοποιούσαν τη μεταγωγή

κυκλώματος όπου οι πόροι δεσμεύονται από την αρχή χωρίς να υπολογίζεται η χρήση που κάνει ο εκάστοτε χρήστης. Η μεταγωγή πακέτου ήρθε για να αυξήσει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αλλά και τη χωρητικότητα του συστήματος. Οι νέες υπηρεσίες δεδομένων που δημιουργούνται είναι αποστολή email, μετάδοση εικόνας και βίντεο σε πραγματικούς χρόνους και η ανάγκη πρόσβασης στον παγκόσμιο ιστό από διάφορα είδη δικτύων.

### **1.3.2.2 Γενιά 2.5G**

Η πρώτη εξέλιξη των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς είναι η δημιουργία του GPRS (General Packet Radio Service). Ένα από τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη γενιά είναι το HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) που επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων είναι 14,4 Kbps ανά χρονοθυρίδα [WIKI]. Η χρέωση βασίζεται στον όγκο δεδομένων και όχι τόσο στο χρόνο σύνδεσης όπου ο χρήστης χρεώνεται ανά λεπτό σύνδεσης ενώ μπορεί να μην υπάρχει μεταφορά δεδομένων [WIKI]. Στο GPRS η χρέωση γίνεται είτε με μορφή παγίου που προσφέρει κάποια δωρεάν μεταφορά δεδομένων μέχρι κάποιο καθορισμένο όριο και μετά χρέωση ανά MB είτε με χρέωση ανά MB από την αρχή της σύνδεσης [WIKI]. Εδώ, εκτός από την μεταγωγή κυκλώματος υπάρχει μια περιοχή που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτου. Βασίζεται στο FDD και TDMA [WIKI]. Οι ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται από 56Kbps μέχρι 114 Kbps [WIKI]. Οι υπηρεσίες που υποστηρίζει αυτή η γενιά δικτύων είναι εφαρμογές για μικρές συσκευές μέσω του Wireless Application Protocol WAP, αποστολή εικόνων Multimedia Messaging Service MMS, instant messaging και συνεχή πρόσβαση στο internet για κινητά τηλέφωνα (mobile internet) [WIKI].

### **1.3.2.3 Γενιά 2.75G**

Το πρότυπο αυτής της γενιάς είναι το EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Η ταχύτητα που επιτυγχάνεται είναι 384 Kbps [ΣΤΡΑ]. Στο πρωτόκολλο αυτό οι νέες υπηρεσίες είναι η τηλεδιάσκεψη, η αναπαραγωγή video και η πρόσβαση στο κινητό Διαδίκτυο [ΣΤΡΑ]. Οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερες από το GPRS και ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται είναι πολύ υψηλότερος. Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί 9 σχήματα κωδικοποίησης και

διαμόρφωσης ενώ το GPRS χρησιμοποιεί μόνο 4 σχήματα [ΣΤΡΑ]. Για τη χρήση του χρησιμοποιούνται τα δίκτυα GSM χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές. Το εύρος ζώνης φτάνει τα 236.8 Kbits/sec [ΣΤΡΑ].

### **1.3.3 Δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς**

Η ολοκλήρωση των μεταβατικών φάσεων των δικτύων 2<sup>ης</sup> γενιάς επέτρεψαν την ομαλή μετάβαση στα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς έπρεπε να συνυπάρξουν αρμονικά και να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ τους. Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρότεινε η ITU για τα δίκτυα αυτά είναι η υψηλή ποιότητα, η δυνατότητα παγκόσμιας περιαγωγής με τη χρήση μικρών τερματικών, τα κοινά χαρακτηριστικά των δικτύων, η δυνατότητα για εφαρμογές πολυμέσων και η συμβατότητα μεταξύ κινητών και σταθερών δικτύων. Οι ζώνες που προτάθηκαν για χρήση των δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι 1885-2025MHz και 2110-2200MHz. Κάποιες επιπρόσθετες συχνότητες ήταν 806-960MHz, 1710-1885MHz και 2500-2690MHz.

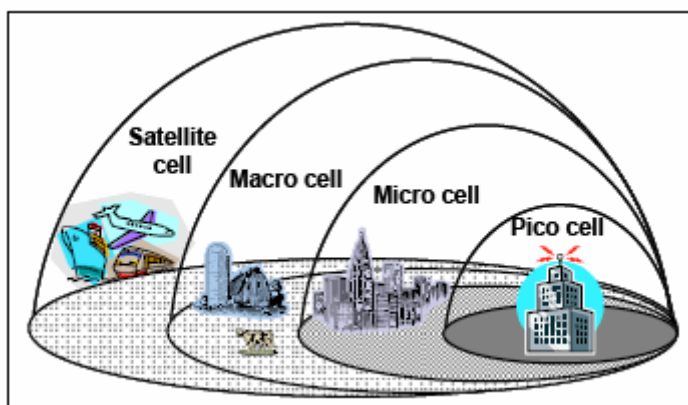
Τα δίκτυα αυτά έπρεπε να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούν την αυξημένη κίνηση αλλά να υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης αφού η αναμενόμενη κίνηση θα ήταν ολοένα αυξανόμενη. Οι ανάγκες των χρηστών άλλαξαν με αυξημένη την ανάγκη για αποστολή δεδομένων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Μερικές από τις υπηρεσίες είναι η μετάδοση εικόνων, η μετάδοση video σε πραγματικούς χρόνους (real time), η πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω κινητών τηλεφώνων και οι βιντεοκλήσεις [ΣΤΡΑ]. Οι αναμενόμενοι ρυθμοί μετάδοσης ήταν 144Kbits/sec για χρήστες υψηλής κινητικότητας, 384Kbits/sec για χρήστες χαμηλής κινητικότητας και 2Mbits/sec για σταθερούς χρήστες [ΘΕΟ]. Λόγω της υψηλής κινητικότητας οι αλγόριθμοι μεταπομπής που χρησιμοποιήθηκαν ήταν MCHO όπου η διάρκεια μεταπομπής είναι πολύ μικρή και δε γίνεται καθόλου αντιληπτή από το χρήστη [KAN]. Παράλληλα παρέχει γρήγορη πρόσβαση στο κινητό διαδίκτυο. Οι χρεώσεις συνεχίζουν να είναι ογκοχρεώσεις δηλαδή να βασίζονται στα δεδομένα και όχι στο χρόνο παραμονής στο διαδίκτυο [ΣΤΡΑ].

#### **1.3.3.1 Πρότυπο UMTS**

Το σύστημα UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) είναι ένα σύστημα τρίτης γενιάς που βασίστηκε και χτίστηκε πάνω στο GSM. Λειτουργεί στη

ζώνη συχνοτήτων των 2 GHz. Χρησιμοποιεί W-CDMA και σε συνδυασμό τις FDD και TDD [WIKI]. Για την ικανοποίηση των αναμενόμενων ρυθμών μετάδοσης χρησιμοποιήθηκαν τα είδη των κυψελών [ΣΤΡΑ] όπως φαίνονται στο σχήμα 1.7:

- Πικοκυψέλες (picocells) με την εμβέλεια αυτών να είναι 50 μέτρα για την παροχή 2048 Kbps στους στατικούς χρήστες,



*Σχήμα 1.7 Είδη κυψελών [ΣΤΡΑ]*

- Μικροκυψέλες (microcells) με γεωγραφική εμβέλεια από 50 ως 350 μέτρα όπου θα ικανοποιούσαν τους χρήστες χαμηλής κινητικότητας με ρυθμούς 384Kbps
- Μακροκυψέλες (macrocells) με γεωγραφική εμβέλεια 350 ως 20 χιλιόμετρα όπου θα ικανοποιούσαν χρήστες υψηλής κινητικότητας με ρυθμούς 144Kbps και
- Δορυφορικές κυψέλες (satellite cells) όπου θα υποστηρίξουν την παγκόσμια περιαγωγή.

Το δίκτυο αυτό είναι βασισμένο σε πρωτόκολλο IP. Θα πρέπει βέβαια να υποστηρίζει τερματικά που χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος και να κάνει ομαλή περιαγωγή και μεταπομπή στα δίκτυα δεύτερης γενιάς [ΣΤΡΑ]. Η μεταπομπή αυτή γίνεται με την κατάλληλη οργάνωση των κυψελών. Οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται πέρα από τις υπάρχουσες είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Ο έλεγχος των ραδιοπόρων γίνεται από το RRC (Radio Resource Control) [ΣΤΡΑ]. Οι πόροι κατανέμονται με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται αποδοτικά και με μειωμένο κόστος. Το RRC είναι επίσης υπεύθυνο για την αναγκαία σηματοδότηση των κλήσεων, την προστασία των δεδομένων, την κρυπτογράφηση και τον έλεγχο ισχύος [ΣΤΡΑ].



### 1.3.3.2 Πρότυπο HSPA

Το πρότυπο HSPA δημιουργήθηκε σαν εξέλιξη του προτύπου UMTS. Η τεχνολογία W-CDMA χρησιμοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί η αποδοτική κατανομή των πόρων [ΣΤΡΑ]. Ο σταθμός βάσης λειτουργεί κατά τον καλύτερο τρόπο αφού μεγιστοποιείται η χρήση του καναλιού μέσω της προσαρμοσμένης ζεύξης [ΣΤΡΑ]. Η καθυστέρηση από άκρη σε άκρη και αντίστροφα έχει μειωθεί. Ακόμη υπάρχει βελτίωση στον εντοπισμό των μεταβολών στις συνθήκες του καναλιού. Η προτεραιότητα των χρηστών καθορίζεται με ταχύ προγραμματισμό[ΣΤΡΑ]. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων έχουν βελτιωθεί λόγω των σχημάτων διαμόρφωσης QAM και 16QAM, παρέχοντας στους χρήστες 14Mbps για την κάτω ζεύξη και 5.8Mbps για την άνω ζεύξη [ΣΤΡΑ]. Η χωρητικότητα έχει αυξηθεί λόγω της ταχύτερης επαναμετάδοσης πακέτων [ΣΤΡΑ].

### 1.3.3.3 Πρότυπο HSDPA και HSUPA

Το πρότυπο HSPA χρησιμοποίησε το WCDMA. Για τη βελτίωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα δύο πρότυπα HSDPA High Speed Downlink Packet Access για την κάτω ζεύξη και HSUPA High Speed Uplink Packet Access για την άνω ζεύξη. Οι ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν μέχρι 14Mbits/sec και 5.8 Mbits/sec για τις κάτω και άνω ζεύξη αντίστοιχα [ΣΤΡΑ]. Η καθυστέρηση και στις δύο περιπτώσεις παρουσιάζει μεγάλη βελτίωση [ΣΤΡΑ]. Τα δύο πρότυπα υποστηρίζουν υπηρεσίες εφαρμογών που απαιτούν αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης παρέχοντας πολύ καλή ποιότητα.

Το πρότυπο της κάτω ζεύξης βασίζεται σε εκπομπή διαμοιραζόμενου καναλιού [WIKI]. Η χωρητικότητα της κάτω ζεύξης φαίνεται να έχει πενταπλασιαστεί και οι ρυθμοί μετάδοσης να έχουν αυξηθεί πάρα πολύ [ΣΤΡΑ]. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι

- Η διαμόρφωση υψηλότερης τάξης: Η διαμόρφωση αυτή έχει δυνατές διαμορφώσεις τις QPSK, 16QAM και 64QAM. Οι συνθήκες του καναλιού είναι αυτές που καθορίζουν τη διαμόρφωση που θα χρησιμοποιηθεί με την 64QAM να προτιμάται στις βέλτιστες συνθήκες, την 16QAM σε καλές συνθήκες και την QPSK στις άσχημες συνθήκες [WIKI]. Ο λόγος σήματος προς παρεμβολή είναι το κριτήριο για την επιλογή[ΣΤΡΑ].

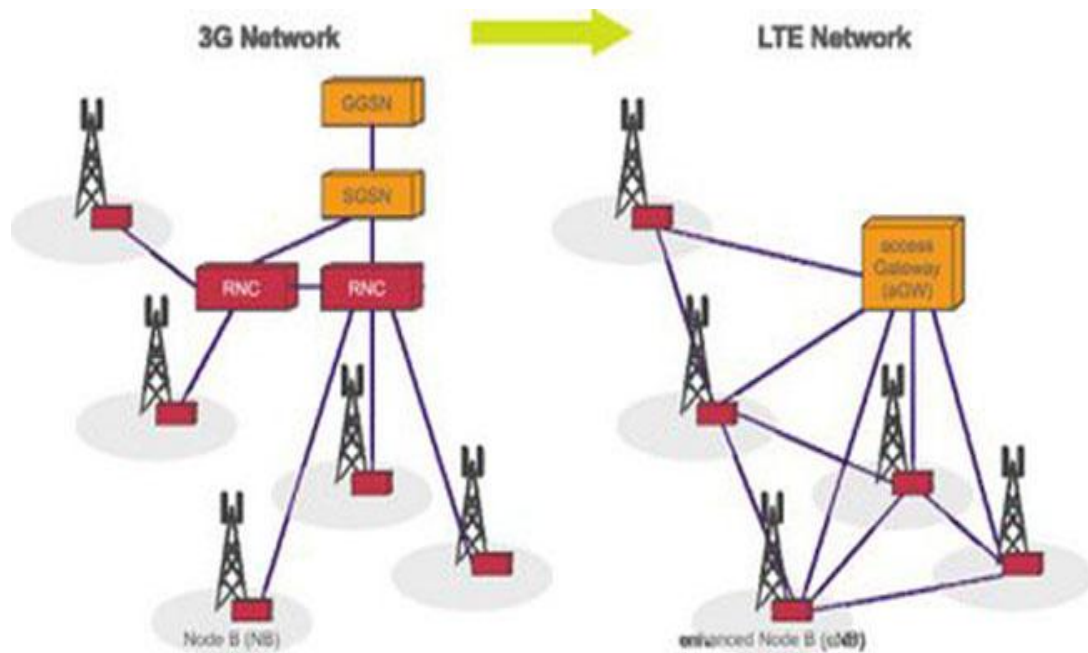
- Η χρήση γρήγορης δρομολόγησης όπου η ισχύς εκπομπής και οι κώδικες του καναλιού σε κάθε κυψέλη αποδίδονται δυναμικά στους χρήστες. Το διαμοιραζόμενο κανάλι ανατίθεται στους χρήστες με τις καλύτερες συνθήκες διάδοσης για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό επιτυγχάνει μικρότερο TTI (Transmission Time Interval) της τάξης των 2msec [ΣΤΡΑ]. Οι αλγόριθμοι κίνησης αποφασίζουν σύμφωνα με το λόγο σήματος προς παρεμβολή, τον αριθμό των πακέτων που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής και το είδος της συνόδου[ΣΤΡΑ]
- Η υποστήριξη HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) όπου γίνεται αναμετάδοση των χαμένων δεδομένων αφού πρώτα γίνει αίτηση. Η σηματοδότηση γίνεται με την χρήση πακέτων επιβεβαίωσης λήψης ACK και αρνητικής επιβεβαίωσης λήψης NACK [ΣΤΡΑ].

Το πρότυπο της άνω ζεύξης χρησιμοποιεί τους αλγορίθμους γρήγορης δρομολόγησης και την αναμετάδοση χαμένων δεδομένων όπως και στην περίπτωση της κάτω ζεύξης. Ένα νέο κανάλι E-DCH (Enhanced-Dedicated Channel) το οποίο είναι ενισχυμένο εισήχθη για να βελτιωθεί η απόδοση του καναλιού. Με τη βελτίωση της άνω ζεύξης ήταν δυνατή η χρήση υπηρεσιών που απαιτούσαν συμμετρικά υψηλές ταχύτητες και στις δύο ζεύξεις.

### 1.3.3.4 LTE

Τα δίκτυα LTE είναι ο πρόγονος του πρώτου δικτύου που συγκέντρωσε τα χαρακτηριστικά των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς [WIKI]. Αρχικά δημιουργήθηκε με σκοπό να καλύψει τις προδιαγραφές που είχε θέσει η ITU για τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Οι απαιτήσεις της ITU δεν είχαν ικανοποιηθεί αφού οι ρυθμοί μετάδοσης ήταν πολύ μικρότεροι από το πρότυπο αν και τα υπόλοιπα στοιχεία των δικτύων LTE έχουν πολύ καλύτερη επίδοση από το πρότυπο ειδικά στις άκρες των κυψελών.

Η χρήση του φάσματος γίνεται κλιμακωτά από 1.25MHz ως 20MHz [3GPP]. Το φάσμα είναι συμμετρικό και μη συμμετρικό, ενώ η κατανομή του γίνεται αποδοτικότερα από τα προγενέστερα συστήματα. Υποστηρίζει και τα δύο συστήματα τύπου FDD και TDD [WIKI]. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για την κάτω ζεύξη είναι 100Mbps και για την άνω ζεύξη 50Mbps [WIKI]. Έχει υψηλό βαθμό throughput και



*Σχήμα 1.8 Εξέλιξη δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς σε LTE [FRI]*

χαμηλή καθυστέρηση [WIKI]. Οι κεραιές που χρησιμοποιούνται είναι MIMO είτε 2\*2 είτε 4\*4. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης στην πρώτη περίπτωση είναι 150.8Mbit/sec και στη δεύτερη περίπτωση είναι 299.6Mbit/sec [WIKI]. Για την επάνω ζεύξη ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για κάθε μονή κεραιά σε φάσμα 20MHz είναι 75.4Mbit/sec [WIKI]. Η καθυστέρηση είναι λιγότερη από 5ms. Οι κυψέλες χρησιμοποιούνται από τουλάχιστον 200 ενεργούς χρήστες για κάθε 5MHz [WIKI]. Στις ημιαστικές περιοχές χρησιμοποιούνται τα 900MHz με μέγεθος κυψέλης από 5 ως 100km[WIKI]. Στις αστικές περιοχές χρησιμοποιούνται τα 2.6GHz με ακτίνα 1km το πολύ [WIKI]. Η υψηλή κινητικότητα των χρηστών, δηλαδή από 350 ως 500km/h έχει πολύ αποδοτικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων[WIKI]. Οι διαμορφώσεις που χρησιμοποιούνται είναι QPSK, 16QAM και 64QAM για την κάτω ζεύξη και BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM για την άνω ζεύξη [3GPP]. Η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών είναι ικανοποιητική για τους πελάτες [ΣΤΡΑ]. Παράλληλα το κόστος ανά bit μειώνεται [WIKI].

### 1.3.3.5 WiMaX

Το πρότυπο αυτό βασίστηκε στο πρότυπο IEEE 802.16e και ο τρόπος λειτουργίας του παρουσιάζεται στο σχήμα 1.9. Παρέχει μια εναλλακτική του σταθερού DSL [WIKI]. Οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης είναι 128 Mbits/sec για την

κάτω ζεύξη και 56 Mbits/sec για την πάνω ζεύξη με εύρος ζώνης φέροντος 20MHz [WIKI]. Χρησιμοποιείται η τεχνική OFDMA. Το εύρος ζώνης των συχνοτήτων που λειτουργεί το WiMaX είναι από 2 ως 66GHz. Η ζώνη συχνοτήτων από 2 ως 10GHz χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μη οπτικής επαφής, ενώ η ζώνη συχνοτήτων από 10 ως 66GHz χρησιμοποιείται για επικοινωνίες οπτικής επαφής [ΣΤΡΑ]. Η δεύτερη αυτή ζώνη απαιτεί αδειοδότηση και χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει οικιακούς χρήστες και μέτριες επιχειρήσεις.



**Σχήμα 1.9 Λειτουργία WiMax[FRE]**

Τα δίκτυα που εξυπηρετούν τα συστήματα WiMaX είναι μητροπολιτικά δίκτυα. Οι κυψέλες καλύπτουν από 1.5km ως 10km και παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό κλιμάκωσης για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών [ΣΤΡΑ]. Χρησιμοποιείται για πλήθος εφαρμογών όπως συνδέσεις ευρείας ζώνης και σημεία ασύρματων δικτύων hotspots. Η διαφορά του από το Wi-Fi είναι ότι επιτρέπει χρήση σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις και το κόστος του είναι αρκετά χαμηλό. Προσφέρει συνδεσιμότητα σε πλήθος συσκευών. Οι υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει πέρα από τις κλασικές είναι το IPTV (triple play)[WIKI]. Ο χρόνος διαπομπής είναι μικρότερος από 50msec. Υποστηρίζονται τέσσερα διαφορετικά προφίλ εύρους ζώνης καναλιών που αποδίδονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε χρήστη [WIKI]:

- 5 MHz για συχνότητα διάδοσης 2.3GHz
- 7 MHz για συχνότητα διάδοσης 2.5GHz
- 8.75 MHz για συχνότητα διάδοσης 3.3GHz
- 10 MHz για συχνότητα διάδοσης 3.5GHz.

## 1.4 Δίκτυα νέας γενιάς IMT-Advanced

Τα IMT-Advanced είναι η επόμενη γενιά των ασύρματων δικτύων. Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η εξυπηρέτηση περισσότερων χρηστών ανά κυψέλη μέσα από τη δυναμική διαχείριση των πόρων των δικτύων. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η φιλικότητα προς το χρήστη με το κόστος τους να παραμένει όσο το δυνατόν χαμηλό και η ποιότητα υπηρεσίας υψηλή [ITU2]. Ακόμη, είναι επιθυμητή η ύπαρξη ομοιότητας μεταξύ των συστημάτων παγκοσμίως ώστε να παρέχονται υπηρεσίες στο χρήστη με τον ίδιο εξοπλισμό σε παγκόσμιο επίπεδο [ITU2]. Ο εξοπλισμός ποικίλει με το βάρος και τη διάρκεια της μπαταρίας να παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο. Παρέχουν στους χρήστες όλες τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς δηλαδή μετάδοση φωνής και δεδομένων. Επίσης, προσφέρουν πλήθος εφαρμογών και υπηρεσιών με αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης. Συγκεκριμένα, τα δίκτυα αυτά υπόσχονται μέγιστο ρυθμό μετάδοσης 100Mbps για χρήστες υψηλής κινητικότητας (τρένα, αυτοκίνητα) και 1Gbps για χρήστες χαμηλής κινητικότητας [WIKI]. Βασίζονται σε all-IP πρωτόκολλα και μεταγωγή πακέτου [WIKI]. Το εύρος ζώνης των καναλιών είναι μέχρι 100MHz, χρησιμοποιώντας πολλαπλά φέροντα των 20 MHz [WIKI]. Η συχνότητα κυμαίνεται από 2 ως 6 GHz [WIKI]. Η μέγιστη φασματική απόδοση έχει οριστεί στα 15 bits/sec/Hz στην κάτω ζεύξη και 6.75 bits/sec/Hz στην άνω ζεύξη [WIKI]. Η φασματική απόδοση του συστήματος ανά κυψέλη είναι το πολύ 3 bits/sec/Hz/cell στην κάτω ζεύξη και 2.25 bits/sec/Hz/cell στην άνω ζεύξη [WIKI].

Στόχος των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η ενοποίηση όλων των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας και η διαχείριση τους μέσα από μια κοινή πλατφόρμα [WIKI]. Η διαχείριση γίνεται ώστε η μετάβαση από το ένα δίκτυο στο άλλο να μην έχει ως αποτέλεσμα τη διακοπή της παρεχόμενης υπηρεσίας [WIKI]. Για το λόγο αυτό η μεταπομπή θα πρέπει να γίνεται όσο πιο ομαλά γίνεται [WIKI].

Η εξέλιξη των δικτύων LTE και WiMaX οδήγησε στη δημιουργία των δικτύων που ικανοποίησαν τις προδιαγραφές που είχε θέσει η ITU το 2008. Τα βελτιωμένα συστήματα LTE-Advanced και WirelessMan-Advanced είναι αυτά που αποφασίστηκε πως θα θεωρηθούν αντιπρόσωποι των IMT-Advanced.

### 1.4.1 Μετρήσεις ITU

Οι προδιαγραφές αυτές έχουν μετρηθεί χρησιμοποιώντας ένα σύστημα κεραιών MIMO 4×2 για την κάτω ζεύξη και 2×4 για την άνω ζεύξη. Η μόνη μέτρηση που γίνεται με διαφορετικό σύστημα κεραιών είναι η μέγιστη φασματική απόδοση

*Πίνακας 1.1 Προδιαγραφές ITU[ITU2]*

	Περιβάλλον μέτρησης	Κάτω ζεύξη (bits/sec/Hz/cell)	Άνω ζεύξη (bits/sec/Hz/cell)
Φασματική απόδοση κυψέλης(bits/sec/Hz/cell)	Εσωτερικοί χώροι	3	2.25
	Μικροκυψέλες	2.60	1.80
	Αστική κάλυψη σταθμού βάσης	2.20	1.40
	Υψηλή ταχύτητα	1.10	0.70
Φασματική απόδοση στα όρια της κυψέλης (bits/sec/Hz)	Εσωτερικοί χώροι	0.1	0.07
	Μικροκυψέλες	0.075	0.05
	Αστική κάλυψη σταθμού βάσης	0.06	0.03
	Υψηλή ταχύτητα	0.04	0.015
Είδη κινητικότητας	Εσωτερικοί χώροι	Στατικοί χρήστες	
	Μικροκυψέλες	Κινούμενοι με χαμηλή ταχύτητα	
	Αστική κάλυψη σταθμού βάσης	Κινούμενοι με μέτρια ταχύτητα	
	Υψηλή ταχύτητα	Κινούμενοι με υψηλή ταχύτητα	

<b>Ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων (bits/sec/Hz)</b>	<b>Εσωτερικοί χώροι</b>	1.0
	<b>Μικροκυψέλες</b>	0.75
	<b>Αστική κάλυψη σταθμού βάσης</b>	0.55
	<b>Υψηλή ταχύτητα</b>	0.25
<b>Ελάχιστη VoIP χωρητικότητα (Ενεργοί χρήστες/τομέα/MHz)</b>	<b>Εσωτερικοί χώροι</b>	50
	<b>Μικροκυψέλες</b>	40
	<b>Αστική κάλυψη σταθμού βάσης</b>	40
	<b>Υψηλή ταχύτητα</b>	30

όπου οι μετρήσεις γίνονται για σύστημα κεραιών 4×4 για την κάτω ζεύξη και 2×4 για την άνω ζεύξη [ITU2]. Οι τιμές είναι 15 bits/sec/Hz και 6.75 bits/sec/Hz αντίστοιχα [ITU2].

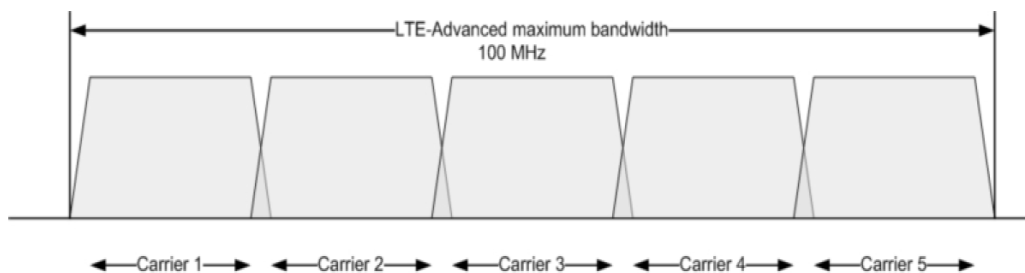
*Πίνακας 1.2 Είδη διαπομπής και χρόνοι διακοπής υπηρεσίας[ITU2]*

<b>Τύπος διαπομπής</b>	<b>Χρόνος διακοπής (msec)</b>
Ενδοκυψελική	27.5
Διακυψελική εντός μπάντας συχνοτήτων	40
Διακυψελική μεταξύ μπαντών συχνοτήτων	60

### 1.4.2 LTE-Advanced

Το LTE-Advanced υποβλήθηκε από τον οργανισμό 3GPP το 2009 και αναμένεται να υλοποιηθεί πλήρως το 2012. Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει αυτό το σύστημα είναι ότι αποτελεί βελτίωση του ήδη υπάρχοντος συστήματος LTE. Το κόστος λοιπόν για τη βελτίωση παραμένει χαμηλό γιατί δεν χρειάζεται να αλλάξει ο κορμός του συστήματος [WIKI]. Αυτό κάνει πολύ εύκολη την πώληση του LTE .

Το ήδη υπάρχον δίκτυο αναμένεται να επεκταθεί με τη χρήση πικοκυβελών [WIKI]. Η σωστή χρήση αυτών των πικοκυβελών θα βοηθήσει στην αύξηση της χωρητικότητας [WIKI]. Το εύρος ζώνης αυξάνεται κλιμακωτά με τη χρήση πολλαπλών φερόντων [WIKI] όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10. Παράλληλα με το εύρος ζώνης υπάρχει κλιμακωτή αύξηση και στους



Σχήμα 1.10 Χρήση πολλαπλών φερόντων στο LTE-Advanced [ROH]

ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Η κυριότερη βελτίωση αφορά τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που θα είναι 1Gbit/sec για την κάτω ζεύξη και 500Mbit/sec για την άνω ζεύξη ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις της ITU [WIKI].

### 1.4.3 WirelessMan-Advanced

Το σύστημα WirelessMan-Advanced βασίζεται στο πρότυπο 802.16e-2005 [WIKI]. Χρησιμοποιούνται 2 ζώνες συχνοτήτων όπως στο WiMaX. Στην άνω ζεύξη χρησιμοποιείται OFDM τεχνική και στην κάτω ζεύξη TDMA [WIKI]. Εξυπηρετεί συνεχείς και εκρηκτικές κινήσεις. Αποτελείται από δύο στρώματα το φυσικό στρώμα (PHY) και το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (MAC) [WIKI]. Η κωδικοποίηση αλλάζει ανάλογα με την ποιότητα του σήματος. Σε περιπτώσεις που το



σήμα είναι καλό χρησιμοποιείται το σχήμα 64QAM, σε περιπτώσεις που το σήμα είναι μέτριο προτιμούνται οι κωδικοποιήσεις 16QAM και QPSK και σε περιπτώσεις κακού σήματος χρησιμοποιείται BPSK [WIKI]. Οι κεραιές που χρησιμοποιούνται είναι τύπου MIMO. Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων για περιπτώσεις που δεν υπάρχει ορατότητα μεταξύ πομπού και δέκτη είναι πολύ καλής ποιότητας. Το εύρος ζώνης βρίσκεται μεταξύ 1.25MHz και 20MHz [WIKI].

Η ασφάλεια του συστήματος έχει βελτιωθεί πάρα πολύ αφού χρησιμοποιούνται κλειδιά ασφαλείας και κρυπτογράφηση [WIKI]. Οι μηχανισμοί διαπομπής προσφέρουν ομαλή μετάβαση κυψελών. Τέλος, ένα καινούριο χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι οι μηχανισμοί εξοικονόμησης ενέργειας [WIKI].

### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

[3GPP] <http://www.3gpp.org>

[ΘΕΟ] Μ.Ε.Θεολόγου, *Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007

[KAN]Αθανάσιος Κανατάς, Κωνσταντίνου Φίλιππος, *Συστήματα Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών*, Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών, 2001

[ΣΤΡΑ]Δημήτριος Γ.Στρατογιάννης, *Θέματα Διαχείρισης Πόρων, Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων και Αξιολόγηση Επίδοσης σε Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα Επικοινωνιών*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π, 2010

[FRI] <http://withfriendship.com>

[FRE] <http://www.freewimaxinfo.com/>

[ITU2]ITU-R, *Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)*, 2008

[OKT] <http://octoscope.com/blog/>

[ROH] Rohde & Schwarz, *LTE Advanced Technology Introduction 2 White paper*,2010

[WIKI] <http://en.wikipedia.org>



## 2.Σενάρια χρήσης και τεχνικές απαιτήσεις του Μοντέλου WINNER

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το μοντέλο καναλιού WINNER που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των κυψελωτών συστημάτων νέας γενιάς. Παρουσιάζονται οι κυριότεροι τύποι σεναρίου προσομοίωσης και οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τις προσομοιώσεις. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι κρίσιμες παράμετροι για την αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων, των παρεχόμενων υπηρεσιών και των τερματικών συσκευών. Ακολουθούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των δικτύων που επηρεάζουν την απόδοση όπως η κάλυψη, ο ρυθμός μετάδοσης, ο ανεκτός ρυθμός μετάδοσης, ο επιτρεπτός ρυθμός σφαλμάτων και η καθυστέρηση στο επίπεδο του χρήστη. Τέλος, παρουσιάζονται οι παράγοντες που καθορίζουν τη φασματική απόδοση του συστήματος.

### 2.1 Μοντέλο WINNER

Το WINNER II (Wireless World Initiative New Radio) είναι ένα πλαίσιο που εισήχθηκε πρώτη φορά τον Ιανουάριο του 2004 και ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2007 σε δύο φάσεις [DÖT]. Σε αυτό το έργο συμμετείχαν 41 συνεργάτες που συντονίζονται από την εταιρεία Nokia Siemens Networks [WIN]. Σκοπός του είναι να εξετάζει την καταλληλότητα των υποψήφιων συστημάτων και την πληρότητα των απαιτήσεων που έχουν τεθεί από την ITU για τα συστήματα IMT-Advanced. Οι στόχοι που έχουν τεθεί αφορούν τα γενικά χαρακτηριστικά των συστημάτων όπως η καθυστέρηση, το throughput των χρηστών, τα ασύρματα περιβάλλοντα καθώς και η δυνατότητα τους για εξέλιξη και ευελιξία. Οι υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες πρέπει να ικανοποιούν τις αναμενόμενες απαιτήσεις για την ποιότητα παροχής υπηρεσιών.



*Σχήμα 2.1 Λογότυπο του μοντέλου WINNER [WIN1]*

Ο έλεγχος αυτός γίνεται μέσα από διάφορα περιβάλλοντα προσομοίωσης με τα μετρούμενα μεγέθη να είναι κρίσιμα για την απόδοση του συστήματος. Ο συνδυασμός αυτών των μεγεθών πρέπει να γίνει κατά το βέλτιστο δυνατό και οικονομικό τρόπο για να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών.

Οι στόχοι του μοντέλου αυτού είναι [DÖT],[WIN3]:

- Η ανάπτυξη ενός συστήματος που θα έχει βελτιωμένες δυνατότητες σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα. Η βελτίωση του συστήματος αυτού θα πρέπει να γίνεται εύκολα ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται στις ανάγκες των χρηστών. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να έχει τέτοια χαρακτηριστικά ώστε να ανταποκρίνεται με επιτυχία σε συνθήκες μικρής (εσωτερικοί χώροι) αλλά και πολύ μεγάλης έκτασης (επαρχιακή περιοχή).
- Η ελαχιστοποίηση του κόστους ανά bit σε συνδυασμό με την αποδοτικότερη κατανομή του διαθέσιμου φάσματος.
- Η ελαχιστοποίηση του κόστους δημιουργίας του συστήματος με χρήση κατάλληλων τερματικών.
- Ο καθορισμός των κρίσιμων παραμέτρων για συνθήκες επιπέδου συστήματος και ζεύξης καθώς και η μοντελοποίηση και αξιολόγηση του ραδιοδιαύλου.

Τα συστήματα νέας γενιάς πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των χρηστών για επικοινωνία οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιοδήποτε σημείο και με οποιοδήποτε άλλο συνδρομητή.

Οι τύποι σεναρίων που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις είναι [DÖT]:

- **Σενάριο χρήστη**: Σε αυτό το σενάριο γίνεται μελέτη για την κατηγοριοποίηση υπηρεσιών ανάλογα με το χρήστη. Η κατηγοριοποίηση γίνεται σύμφωνα με τις υπηρεσίες που χρειάζονται οι χρήστες ανάλογα με την ηλικία, το εισόδημά και τον τρόπο ζωής. Οι απαιτήσεις των χρηστών εξαρτώνται από την επαγγελματική και προσωπική χρήση αλλά και από την ευκολία με την οποία γίνεται η εναλλαγή από τον ένα τύπο χρήσης στον άλλο. Η τοποθεσία από την οποία γίνεται η χρήση, ο τύπος τερματικού που χρησιμοποιείται αλλά και η αυξανόμενη ανάγκη για χρήση υπηρεσιών κοινωνικής δικτύωσης είναι ακόμα μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις χρησιμοποιούμενες υπηρεσίες. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στιγμιαία σε μεμονωμένους χρήστες.

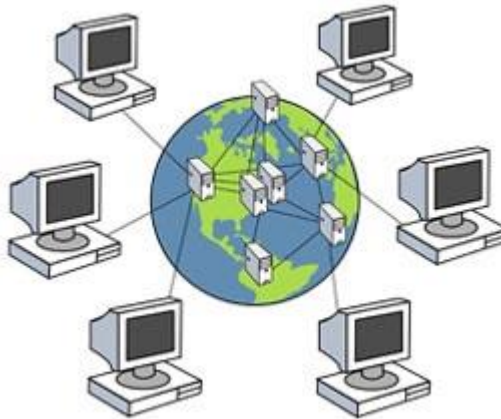
- **Σενάριο χρήσης**: Σε αυτό το σενάριο γίνεται μελέτη της χρήσης μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Μας ενδιαφέρουν οι τυπικές συνθήκες χρήσης για διαφορετικά περιβάλλοντα. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε βάθος χρόνου αφού μας ενδιαφέρει η μέση χρήση των υπηρεσιών. Τα σενάρια εφαρμόζονται σε κάθε υπηρεσία χωριστά ανάλογα με τον τύπο συσκευής.
- **Σενάριο τοποθεσίας**: Σε αυτό το σενάριο μελετάται η εύρεση του συνδυασμού υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται από τον πληθυσμό μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας. Οι μετρήσεις γίνονται σε βάθος χρόνου και για διάφορους χρήστες ενώ η τοποθεσία είναι μεμονωμένη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης είναι ο συνδυασμός υπηρεσιών ανάλογα με την κινητικότητα και τη διασπορά των χρηστών.
- **Σενάριο κίνησης**: Κατά τη διάρκεια της ημέρας σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία μελετάται η κίνηση. Οι μετρήσεις γίνονται για διάφορους χρήστες του συγκεκριμένου πληθυσμού. Η διασπορά των χρηστών και η πυκνότητα με την οποία είναι καταναμημένοι είναι οι δύο παράγοντες που καθορίζουν το φορτίο της κίνησης.
- **Σενάριο προσομοίωσης**: Σε αυτό το σενάριο μελετάται το ασύρματο περιβάλλον που επικρατεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και οι τεχνικές απαιτήσεις που πρέπει να καλυφτούν για να λυθούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε βάθος χρόνου για διάφορους χρήστες με σκοπό να καθοριστούν οι παράμετροι που θα είναι κρίσιμοι για την προσομοίωση.

Το WINNER υποστηρίζει διάφορα είδη συστημάτων που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε υπηρεσίες και εφαρμογές. Η ποιότητα υπηρεσίας από άκρο σε άκρο πρέπει να μπορεί να διαπραγματευτεί και να ελέγχεται ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις των εφαρμογών και υπηρεσιών. Το τελικό σενάριο που ορίζεται βασίζεται σε σενάρια χρήσης, τοποθεσίας και χρήστη. Οι κύριοι παράγοντες που βοηθούν στον ορισμό του σεναρίου είναι οι περιοχές προσομοίωσης, τα είδη περιβάλλοντος, τα είδη τερματικού, το εύρος κάλυψης, η πυκνότητα των χρηστών, η κινητικότητα των χρηστών και οι παράμετροι κίνησης.

### ***2.1.1 Περιοχές προσομοίωσης***

Οι περιοχές προσομοίωσης [DÖT] είναι οι εξής:

- **Δίκτυα ευρείας περιοχής (Wide-area):** Τα δίκτυα αυτά εκτείνονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 200km. Σε αυτή την περιοχή χρησιμοποιούνται μακροκυψέλες.

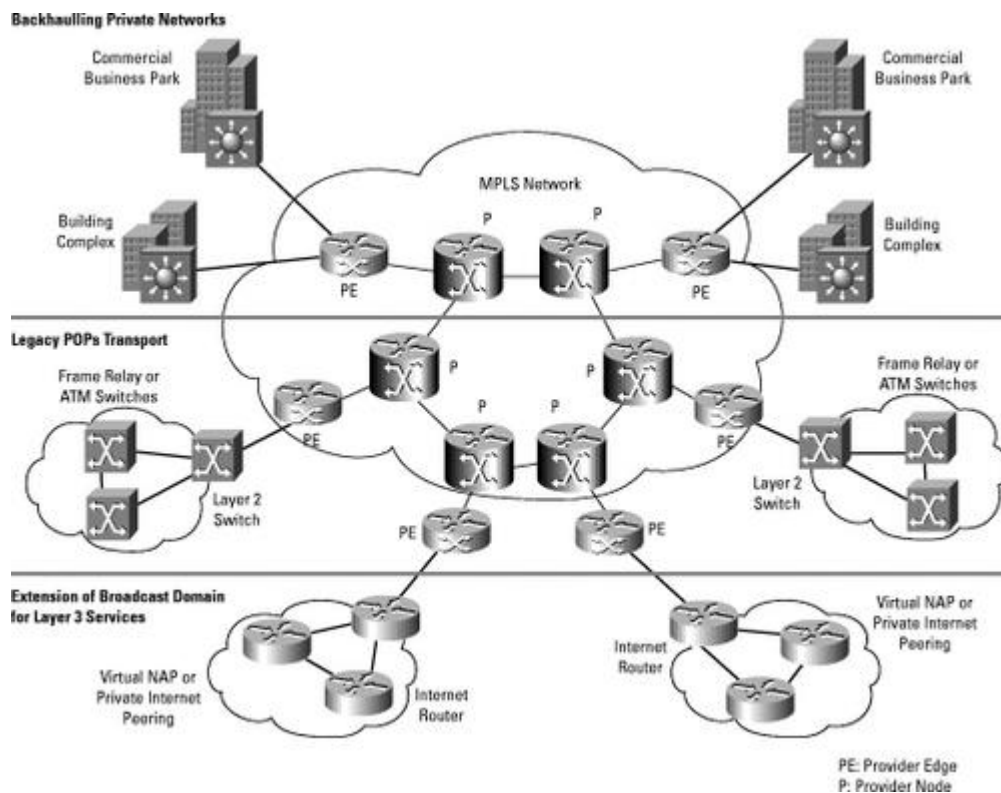


**Σχήμα 2.2 Σχήμα δικτύων ευρείας περιοχής WAN [TECH]**

Η κάλυψη είναι ευρείας περιοχής και είναι συνεχής. Η ταχύτητα των τερματικών είναι μέτρια προς υψηλή και οι απαιτήσεις των χρηστών αφορούν εφαρμογές χαμηλού ρυθμού μετάδοσης που είναι κυρίως εφαρμογές φωνής. Θεωρείται πως οι χρήστες βρίσκονται σε κίνηση με αυτοκίνητα, λεωφορεία και τρένα. Σε αυτή την περιοχή η πιο απαιτητική προσομοίωση είναι αυτή των υψηλής ταχύτητας τρένων. Η προσομοίωση αυτή είναι δυνατόν να παρομοιαστεί με την προσομοίωση δικτύων απλού άλματος.

- **Μητροπολιτικά δίκτυα (Metropolitan-area):** Σε αυτή την περιοχή που μπορεί να είναι αστική ή προαστιακή χρειάζεται ευρεία κάλυψη που εκτείνεται μεταξύ 100 και 200km. Χρησιμοποιούνται μικροκυψέλες και μακροκυψέλες. Οι χρήστες κινούνται με χαμηλή έως και μέτρια ταχύτητα. Το φορτίο κίνησης των δικτύων είναι από μέτριο ως υψηλό. Το throughput των χρηστών θεωρείται υψηλότερης προτεραιότητας σε σχέση με την περιοχή κάλυψης. Στα αστικά περιβάλλοντα οι σταθμοί βάσης τοποθετούνται κάτω από την οροφή κτιρίων ενώ στα προαστιακά τοποθετούνται ακριβώς πάνω στην οροφή κτιρίων. Τα μητροπολιτικά δίκτυα περιλαμβάνουν και τα hotspots εξωτερικού χώρου. Ενώ όλες οι

προσομοιώσεις θεωρούνται εξωτερικού χώρου, καλύπτεται επίσης η περίπτωση μετάβασης από εξωτερικό σε εσωτερικό χώρο.



Σχήμα 2.3 Σχήμα μητροπολιτικού δικτύου [FRI]

- Τοπικά δίκτυα (Local-area):** Σε αυτή την περιοχή η ταχύτητα των τερματικών είναι χαμηλή δηλαδή το πολύ μέχρι 5km/h. Οι κυψέλες που χρησιμοποιούνται είναι πικοκυψέλες και μικροκυψέλες. Η κάλυψη είναι μικρής περιοχής (το πολύ 100m) και η πυκνότητα των χρηστών πολύ υψηλή. Η ζήτηση των χρηστών αφορά κυρίως εφαρμογές υψηλού ρυθμού μετάδοσης. Περιλαμβάνονται και τα hotspots εσωτερικού χώρου. Η γενική ιδέα είναι ότι έχουμε ένα σημείο ασύρματης πρόσβασης το οποίο συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο (backbone). Το σημείο αυτό παρέχει πρόσβαση σε πολλών ειδών τερματικές συσκευές και θεωρείται ότι δεν δέχεται παρεμβολές από άλλα σημεία ασύρματης πρόσβασης. Τα σημαντικά στοιχεία αυτών των προσομοιώσεων είναι η δυνατότητα διαπομπής από το οικιακό δίκτυο στο αστικό δίκτυο, η συνδεσιμότητα του συστήματος με το κεντρικό δίκτυο και η αποτελεσματική χρήση πολλών τερματικών συσκευών εντός του εσωτερικού χώρου.

### **2.1.2 Τύποι περιβάλλοντος**

Το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιείται η προσομοίωση αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής, την κινητικότητα των χρηστών, τη διασπορά των χρηστών και τα είδη της ασύρματης πρόσβασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα είδη περιβάλλοντος δημιουργούν τα τυπικά σενάρια [WIN1] του WINNER II που είναι τα εξής:

- **A1 Εσωτερικού χώρου επαγγελματικός χώρος**
- **A2 Μετακίνηση από εσωτερικό σε εξωτερικό χώρο**
- **B1 Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μικροκυψέλες**
- **B2 Αστική περιοχή με άσχημες συνθήκες που χρησιμοποιεί μικροκυψέλες**
- **B3 Εσωτερικού χώρου hotspot**
- **B4 Μετακίνηση από εξωτερικό σε εσωτερικό χώρο**
- **B5 Σταθερός χρήστης**
- **C1 Προαστιακή περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες**
- **C2 Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες**
- **C3 Αστική περιοχή με άσχημες συνθήκες που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες**
- **C4 Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες και περιγράφει μετακίνηση από εξωτερικό σε εσωτερικό χώρο.**
- **D1 Επαρχιακή περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες**
- **D2 Κινούμενα δίκτυα**

### **2.1.3 Ραδιοκάλυψη**

Τα σενάρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως καλύπτουν περιοχές με διαφορετικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά και διαφορετική συγκέντρωση χρηστών. Οι κυψέλες που χρησιμοποιούνται είναι διαφόρων ειδών και εξαρτώνται από τα περιβάλλοντα στα οποία θα χρησιμοποιηθούν.

Οι πικοκυψέλες εξασφαλίζουν κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους δηλαδή σε διαδρόμους, γραφεία και δωμάτια [ΘΕΟ]. Χρησιμοποιείται στο περιβάλλον εντός κτιρίων [ITU]



Οι μικροκυψέλες προτιμούνται σε περιπτώσεις όπου θέλουμε να καλύψουμε πολυώροφα κτίρια και διασταυρώσεις δρόμων [ΘΕΟ]. Τα ραδιοκύματα μεταδίδονται κατά μήκος των δρόμων [ΘΕΟ]. Χρησιμοποιούνται για hotspots, επαρχιακή περιοχή και αστική περιοχή [ITU].

Οι μακροκυψέλες χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα με μέση ή χαμηλή πυκνότητα χρηστών και μεγάλη έκταση περιοχής [ΘΕΟ]. Χρησιμοποιούνται σε αστικές και επαρχιακές περιοχές [ITU].

Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές η μακροκυψέλη χρησιμοποιείται ως κυψέλη ομπρέλα [ΘΕΟ]. Αυτή καλύπτει μια περιοχή που αποτελείται από περιοχές που καλύπτονται από μικρότερες κυψέλες [ΘΕΟ]. Έτσι σε περίπτωση που αντιμετωπίζεται πρόβλημα κάλυψης στις μικρότερες, διαπομπές από μη διαθεσιμότητα κυψελών, πυκνής κίνησης και πολλαπλής μετακίνησης χρηστών, η κυψέλη ομπρέλα αποτελεί λύση στα παραπάνω προβλήματα [ΘΕΟ].

#### ***2.1.4 Τύποι τερματικών***

Τα είδη των τερματικών που χρησιμοποιούνται σκοπό έχουν να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τους αφορούν το εύρος οθόνης (inches), τη



***Σχήμα 2.4 Διαφορετικά είδη τερματικών με πρόσβαση στο διαδίκτυο [TGI]***

δυνατότητα φορητότητας, την κατανάλωση ισχύος, την ταχύτητα επεξεργασίας και τη μέγιστη ισχύ εκπομπής. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είδη τερματικών είναι οι προσωπικοί υπολογιστές desktops, οι φορητοί υπολογιστές laptops, τα σημειωματάρια netbooks, τα πρόσφατα διαδεδομένα tablets και iPads και τα κινητά

τηλέφωνα συμπεριλαμβανομένων και των έξυπνων κινητών τηλεφώνων (smartphones).

### ***2.1.5 Πυκνότητα χρηστών, παράμετροι κίνησης και κινητικότητα χρηστών***

Η πυκνότητα των χρηστών εξαρτάται από τον τύπο περιβάλλοντος και τον τύπο υπηρεσίας. Τα είδη των εφαρμογών διακρίνονται σε αυτά που απαιτούν σταθερό ρυθμό μετάδοσης (CBR), διαθέσιμο ρυθμό μετάδοσης (ABR) και τυχαίο ρυθμό μετάδοσης (UBR) [DÖT]. Συνήθως, οι εφαρμογές φωνής είναι σταθερού ρυθμού, οι εφαρμογές σύντομων μηνυμάτων και VoIP είναι διαθέσιμου ρυθμού και οι εφαρμογές με την αποστολή πολυμέσων τυχαίου ρυθμού [DÖT]. Η κινητικότητα των χρηστών είναι μια ακόμη σημαντική παράμετρος. Υπάρχουν εφαρμογές όπως αυτές των τύπων CBR και ABR που το περιβάλλον δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο στις απαιτήσεις τους [DÖT].

## **2.2 Απαιτήσεις υπηρεσιών**

Η κατηγοριοποίηση των παρεχόμενων υπηρεσιών αφορά ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, καθυστερήσεις και ρυθμούς σφαλμάτων. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες θα πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος ώστε να παραμένουν προσιτές στους χρήστες [ITU4]. Οι παράμετροι που καθορίζουν τις κατηγορίες υπηρεσιών είναι η πυκνότητα χρηστών (χρήστες/km<sup>2</sup>), ο ρυθμός άφιξης συνόδων ανά χρήστη (session/sec/user), ο μέσος ρυθμός bit υπηρεσίας (bit/sec), η μέση διάρκεια συνόδου (sec/session) και ο λόγος κινητικότητας (όπως αυτός δίνεται για σταθερούς χρήστες και χρήστες χαμηλής, υψηλής και πολύ υψηλής κινητικότητας) [DÖT]. Η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών εξαρτάται από το συνδυασμό όλων των στοιχείων του δικτύου και τα επίπεδα του OSI [ITU]. Συμπληρωματικές παράμετροι θεωρούνται το μέσο μέγεθος πακέτου και η επιτρεπόμενη μέση καθυστέρηση πακέτου [DÖT]. Όλες οι προηγούμενες παράμετροι μπορούν να καθορίσουν την ποιότητα με την οποία παρέχεται μια υπηρεσία στο χρήστη [DÖT]. Οι υπηρεσίες πρέπει να παρέχονται με υψηλούς ρυθμούς, να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ των υπηρεσιών και των τερματικών χρηστών [ITU4]. Τέλος, η παροχή των υπηρεσιών πρέπει να είναι όσο το

δυνατόν προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη και να παρέχεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί το χρήστη σε κάθε περιβάλλον [ITU4]. Οι πιο σημαντικές κατηγορίες μοντέλων κίνησης [DÖT]:

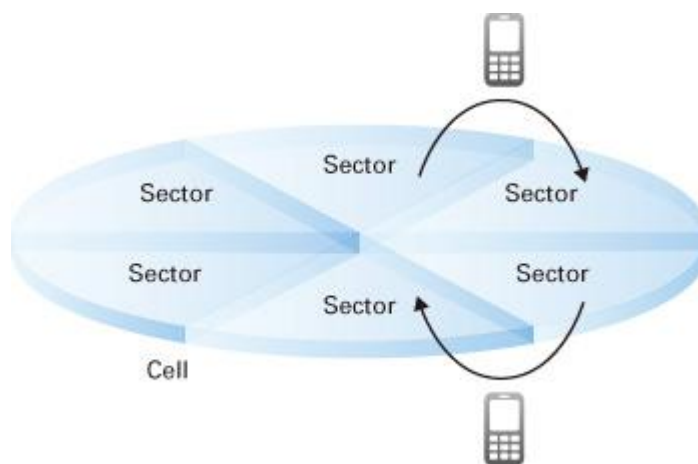
- **Εφαρμογές διαδικτύου:** Χαρακτηρίζονται από συχνές μεταβάσεις από ενεργές σε ανενεργές καταστάσεις και αντίστροφα. Η ενεργή περίοδος είναι η περίοδος για να κατέβει ένα αρχείο και η ανενεργή περίοδος η περίοδος ανάγνωσης. Στα συστήματα που χρησιμοποιούν μεταγωγή πακέτου χρησιμοποιείται φάσμα μόνο στις ενεργές περιόδους σε αντίθεση με τα συστήματα μεταγωγής κυκλώματος που σπαταλούν το φάσμα και στις ανενεργές περιόδους.
- **Voice over IP:** Απαιτούν την λήψη πακέτων με χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλές τιμές απωλειών πακέτου. Οι κυριότεροι παράγοντες είναι η καθαρότητα φωνής, η από άκρο σε άκρο καθυστέρηση και η ηχώ. Για τις interactive εφαρμογές οι παράγοντες που παίζουν το σημαντικότερο ρόλο είναι το εύρος ζώνης, η καθυστέρηση, η απώλεια πακέτων και το φαινόμενο jitter.
- **Τηλεφωνία με video:** Η εφαρμογή αυτή είναι εφαρμογή πραγματικού χρόνου που αφορά μετάδοση προς τις δύο μεριές οπτικοακουστικού υλικού. Τα videos είναι υψηλής ανάλυσης και απαιτούν υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.
- **Streaming:** Το streaming διαφόρων videos μέσω διαδικτύου είναι μια εφαρμογή πολύ διαδεδομένη τελευταία αφού έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα το webtv. Η μοντελοποίηση αυτής της εφαρμογής σε μικρές κλίμακες γίνεται με χρήση μια εκρηκτικής πηγής ON-OFF. Τα OFF εμφανίζονται κάθε 1.8 δευτερόλεπτα. Σε κλίμακες δεκάτων του δευτερολέπτου θεωρούμε ότι έχουμε σταθερό ρυθμό μετάδοσης.
- **Μεταφορά αρχείων:** Σε αυτό το μοντέλο έχουμε δύο κύρια χαρακτηριστικά, τον εκθετικής διασποράς χρόνο ανάγνωσης και την στρογγυλοποιημένη κανονική λογαριθμική διασπορά του μεγέθους των αρχείων.
- **Interactive εφαρμογές:** Αυτό το μοντέλο αφορά κυρίως παιχνίδια μέσω διαδικτύου και εφαρμογές e-learning, e-shopping, άμεσων μηνυμάτων (instant messaging).

## 2.3 Απαιτήσεις συστημάτων WINNER

Τα συστήματα που θα ικανοποιούν το μοντέλο WINNER θα έχουν αυξημένες δυνατότητες σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα. Σκοπός είναι η ικανοποίηση των βασικών προδιαγραφών αλλά και η εύκολη αναβάθμιση τους για να ικανοποιήσουν τυχόν μελλοντικές ανάγκες των χρηστών. Η πιο βασική απαίτηση για τα κυψελωτά συστήματα είναι η δυνατότητα αυτονομίας [DÖT]. Το κάθε σύστημα θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα. Οι ιδιότητες των συστημάτων θα πρέπει να μένουν αμετάβλητες χωρίς να είναι απαραίτητη η λειτουργία των συστημάτων παράλληλα με άλλα συστήματα. Οι προσομοιώσεις θα πρέπει να υπολογίζουν τις απαιτήσεις, τις δυνατότητες και τις προτιμήσεις των χρηστών. Θα πρέπει το φορτίο της κίνησης να εξισορροπείται μεταξύ των δύο σταθμών βάσης.

Τα ασύρματα συστήματα θα πρέπει να παρέχουν συνεχή λειτουργία σε όλους τους χρήστες ακίνητους και κινούμενους. Για να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε αν το σύστημα ικανοποιεί τις προδιαγραφές για την κινητικότητα θα πρέπει να γίνει μια σειρά από ελέγχους με την παρακάτω μέθοδο [ITU]. Πραγματοποιούμε προσομοιώσεις συστήματος. Οι προσομοιώσεις αυτές γίνονται για διάφορες ταχύτητες εκτός από τις 10km/h για εσωτερικούς χώρους, 30km/h για περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν μικροκυψέλες, 120km/h για περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν μακροκυψέλες και 350km/h για προσομοιώσεις πολύ υψηλών ταχυτήτων. Με το συνδυασμό προσομοιώσεων ζεύξης και προσομοιώσεων ζεύξης-συστήματος, συλλέγονται στατιστικά για το λόγο σήματος προς παρεμβολή S/I. Με τα στατιστικά κατασκευάζουμε την αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Έτσι βρίσκουμε τις τιμές που καλύπτουν το 50% των χρηστών. Για τα επιλεγμένα περιβάλλοντα και συνθήκες οπτικής και μη οπτικής επαφής κάνουμε πάλι προσομοιώσεις για τις τιμές ταχυτήτων που εξαιρέσαμε προηγουμένως, ώστε να φτιάξουμε μια συνάρτηση του ρυθμού μετάδοσης ζεύξης και του ρυθμού σφαλμάτων πακέτων συναρτήσει του ρυθμού σήματος προς παρεμβολή. Συγκρίνουμε τις φασματικές αποδόσεις στην πρώτη και τη δεύτερη περίπτωση με τις τιμές στον πίνακα 1.1. Το σύστημα γίνεται αποδεκτό αν η τιμή είναι μεγαλύτερη ή ίση με αυτή του πίνακα 1.1 και αν ο ρυθμός σφάλματος αποκωδικοποιημένων πακέτων είναι μικρότερος από 1% για όλα τα περιβάλλοντα. Μας αρκεί να ικανοποιείται αυτή η συνθήκη είτε σε οπτική είτε σε μη οπτική επαφή.

Το σύστημα θα πρέπει να ενημερώνει το τερματικό του χρήστη με πληροφορίες όχι μόνο για την κυψέλη που το εξυπηρετεί αλλά και για όλες τις γειτονικές κυψέλες [DÖT]. Οι κυψέλες αυτές μπορεί να ανήκουν στα ίδια ή σε διαφορετικά δίκτυα. Έτσι σε περίπτωση κίνησης σε



**Σχήμα 2.5 Μηχανισμός διαπομπής εντός κυψέλης [ART]**

περιοχή που εξυπηρετείται από άλλη κυψέλη γίνεται διαπομπή από τη μια κυψέλη στην άλλη χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον χρήστη και χωρίς διακοπή της παρεχόμενης υπηρεσίας

[DÖT]. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει οι καθυστερήσεις να παραμένουν εντός κάποιων ορίων, ώστε να μη γίνεται αντιληπτή η διαπομπή σε επίπεδο εφαρμογών. Η διαπομπή πρέπει να γίνεται και στο IP επίπεδο με τον ίδιο τρόπο [DÖT]. Τα υποψήφια συστήματα θα πρέπει να παρέχουν μια πλατφόρμα μέσω της οποίας θα μπορούν τα συστήματα αυτά να λειτουργούν μαζί με συστήματα προηγούμενης γενιάς [DÖT]. Η πλατφόρμα αυτή θα είναι υπεύθυνη για τη διαπομπή μεταξύ κυψελών. Τα συνυπάρχοντα συστήματα μπορεί να είναι ίδιων ή και διαφορετικών παρόχων.

Για τη σωστή λειτουργία των συστημάτων είναι απαραίτητο να υπάρχει μηχανισμός που να παρέχει αποτελέσματα μετρήσεων ώστε να υλοποιείται η διαπομπή με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο. Οι τιμές που ενδιαφέρουν τους μηχανισμούς διαπομπής [DÖT] είναι:

- Η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος, οι παρεμβολές και ο λόγος σήματος προς παρεμβολή: Οι μετρήσεις αυτές θα βασίζονται στο συγχρονισμό άνω

και κάτω ζεύξης. Θα πραγματοποιούνται από τα τερματικά, τους σταθμούς βάσης και τους κόμβους όχι μόνο εντός του συστήματος αλλά και στα προϋπάρχοντα συστήματα. Τέλος, οι μετρήσεις θα γίνονται ενδοκυψελικά, διακυψελικά και μεταξύ κυψελών διαφορετικών συστημάτων.

- Η εκπεμπόμενη ισχύς σε στιγμιαίες μετρήσεις: Θα πραγματοποιείται από τα τερματικά, τους σταθμούς βάσης και τους ενδιάμεσους κόμβους. Μέσω αυτής και της προηγούμενης μέτρησης θα είναι δυνατή και η μέτρηση των απωλειών μετάδοσης αφού θα είναι η διαφορά της ισχύος λαμβανόμενου σήματος και της εκπεμπόμενης ισχύος.
- Μετρήσεις σχετικές με ποιότητα: Θα επιτρέπουν την σύγκριση μεταξύ της παρεχόμενης ποιότητας από τερματικά και δίκτυα ασύρματης πρόσβασης. Οι μετρήσεις θα αφορούν την ποιότητα παρεχόμενης υπηρεσίας σε κάθε χρήστη χωριστά και σύγκριση με την απαιτούμενη ή επιθυμητή ποιότητα. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις αυτές είναι ο ρυθμός διόρθωσης σφαλμάτων σε ένα block μηνύματος, ο ρυθμός αναμετάδοσης του block και ο ρυθμός μετάδοσης bit μεταξύ διαφορετικών επιπέδων.
- Το φορτίο κυψέλης: Είναι η διαφορά μεταξύ χρησιμοποιούμενων και διαθέσιμων πόρων. Αυτό μπορεί να μετρηθεί και σε διαφορετικά επίπεδα.
- Η ταχύτητα τερματικού σταθμού και η θέση στην οποία βρίσκεται: Επιτρέπει να μπορούμε να γνωρίζουμε ποιος σταθμός βάσης είναι σε θέση να εξυπηρετήσει τον τερματικό σταθμό. Η περιοχή κάλυψης του σταθμού βάσης υπολογίζεται με τη λαμβανόμενη ισχύς σήματος ή με μετρήσεις που πραγματοποιούνται μέσω δορυφόρων.
- Μια λίστα γειτονικών σταθμών βάσης και ενδιάμεσων κόμβων.

Στις διαπομπές που πραγματοποιούνται μεταξύ ενός προϋπάρχοντος συστήματος και ενός συστήματος νέας γενιάς η επιλογή της νέας κυψέλης εξυπηρέτησης θα βασίζεται σε διάφορες παραμέτρους. Οι παράμετροι [DÖT], αυτοί είναι:

- **Οι δυνατότητες του δικτύου:** Τα προϋπάρχοντα συστήματα δεν μπορούν να υποστηρίξουν όλες τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν τα συστήματα νέας γενιάς. Ακόμα τα συστήματα νέας γενιάς μπορούν να παρέχουν μερικές μόνο από τις υπηρεσίες λόγω περιορισμών στο εύρος ζώνης.
- **Οι δυνατότητες των τερματικών σταθμών:** Τα τερματικά θα

ταξινομούνται σύμφωνα με την απόδοση τους. Πολλές φορές η απόδοση των τερματικών θυσιάζεται για την επίτευξη μικρότερου μεγέθους, μεγαλύτερης διάρκειας μπαταρίας και χαμηλότερου κόστους.

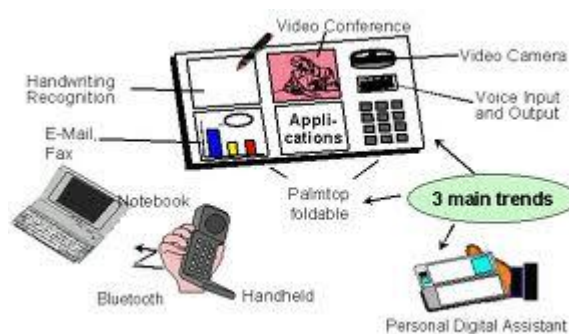
- **Οι προτιμήσεις των χρηστών:** Ο χρήστης μπορεί να είναι σε θέση να επιλέξει κάποια χαρακτηριστικά των δικτύων για να ικανοποιήσει τις προσωπικές του ανάγκες
- **Διαχωρισμός των χρηστών σύμφωνα με τη χρήση:** Ο πάροχος μπορεί να διαχωρίζει τους χρήστες ανάλογα με τη χρήση που κάνουν και να τους κατανέμει σε κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές συνδέονται και με διαφορετικά επίπεδα απόδοσης
- **Παράμετροι υψηλού επιπέδου:** Η αρχιτεκτονική του δικτύου θα πρέπει να είναι ευέλικτη ώστε να μπορούν να γίνουν και άλλες μετρήσεις που αφορούν στοιχεία του δικτύου.

Οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα και με απαίτηση του χρήστη. Έτσι, ο σταθμός βάσης θα πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει μέσω ενός καναλιού σηματοδότησης τις μετρούμενες τιμές [DÖT]. Η γνώση αυτή επιτρέπει κάνει πιο εύκολη τη διαπομπή μεταξύ των κυψελών, αφού ο χρήστης γνωρίζει τις κυψέλες των προϋπαρχόντων συστημάτων και ενημερώνεται για τις τιμές άλλων δικτύων [DÖT]. Εκτός από αυτό το κανάλι σηματοδότησης θα είναι δυνατό να χρησιμοποιεί πόρους του συστήματος που δεν χρησιμοποιούνται για μετάδοση αλλά παραμένουν ελεύθερα για να μεταφέρουν μετρήσεις [DÖT].

Τα πακέτα των χρηστών ταξινομούνται σύμφωνα με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας [DÖT]. Κάθε υπηρεσία ελέγχεται χωριστά. Η ποιότητα υπηρεσίας πρέπει να είναι διαπραγματεύσιμη από την αρχή της συνόδου αλλά και να υπάρχει η δυνατότητα επαναδιαπραγμάτευσης κατά τη διάρκεια της. Σε κάθε υπηρεσία υπάρχουν πληροφορίες που βοηθούν το σύστημα να τις αξιολογεί [DÖT]. Μια τέτοια πληροφορία είναι η διάρκεια πακέτου όπου αν λήξει το πακέτο απορρίπτεται χωρίς να δεσμεύει πόρους του συστήματος. Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζεται τις προτεραιότητες πακέτων [DÖT]. Αυτοί οι μηχανισμοί θα πρέπει να λειτουργούν σε διάφορα επίπεδα πρωτοκόλλων [DÖT]. Οι απαιτήσεις σε ρυθμούς μετάδοσης μετρίεται σε όλη τη διάρκεια της σύνδεσης ώστε να μείνει μεταξύ των απαιτούμενων ορίων [DÖT].

## 2.4 Απαιτήσεις τερματικών

Τα τερματικά των χρηστών ποικίλουν σε μέγεθος, βάρος, διάρκεια μπαταρίας και λειτουργίες [DÖT]. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες πρέπει να μπορούν να υποστηριχτούν από όλα τα είδη συσκευών άσχετα από το κόστος τους, την πολυπλοκότητά τους και τις δυνατότητές τους [DÖT]. Η κατανάλωση ενέργειας είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας αφού από αυτόν εξαρτάται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Οι χρόνοι ομιλίας και αναμονής θα πρέπει να είναι συγκρίσιμοι αν όχι καλύτεροι από τα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς. Η ισχύς εκπομπής εκτός από το γεγονός ότι επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να



Σχήμα 2.6 Είδη τερματικών και υπηρεσίες [ITU]

γίνεται αποδοτική χρήση του φάσματος [DÖT]. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται απαιτούν μεγάλη επεξεργασία εικόνας ώστε να υπάρχει υψηλή ποιότητα εικόνας. Οι απαιτήσεις των χρηστών για τέτοιες εφαρμογές δημιουργούν και απαιτήσεις στα τερματικά των χρηστών. Οι τεχνικές επεξεργασίας σημάτων στις κεραίες βελτιώνονται με σκοπό την βελτίωση του σηματοθορυβικού λόγου, την αύξηση των ρυθμών δεδομένων και τη χωρητικότητα του συστήματος [DÖT]. Τέλος, οι κεραίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξοικονομείται ενέργεια, πολυπλοκότητα και χρήμα.

## 2.5 Απαιτήσεις απόδοσης

Η απόδοση του συστήματος μετριέται στη μεριά του χρήστη και στη μεριά των παρόχων. Στη μεριά του χρήστη οι παράγοντες που υπολογίζονται είναι ο χρόνος



που απαιτείται για την μετάδοση ενός αρχείου, για να κατέβει μια ιστοσελίδα και για να ανταποκριθεί μια εφαρμογή παιχνιδιών. Το πρωτόκολλο μετάδοσης δεν αφορά το χρήστη και έτσι η απόδοση από τη μεριά του χρήστη είναι ανεξάρτητη από αυτό το πρωτόκολλο [DÖT].

Στη μεριά του παρόχου αυτό που ενδιαφέρει είναι η αποδοτική χρήση φάσματος με όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος [DÖT]. Το φάσμα συχνοτήτων θα πρέπει να παρέχει μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών με το μέγιστο αριθμό χρηστών ανά κυψέλη [DÖT]. Η ποιότητα των υπηρεσιών θα πρέπει να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα [DÖT].

### **2.5.1 Κάλυψη**

Η κάλυψη είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τα συστήματα WINNER. Η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται είναι ότι πρέπει να καλύπτει το 95% της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής σε συνθήκες μέγιστης κίνησης [DÖT]. Αυτό το ποσοστό αποτελεί το στόχο κάλυψης για τις περιοχές παροχής υπηρεσιών. Το υπόλοιπο 5% αφορά χρήστες που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης όπου επικρατούν συνθήκες υψηλής σκίασης [DÖT]. Η κάλυψη αυτή πρέπει να συνδυάζεται με αποδοτικότητα του φάσματος σε συνθήκες μεγάλου φορτίου κίνησης. Ένας σημαντικός παράγοντας για την κάλυψη είναι το είδος της εφαρμογής.

### **2.5.2 Ρυθμοί μετάδοσης**

Η ρυθμοαπόδοση (throughput) των χρηστών είναι ο αριθμός των σωστά ληφθέντων bits στο επίπεδο IP για μια συγκεκριμένη κατεύθυνση άνω και κάτω ζεύξης. Οι μετρήσεις γίνονται υπολογίζοντας τις απώλειες πακέτων και τις επαναμεταδόσεις χωρίς να συμπεριλαμβάνονται τα προοίμια, οι επικεφαλίδες και η σηματοδότηση [DÖT]. Τα πακέτα θεωρείται ότι είναι λανθασμένα αν έχουν ένα σφάλμα ή αν έχουν πολύ μεγάλη καθυστέρηση. Οι συναρτήσεις που κωδικοποιούν, συμπιέζουν και κρυπτογραφούν την επικεφαλίδα δε υπολογίζονται σαν παράγοντες απόδοσης του συστήματος [DÖT].

Σε ιδανικές συνθήκες μετάδοσης δεδομένων μετριέται το throughput των χρηστών αν όλοι οι πόροι του συστήματος εξυπηρετούν ένα και μόνο χρήστη. Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για την κάτω ζεύξη θα είναι 100Mbps σε

μακροκυψελικές προσομοιώσεις και 1Gbps για προσομοιώσεις τοπικής σύνδεσης [DÖT]. Το φάσμα που χρησιμοποιείται είναι 100MHz όπου χρησιμοποιείται τουλάχιστον το μισό από αυτό είτε για την άνω είτε για την κάτω ζεύξη.

### ***2.5.3 Ανεκτός ρυθμός μετάδοσης***

Σε ένα κυψελωτό σύστημα ο ανεκτός ρυθμός μετάδοσης ορίζεται σαν τη ρυθμοαπόδοση ενός μέσου χρήστη που επιτυγχάνεται σε μια τυπική περίοδο λειτουργίας της υπηρεσίας. Θα πρέπει να συμπεριληφθούν σε αυτό το μοντέλο οι χρήστες που στιγμιαία μπορούν να εξυπηρετηθούν με έναν ρυθμό μετάδοσης τέτοιο ώστε να εξυπηρετούνται ικανοποιητικά [DÖT]. Η μέτρηση αυτή θεωρείται ισοδύναμη με το μέγιστο αριθμό χρηστών που χρησιμοποιούν την υπηρεσία με την αναμενόμενη ποιότητα. Στο σενάριο υποθέτουμε πως σε περίπτωση που οι χρήστες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από την κυψέλη θεωρείται αναμενόμενο πως θα γίνει μετάθεση του φορτίου σε γειτονική κυψέλη και οι πόροι κατανέμονται ομοιόμορφα μεταξύ των κυψελών [DÖT].

### ***2.5.4 Επιτρεπτός ρυθμός σφαλμάτων***

Ο επιτρεπτός ρυθμός σφαλμάτων εξαρτάται από την ύπαρξη συναρτήσεων και δικλείδων ασφαλείας και από το είδος της εφαρμογής. Οι εφαρμογές που περιλαμβάνουν πληρωμές μέσω internet και οικονομικές συναλλαγές θα πρέπει να μην έχουν κανένα σφάλμα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους [DÖT]:

- τεχνικές ελέγχου σφαλμάτων οι οποίες χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία
- τεχνικές αυτόματης επανάληψης ARQ

Έτσι τα σφάλματα μετάδοσης θεωρούνται πρόσθετη καθυστέρηση και δεν χρειάζεται να ληφθεί κανένα επιπλέον μέτρο.

### ***2.5.5 Καθυστέρηση στο επίπεδο χρήστη***

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η καθυστέρηση στο επίπεδο χρήστη είναι ο χρόνος που μεσολαβεί ώστε ένα πακέτο να είναι διαθέσιμο στο IP στρώμα στο τερματικό του χρήστη μέχρι να γίνει διαθέσιμο στο IP στρώμα στο

σταθμό βάσης και αντίστροφα [DÖT]. Συμπεριλαμβάνει την καθυστέρηση που εισάγεται από πρωτόκολλα που εμπλέκονται σε αυτή τη διαδικασία και σηματοδοσία ελέγχου θεωρώντας πάντα πως ο χρήστης είναι ενεργός. Στην καθυστέρηση αυτή δε συμπεριλαμβάνεται η επίδραση συναρτήσεων συμπίεσης επικεφαλίδας, κρυπτογράφησης και καθυστερήσεις που οφείλονται σε καθυστερήσεις μεταφοράς μεταξύ σταθμού βάσης και πύλης εξόδου [DÖT].

Μετριέται σε ιδανικές συνθήκες μετάδοσης σε ένα σύστημα στο οποίο δεν υπάρχει φορτίο κίνησης και θεωρείται η καθυστέρηση που μπορεί να επιτευχθεί. Ορίζεται για μετάδοση όπου δεν περιλαμβάνεται ενδιάμεσος κόμβος για ελάχιστο μέγεθος πακέτου IP.

Σκοπός των συστημάτων WINNER είναι να επιτρέψει η καθυστέρηση πακέτου στο επίπεδο χρήστη να είναι λιγότερη από 1ms στην κάτω ζεύξη και λιγότερη από 2ms στην άνω ζεύξη. Αυτός ο στόχος είναι για σύστημα που δεν έχει φορτίο κίνησης και δεν περιλαμβάνεται ενδιάμεσος κόμβος στη μετάδοση. Στην περίπτωση όπου περιλαμβάνεται ένας ενδιάμεσος κόμβος η καθυστέρηση πακέτου στο επίπεδο χρήστη είναι λιγότερη από 5ms [DÖT].

Με την επίτευξη αυτών των στόχων η αναμετάδοση (hybrid ARQ) μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της ζεύξης όπως φαίνεται στα ανώτερα στρώματα [DÖT]. Στην περίπτωση κινούμενου χρήστη με αρκετά υψηλή ταχύτητα υπάρχει η δυνατότητα ενημέρωσης για την ποιότητα του καναλιού ώστε να βελτιώνεται πάρα πολύ η επικοινωνία και να αποφεύγονται οι διαλείψεις καναλιού. Σε επίπεδο δικτύου η καθυστέρηση θα είναι το πολύ 20ms [DÖT].

## **2.6 Φασματική απόδοση**

Η φασματική απόδοση εξαρτάται από πάρα πολλές παραμέτρους. Η μέγιστη φασματική απόδοση μετριέται με το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε μια κυψέλη διαιρεμένη με το εύρος ζώνης. Εξαρτάται από την πολυπλεξία και τη διαμόρφωση και θεωρείται ενδεικτική τιμή αφού δεν γνωρίζουμε πόσο συχνά εμφανίζεται η μέγιστη τιμή. Έτσι για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους μετριέται σε ένα σημείο λειτουργίας του συστήματος όπου θεωρείται ότι ο χρήστης εξυπηρετείται σε ικανοποιητικό βαθμό. Για τα συστήματα WINNER αυτό το όριο είναι να έχει το 95% των χρηστών ένα μέσο throughput μεγαλύτερο ή ίσο των

2Mbps σε ενεργές συνδέσεις [DÖT].

Η φασματική απόδοση ορίζεται σαν το άθροισμα των throughput όλων των χρηστών που ικανοποιούνται από μια κυψέλη διαιρεμένο με το εύρος ζώνης του συστήματος χωριστά για κάθε κατεύθυνση (άνω και κάτω ζεύξη). Υπολογίζεται σε συνθήκες μέγιστου φορτίου όπου όμως υπάρχει ικανοποίηση των χρηστών από πλευράς καθυστέρησης και ρυθμών μετάδοσης [DÖT].

Η εναλλακτική επιλογή είναι οι μετρήσεις να γίνουν ανά site. Οι ασύρματοι τομείς ανά κυψέλη μπορούν να αυξήσουν τη φασματική απόδοση αν αυξηθούν. Στις προσομοιώσεις κάθε τομέας θεωρείται μια ανεξάρτητη κυψέλη [DÖT]. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι προσθέτουν στη χωρητικότητα του σταθμού βάσης αλλά δεν υπολογίζονται σαν ανεξάρτητη κυψέλη.

Ο στόχος των συστημάτων WINNER μετριέται σε συνθήκες όπου ικανοποιείται ο χρήστης κατά το όριο που έχει τεθεί. Η σύγκριση μεταξύ συστημάτων είναι εφικτή μόνο όταν τα δύο συστήματα πληρούν τα ίδια κριτήρια ικανοποίησης του χρήστη. Η μέγιστη φασματική απόδοση ανά συνδεδεμένα sites σε κάθε περιοχή που γίνεται η προσομοίωση [DÖT] είναι:

- Wide-area: Ο επιθυμητός στόχος για την κάτω ζεύξη είναι 2bps/Hz/cell και για την άνω ζεύξη 1bps/Hz/cell.
- Metropolitan-area: Ο επιθυμητός στόχος για την κάτω ζεύξη είναι 3bps/Hz/cell και για την άνω ζεύξη 1.5bps/Hz/cell.
- Local-area: Ο επιθυμητός στόχος για την κάτω ζεύξη είναι 10bps/Hz/cell και για την άνω ζεύξη 5bps/Hz/cell.

### ***2.6.1 Μέγιστη ταχύτητα τερματικού***

Στο προηγούμενο κεφάλαιο ορίσαμε την κινητικότητα που γίνεται δεκτή από τα συστήματα WINNER. Η μέγιστη ταχύτητα του τερματικού είναι 500km/h και θεωρείται ότι προσομοιώνει το χρήστη που βρίσκεται σε πολύ υψηλής ταχύτητας τρένο. Η κινητικότητα του χρήστη έχει αυτό το όριο γιατί τα κανάλια επικοινωνίας περιορίζονται από την ολίσθηση Doppler [DÖT]. Οι υπηρεσίες που παρέχονται σε ένα τέτοιο χρήστη θεωρούνται πως είναι χαμηλού ρυθμού μετάδοσης και πως υπάρχει μειωμένη χωρητικότητα κυψέλης.

## 2.6.2 Απαιτήσεις φάσματος

Οι απαιτήσεις των συστημάτων WINNER σε φάσμα σε συνδυασμό με όλες τις υπόλοιπες απαιτήσεις τους είναι ότι πρέπει να λειτουργούν στην περιοχή των 2.7-5.0GHz [DÖT]. Τα συστήματα WINNER καλούνται να συνυπάρξουν με τα συστήματα προηγούμενων γενεών. Έτσι, θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν σε όλες τις μπάντες συχνοτήτων (800-900MHz, 1800-1900MHz, 2GHz και 2.6GHz) [DÖT] που έχουν χρησιμοποιηθεί από τα κυψελωτά συστήματα κατά καιρούς. Σε περίπτωση που γίνει αυτό η απόδοση των συστημάτων από πλευράς ρυθμού μετάδοσης δε θα είναι η επιθυμητή. Η απόδοση των πόρων θα πρέπει να γίνεται με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις των χρηστών.

Το εύρος ζώνης του καναλιού θα έχει ως άνω όριο τα 100MHz και ως κάτω όρια τα 1.25MHz για TDD και τα 2.5MHz για duplex FDD [DÖT]. Το άνω όριο δεν προσεγγίζεται με ένα μόνο φέρον των 100MHz αλλά με διαφορετικά φέροντα τα οποία αθροιζόμενα θα δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα [DÖT]. Έτσι τα συστήματα αυτά θα πρέπει να είναι σε θέση να χειριστούν αυτά τα φέροντα αποτελεσματικά. Το φάσμα θα πρέπει να διαμοιράζεται μεταξύ διαφορετικών δικτύων εντός του συστήματος αλλά και διαφορετικών τύπων κυψελών δυναμικά. Τα δίκτυα και οι κυψέλες θα πρέπει να μπορούν να κάνουν χρήση του φάσματος ακόμα και αν αυτό αποδίδεται σταδιακά και όχι κατευθείαν ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις κίνησης [DÖT]. Αυτό αφορά τις καθημερινές απαιτήσεις των χρηστών αλλά και την αύξηση του αριθμού των συνδρομητών που ενδέχεται να συμβεί. Τέλος, το συνολικό εύρος ζώνης του συστήματος σε σχέση με τα συστήματα προηγούμενης γενιάς θα πρέπει να είναι το ελάχιστο δυνατό.

### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[ΘΕΟ] Μ.Ε.Θεολόγου, *Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007

[ART] [http://www.artizanetworks.com/lte\\_tut\\_han\\_pro.html](http://www.artizanetworks.com/lte_tut_han_pro.html)

[DÖT] Martin Döttling, Werner Mohr, Afif Osseiran, *Radio Technologies and Concepts for IMT-Advanced*, Wiley, 2009

[FRI] <http://withfriendship.com/user/crook/metropolitan-area-network.php>

[ITU] <http://www.itu.int>

[ITU4] ITU-R, *Framework for services supported by IMT*, 2007

[TECH] <http://techshiv.blogspot.com/2011/05/wide-area-network.html>

[TGI]<http://blogs.sch.gr/tgiakoum>

[WIN] <http://www.ist-winner.org/>

[WIN1] Pekka Kyösti, Juha Meinilä, Lassi Hentilä, Xiongwen Zhao, Tommi Jämsä, Christian Schneider, Milan Narandžić, Marco Milojević, Alhua Hong, Juha Ylitalo, Veli-Matti Holappa, Mikko Alatossava, Robert Bultitude, Yvo de Jong, Terhi Rautiainen, *WINNER II Channel Models*, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

[WIN2] Jussi Ojala, Tim Irnich, Marja Matinmikko, Miia Mustonen, Pekka Ojanen, Claes Eriksson, *Spectrum requirements for systems beyond IMT-2000*, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

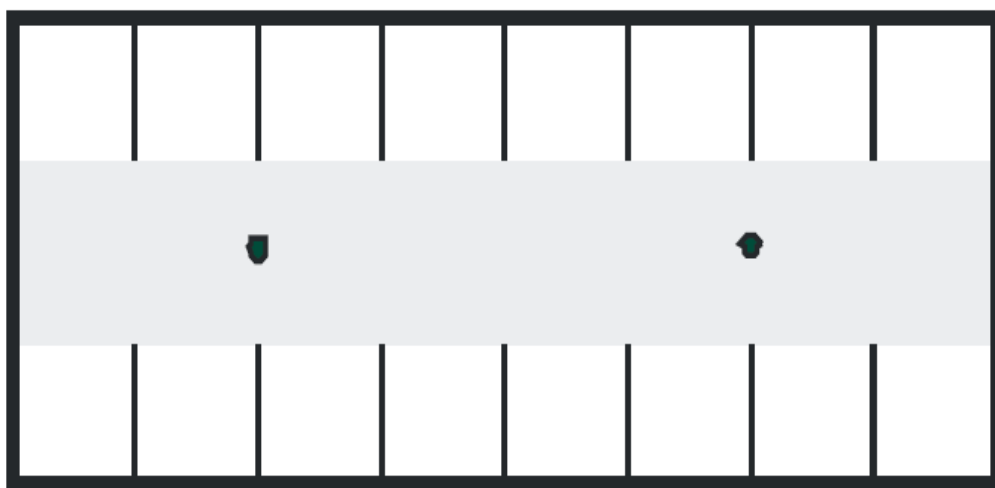
[WIN3] Ari Hulkkonen, Juha Meinilä, Marko Leinonen, *Detailed WINNER II system trial plan for Phase III trials*, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

### 3. Περιβάλλοντα προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα διάφορα περιβάλλοντα προσομοίωσης και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους. Τα χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνουν μια γενική περιγραφή του περιβάλλοντα χώρου και τον τύπο των κυψελών που χρησιμοποιούν. Στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικές παράμετροι καθώς και οι παράμετροι που αφορούν τις προσομοιώσεις ζεύξης και συστήματος. Τέλος, για κάθε περιβάλλον παραθέτονται οι τύποι για τις απώλειες διάδοσης σε περίπτωση οπτικής και μη οπτικής επαφής με την κεραία του τερματικού.

#### 3.1 Εσωτερικού χώρου hotspot (B3)

Στο περιβάλλον αυτό έχουμε δύο σημεία ασύρματης πρόσβασης στο διαδίκτυο. Τα σημεία αυτά παρέχουν πρόσβαση σε ολόκληρη περιοχή εσωτερικού χώρου μικρής εμβέλειας. Η περιοχή αυτή είναι ένας όροφος κτιρίου, που αποτελείται από 16 δωμάτια διαστάσεων  $15 \times 15\text{m}$  και ένα μακρύ διάδρομο  $120 \times 20\text{m}$  [ITU1] όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Ο όροφος προφανώς περιορίζεται από το ταβάνι και έχει ύψος 6m. Στο κέντρο του διαδρόμου στα 30m και στα 90m από την αριστερή πλευρά τοποθετούνται τα δύο hotspots.



*Σχήμα 3.1 Σημεία τοποθέτησης hotspot σε όροφο [ITU]*

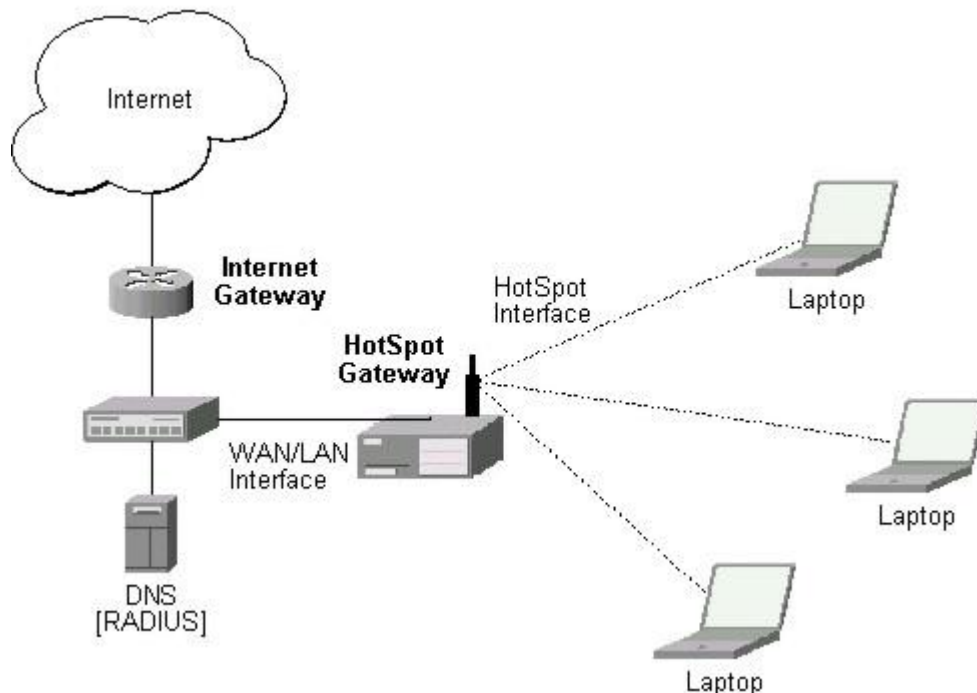
Οι κυψέλες που χρησιμοποιούνται σε αυτό το περιβάλλον είναι μικροκυψέλες.

Οι χρήστες που εξυπηρετούνται σε αυτό το περιβάλλον είναι κυρίως στατικοί δηλαδή δεν βρίσκονται σε κίνηση. Από το χώρο εξυπηρέτησης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα τερματικά των χρηστών βρίσκονται πάνω σε γραφεία και πρόκειται στην πλειοψηφία τους για σταθερούς υπολογιστές ή laptops. Τα κύρια χαρακτηριστικά σε αυτό το περιβάλλον είναι το υψηλό throughput, δηλαδή ο όγκος κίνησης και η μεγάλη πυκνότητα των χρηστών.

### 3.1.1 Παράμετροι περιβάλλοντος

#### 3.1.1.1 Βασικές παράμετροι

Οι στοιχειοκεραίες που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης είναι το πολύ 8 πομποί και 8 δέκτες, ενώ το σύστημα κεραιών στην πλευρά του χρήστη θα είναι το πολύ 2×2 [ITU1]. Η κεραία του σταθμού βάσης θα περιορίζεται από το ταβάνι με ύψος 6m όσο δηλαδή το ύψος του ορόφου. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του τερματικού χρήστη και της κυψέλης που εξυπηρετεί την κλήση είναι 3m. Η συχνότητα φέροντος είναι 3.4GHz [ITU1]. Τέλος, η συνολική ισχύς που εκπέμπεται από το σταθμό βάσης είναι 24dBm για 40 MHz και 21dBm για 20M Hz και η κλάση ισχύος του τερματικού χρήστη ανέρχεται στα 21dBm [ITU1].



Σχήμα 3.2 Παράδειγμα σύνδεσης σε hotspot [MIK]



Ειδικότερα για τη μέτρηση της μέγιστης φασματικής απόδοσης ο αριθμός των στοιχειοκεραιών του σταθμού βάσης είναι το πολύ 4 πομποί και 4 δέκτες ενώ το σύστημα κεραιών που χρησιμοποιείται στην πλευρά του χρήστη θα είναι 2 πομποί και 4 δέκτες [ITU1].

### 3.1.1.2 Προσομοίωση συστήματος

Στην προσομοίωση συστήματος η απόσταση μεταξύ των σημείων είναι 60m και το μοντέλο καναλιού που χρησιμοποιείται είναι το hotspot εσωτερικού χώρου (InH). Η διασπορά των χρηστών στην περιοχή γίνεται τυχαία και ομοιόμορφα. Η ταχύτητα των τερματικών χρήστη θεωρείται ίδια για όλα τα τερματικά και παραμένει σταθερή. Ειδικά για αυτό το περιβάλλον θεωρούμε πως η πλειοψηφία των χρηστών δεν παρουσιάζει μεγάλη κινητικότητα αλλά χρησιμοποιεί τα τερματικά από ένα συγκεκριμένο σημείο (γραφείο). Οι χρήστες που παρουσιάζουν κινητικότητα είναι πεζοί και κινούνται εντός εσωτερικού χώρου [ITU1]. Η διασπορά της κατεύθυνσης της κίνησης είναι τυχαία και ομοιόμορφη στο χώρο. Η ταχύτητα που μας ενδιαφέρει είναι 3km/h [ITU1]. Για τον υπολογισμό της παρεμβολής έχει θεωρηθεί πως οι χρήστες τοποθετούνται ικανοποιητικά αραιά ώστε να αποφευχθεί η παρεμβολή όσο είναι δυνατόν. Ο θόρυβος του σταθμού βάσης είναι 5dB ενώ για το χρήστη ανέρχεται στα 7dB [ITU1]. Το κέρδος των κεραιών του σταθμού βάσης και του τερματικού χρήστη είναι 0 dBi. Τέλος, το επίπεδο θερμικού θορύβου είναι -174dBm/Hz [ITU1].

Ειδικά για την μέτρηση της φασματικής απόδοσης κυψέλης και της φασματικής απόδοσης στα όρια της κυψέλης οι προσομοιώσεις πρέπει να γίνονται σε τέτοια χρονική περίοδο ώστε να έχουμε ομοιομορφία των αποτελεσμάτων. Θεωρούμε πως οι υπηρεσίες παρέχονται με χρήση πλήρους buffer άπειρης ουράς αναμονής και καταβάλλεται η μέγιστη προσπάθεια να ικανοποιηθούν οι χρήστες. Ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετεί κάθε κυψέλη είναι 10 και το εύρος ζώνης είναι 20+20MHz για FDD και 40MHz για TDD [ITU1]. Για τη χωρητικότητα VoIP για κάθε προσομοίωση, ο χρόνος ζωής είναι 20sec και το εύρος ζώνης είναι 5+5MHz για FDD και 10MHz για TDD [ITU1]. Οι παράμετροι έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν οι προσομοιώσεις σε ένα εφικτό χρονικό διάστημα και να μην αυξάνεται πολύ η πολυπλοκότητα τους.

### 3.1.1.3 Προσομοίωση ζεύξης

Σε αυτή την προσομοίωση το μοντέλο καναλιού είναι πάλι το hotspot εσωτερικού χώρου (InH). Ο buffer που χρησιμοποιείται θεωρείται γεμάτος και ότι κάνει τη βέλτιστη προσπάθεια εξυπηρέτησης του χρήστη. Το εύρος ζώνης των προσομοιώσεων είναι 10MHz και υπάρχει ένας χρήστης σε κάθε προσομοίωση [ITU1].

### 3.1.2 Μοντέλα απωλειών

Τα μοντέλα απωλειών έχουν μετρηθεί σε δύο συνθήκες οπτικής επαφής και μη οπτικής επαφής. Η συχνότητα μετρείται σε GHz και η απόσταση σε m.

Για το μοντέλο όπου υπάρχει οπτική επαφή η απόσταση στην οποία εφαρμόζεται είναι  $3m < d < 100m$ . Το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης κυμαίνεται από 3 ως 6m και της κεραίας τερματικού χρήστη από 1 ως 2.5m [ITU1]. Ο τύπος υπολογισμού των απωλειών [ITU1] είναι:

$$PL = 16.9 \log_{10}(d) + 32.8 + 20 \log_{10}(f_c) \quad (3.1)$$

Στην περίπτωση αυτή η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=3\text{dB}$  [ITU1]. Η πιθανότητα να υπάρχει οπτική επαφή είναι

$$P_{Los} = \begin{cases} 1, & d \leq 18 \\ \exp(-(d-18)/27), & 18 < d < 37 \\ 0.5, & d \geq 37 \end{cases} \quad (3.2)$$

Για το μοντέλο όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ κεραίας και κινητού χρήστη η απόσταση είναι  $10m < d < 150m$  [ITU1]. Τα ύψη των κεραιών παραμένουν ίδια με το μοντέλο όπου υπάρχει οπτική επαφή, δηλαδή το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης κυμαίνεται από 3 ως 6m και της κεραίας τερματικού χρήστη από 1 ως 2.5m [ITU1]. Ο τύπος υπολογισμού των απωλειών [ITU1] είναι:

$$PL = 43.3 \log_{10}(d) + 11.5 + 20 \log_{10}(f_c) \quad (3.3)$$

Στην περίπτωση αυτή η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=4\text{dB}$  [ITU1].

## **3.2 Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μικροκυψέλες (B1- B4)**

Το περιβάλλον αυτό είναι μεγάλη πόλη ή αστικό κέντρο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3. Η πυκνότητα χρηστών είναι μεγάλη. Εδώ μας ενδιαφέρουν μόνο οι χρήστες που κινούνται σε εξωτερικούς χώρους αλλά και όσοι μεταβαίνουν από έναν εξωτερικό χώρο σε έναν εσωτερικό. Σε αυτό το περιβάλλον δεν καλύπτεται η μετάβαση από εξωτερικό χώρο σε όχημα. Οι μικροκυψέλες περιορίζονται από τις παρεμβολές

Θεωρούμε πως υπάρχει διάταξη τύπου Manhattan. Ακόμη, θεωρείται πως πάντα υπάρχει οπτική επαφή πομπού και δέκτη εκτός από την περίπτωση που αυτή διακόπτεται προσωρινά με κάποιο εμπόδιο. Στην περίπτωση που δεν έχουμε οπτική επαφή θεωρείται πως λόγω ανακλάσεων είναι δυνατό να εξυπηρετηθεί ο χρήστης.

### ***3.2.1 Παράμετροι περιβάλλοντος***

#### **3.2.1.1 Βασικές παράμετροι**

Οι στοιχειοκεραίες που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης είναι το πολύ 8 πομποί και 8 δέκτες, ενώ το σύστημα κεραιών στην πλευρά του χρήστη θα είναι το πολύ 2×2 [ITU1]. Η κεραία του σταθμού βάσης βρίσκεται στα 10m δηλαδή ακριβώς κάτω από την οροφή κτιρίων σε εξωτερικό χώρο. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των τερματικών χρήστη και της κυψέλης που τον εξυπηρετεί είναι 10m [ITU1]. Η συχνότητα φέροντος είναι 2.5GHz [ITU1]. Τέλος, η συνολική ισχύς που εκπέμπεται από το σταθμό βάσης είναι 41dBm για 10 MHz και 44dBm για 20 MHz και η κλάση ισχύος του τερματικού χρήστη ανέρχεται στα 24dBm [ITU1].

Ειδικότερα για τη μέτρηση της μέγιστης φασματικής απόδοσης ο αριθμός των στοιχειοκεραιών του σταθμού βάσης είναι το πολύ 4 πομποί και 4 δέκτες ενώ το σύστημα κεραιών που χρησιμοποιείται στην πλευρά του χρήστη θα είναι 2 πομποί και 4 δέκτες [ITU1].



*Σχήμα 3.3 Μικροκυψέλες σε αστική περιοχή[AMP]*

### **3.2.1.2 Προσομοίωση συστήματος**

Στην προσομοίωση συστήματος η διάταξη είναι εξαγωνική με την απόσταση ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης να είναι 200m. Το μοντέλο καναλιού που χρησιμοποιείται είναι το αστικό με χρήση μικροκυψελών (UMi). Η διασπορά των χρηστών στην περιοχή γίνεται τυχαία και ομοιόμορφα. Η ταχύτητα των τερματικών χρήστη θεωρείται ίδια για όλα τα τερματικά και παραμένει σταθερή. Θεωρούμε πως το 50% των χρηστών είναι εντός εσωτερικών χώρων και το υπόλοιπο 50% είναι πεζοί σε εξωτερικούς χώρους [ITU1]. Η διασπορά της κατεύθυνσης της κίνησης είναι τυχαία και ομοιόμορφη στο χώρο. Η ταχύτητα που μας ενδιαφέρει είναι 3km/h εφόσον μας απασχολούν χρήστες που μετακινούνται χωρίς οχήματα [ITU1]. Για τον υπολογισμό της παρεμβολής έχει θεωρηθεί πως οι χρήστες τοποθετούνται ικανοποιητικά αραιά ώστε να αποφευχθεί. Ο θόρυβος του σταθμού βάσης είναι 5dB ενώ για το χρήστη ανέρχεται στα 7dB [ITU1]. Το κέρδος των κεραιών του σταθμού βάσης είναι 17dBi και του τερματικού χρήστη είναι 0 dBi [ITU1]. Τέλος, το επίπεδο θερμικού θορύβου είναι -174dBm/Hz [ITU1].

Ειδικά για την μέτρηση της φασματικής απόδοσης κυψέλης και της φασματικής απόδοσης στα όρια της κυψέλης, οι προσομοιώσεις πρέπει να γίνονται σε τέτοια χρονική περίοδο ώστε να έχουμε ομοιομορφία των αποτελεσμάτων. Αυτή η συνθήκη ισχύει για όλα τα περιβάλλοντα που θα μελετήσουμε. Θεωρούμε πως οι υπηρεσίες παρέχονται με τον buffer να είναι γεμάτος και δυνατότητα να περιμένουν άπειρα πακέτα για να εξυπηρετηθούν. Ο buffer χαρακτηρίζεται σαν μέγιστης προσπάθειας. Ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετεί κάθε κυψέλη είναι 10 και το

εύρος ζώνης είναι 10+10MHz για FDD και 20 MHz για TDD [ITU1]. Για τη χωρητικότητα VoIP, σε κάθε προσομοίωση ο χρόνος ζωής είναι 20 sec και το εύρος ζώνης είναι 5+5MHz για FDD και 10MHz για TDD [ITU1]. Οι παράμετροι έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να καθιστούν τις προσομοιώσεις και πρακτικά πραγματοποιήσιμες με τη μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα.

### 3.2.1.3 Προσομοίωση ζεύξης

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται εδώ είναι το αστικό με μικροκυψέλες (UMi). Ο buffer που χρησιμοποιείται θεωρείται πλήρης και βέλτιστης προσπάθειας εξυπηρέτησης. Το εύρος ζώνης των προσομοιώσεων είναι 10 MHz και υπάρχει ένας χρήστης σε κάθε προσομοίωση [ITU1].

### 3.2.2 Μοντέλα απωλειών

Τα μοντέλα απωλειών έχουν μετρηθεί σε δύο συνθήκες οπτικής επαφής και μη οπτικής επαφής. Στην περίπτωση οπτικής επαφής θεωρούμε πως έχουμε τύπο Manhattan και εξαγωνική διάταξη στις κυψέλες. Στο περιβάλλον αυτά οι απώλειες μετρώνται χωριστά για την περίπτωση που έχουμε μετάβαση από ένα εξωτερικό χώρο σε ένα εσωτερικό χώρο. Η συχνότητα μετριέται σε GHz και η απόσταση σε m.

Για το μοντέλο όπου υπάρχει οπτική επαφή θα πρέπει να υπολογίσουμε το σημείο θλάσης (break point). Υπολογίζουμε τα αποτελεσματικά ύψη κεραιών όπου είναι τα πραγματικά ύψη μειωμένα κατά 1m [ITU1]. Ο τύπος από τον οποίο υπολογίζουμε το σημείο θλάσης [ITU1] είναι

$$d'_{BP} = 4h'_{BS}h'_{UT} \frac{f_c}{c} \quad (3.4)$$

Όπου  $h'_{BS}$  το αποτελεσματικό ύψος της κεραιάς σταθμού βάσης

$h'_{UT}$  το αποτελεσματικό ύψος κεραιάς τερματικού χρήστη

$f_c$  η κεντρική συχνότητα και

$c$  η ταχύτητα διάδοσης στο κενό.

Το ύψος κεραιάς σταθμού βάσης είναι 10m και το ύψος της κεραιάς τερματικού χρήστη είναι 1.5m [ITU1]. Οι απώλειες υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους [ITU1]

$$PL = \begin{cases} 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c), 10m < d_1 < d'_{BP} \\ 40 \log_{10}(d_1) + 7.8 - 18 \log_{10}(h'_{BS}) - 18 \log_{10}(h'_{UT}) \\ + 2 \log_{10}(f_c), d'_{BP} < d_1 < 5000m \end{cases} \quad (3.5)$$

Για τις δύο αυτές περιπτώσεις η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=3\text{dB}$  [ITU1].

Η πιθανότητα να υπάρχει οπτική επαφή βρίσκεται από τον παρακάτω τύπο που ισχύει για εξωτερικούς χώρους [ITU1].

$$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36) \quad (3.6)$$

Στην περίπτωση της εξαγωνικής διάταξης κυψέλης η απόσταση κυμαίνεται  $10m < d < 2000m$  με το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης να είναι  $10m$  και το ύψος της κεραίας του τερματικού χρήστη να κυμαίνεται από  $1$  ως  $2.5m$ . Οι απώλειες [ITU1] δίνονται από τον τύπο

$$PL = 36.7 \log_{10}(d) + 22.7 + 26 \log_{10}(f_c) \quad (3.7)$$

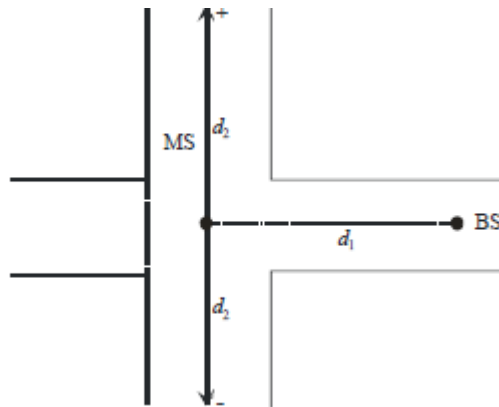
Στην περίπτωση της διάταξης τύπου Manhattan [ITU1]

$$PL = \min(PL(d_1, d_2), PL(d_2, d_1)) \quad (3.8)$$

Όπου

$$PL(d_k, d_l) = PL_{LOS}(d_k) + 17.9 - 12.5n_j + 10n_j \log_{10}(d_l) + 3 \log_{10}(f_c) \quad (3.9)$$

$$n_j = \max(2.8 - 0.0024d_k, 1.84) \quad (3.10)$$



**ΣΧΗΜΑ 3.4** Αποστάσεις διάταξης τύπου Manhattan

Σε αυτή την περίπτωση θεωρούμε πως το άθροισμα των αποστάσεων όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 3.4, κυμαίνεται από  $10m$  ως  $5km$ . Το πλάτος του δρόμου

είναι 20m και το αποτελεσματικό ύψος κεραιών για την κεραία του σταθμού βάσης είναι 10m. Η κεραία του τερματικού χρήστη έχει ύψος 1.5m. Αν για το πλάτος του δρόμου ισχύει

$$\min(d_1, d_2) < w/2 \quad (3.11)$$

τότε θεωρούμε ότι βρισκόμαστε στην περίπτωση οπτικής επαφής [ITU1].

Στην εξαγωνική διάταξη καθώς και στη διάταξη τύπου Manhattan τυπική απόκλιση θα είναι  $\sigma=4\text{dB}$  [ITU1].

Στην περίπτωση της μετάβασης από εξωτερικό σε εσωτερικό χώρο [ITU1]

$$PL = PL_b + PL_{tw} + PL_{in} \quad (3.12)$$

Όπου  $PL_{tw}$  είναι οι απώλειες λόγω τοίχων

$PL_{in}$  είναι οι απώλειες στον εσωτερικό χώρο

$PL_b$  είναι οι κυρίως απώλειες του μοντέλου

Οι αποστάσεις που μετρώνται είναι

$d_{in}$  η κάθετη απόσταση μεταξύ του τοίχου και του τερματικού χρήστη και κυμαίνεται από 0 ως 25m

$d_{out}$  η απόσταση σταθμού βάσης και του τοίχου δίπλα στο τερματικό του χρήστη . Ισχύει ότι

$$10m < d_{out} + d_{in} < 1000m \quad (3.13)$$

Η κεραία του σταθμού βάσης έχει ύψος 10m ενώ για την κεραία του τερματικού χρήστη χρησιμοποιούμε τον τύπο [ITU1]

$$h_{UT} = 3(n_{Fl} - 1) + 1.5m \quad (3.14)$$

$$PL_b = PL_{B1}(d_{out} + d_{in}) \quad (3.15)$$

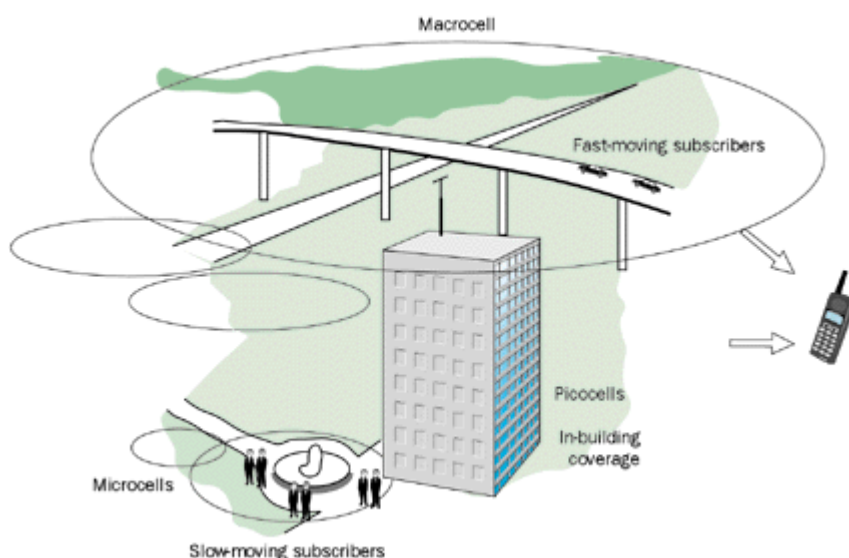
$$PL_{tw} = 14 + 15(1 - \cos(\theta))^2 \quad (3.16)$$

$$PL_{in} = 0.5d_{in} \quad (3.17)$$

Στην περίπτωση της εξαγωνικής διάταξης οι απώλειες λόγω τοίχου είναι 20dB, ενώ όλες οι υπόλοιπες τιμές παραμένουν ίδιες. Για τις δύο αυτές περιπτώσεις η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=7\text{dB}$  [ITU1].

### 3.3 Αστική περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες (C2)

Το περιβάλλον αυτό είναι μεγάλη πόλη ή αστικό κέντρο με μεγάλη πυκνότητα χρηστών. Οι χρήστες σε αυτό το περιβάλλον μπορεί να είναι είτε πεζοί είτε κινούμενοι με φυσιολογική ταχύτητα. Σε αυτό το περιβάλλον καλύπτεται και η μετάβαση από εξωτερικό χώρο σε όχημα. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του περιβάλλοντος είναι η συνεχής κάλυψη.



*Σχήμα 3.5 Διαφορετικά είδη κυψελών σε αστικό περιβάλλον [HAR]*

Σε αυτό το περιβάλλον μπορεί να έχουμε διάταξη τύπου Manhattan ή άλλες ακανόνιστες διατάξεις. Τα κτίρια έχουν ύψος μεγαλύτερο από αυτό κτιρίου με 4 ορόφους [ITU1]. Θεωρείται πως υπάρχει ομοιογένεια στο ύψος των κτιρίων και στην πυκνότητα δόμησης.

#### 3.3.1 Παράμετροι περιβάλλοντος

##### 3.3.1.1 Βασικές παράμετροι

Οι στοιχειοκεραίες που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης είναι το πολύ 8 πομποί και 8 δέκτες, ενώ το σύστημα κεραιών στην πλευρά του χρήστη θα είναι το πολύ 2×2



[ITU1]. Η κεραία του σταθμού βάσης έχει ύψος 25m. Βρίσκεται επομένως αρκετά ψηλότερα από την οροφή κτιρίων. Στο επίπεδο του δρόμου η εξυπηρέτηση του χρήστη μπορεί να γίνει εύκολα με περίθλαση του σήματος στην οροφή του κτιρίου. Το τερματικό χρήστη και ο σταθμός βάσης πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 25m [ITU1]. Η συχνότητα φέροντος είναι 2GHz [ITU1]. Τέλος, η συνολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι 46dBm για 10 MHz και 49dBm για 20MHz και η κλάση ισχύος του τερματικού χρήστη ανέρχεται στα 24dBm [ITU1]. Οι απώλειες λόγω μετάβασης από τον εξωτερικό χώρο σε αυτοκίνητο θα πρέπει να είναι 9dB με τυπική απόκλιση τα  $\sigma=5$  dB [ITU1].

Ειδικότερα για τη μέτρηση της μέγιστης φασματικής απόδοσης ο αριθμός των στοιχειοκεραιών του σταθμού βάσης είναι το πολύ 4 πομποί και 4 δέκτες ενώ το σύστημα κεραιών που χρησιμοποιείται στην πλευρά του χρήστη θα είναι 2 πομποί και 4 δέκτες.

### 3.3.1.2 Προσομοίωση συστήματος

Στην προσομοίωση συστήματος η διάταξη είναι εξαγωνική με την απόσταση ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης να είναι 500m. Το μοντέλο καναλιού που χρησιμοποιείται είναι το αστικό με χρήση μακροκυψελών (UMa). Η διασπορά των χρηστών στην περιοχή γίνεται τυχαία και ομοιόμορφα. Η ταχύτητα των τερματικών χρήστη θεωρείται ίδια για όλα τα τερματικά και παραμένει σταθερή. Όλοι οι χρήστες βρίσκονται στους εξωτερικούς χώρους μέσα ή γύρω από οχήματα. Η διασπορά της κατεύθυνσης της κίνησης είναι τυχαία και ομοιόμορφη στο χώρο. Η ταχύτητα που μας ενδιαφέρει είναι 30km/h αφού λόγω της κατοικημένης περιοχής και της κίνησης δεν είναι δυνατές οι μεγαλύτερες ταχύτητες [ITU1]. Για τον υπολογισμό της παρεμβολής έχει θεωρηθεί πως οι χρήστες τοποθετούνται ικανοποιητικά αραιά ώστε να αποφευχθεί. Ο θόρυβος του σταθμού βάσης είναι 5dB ενώ για το χρήστη ανέρχεται στα 7dB [ITU1]. Το κέρδος των κεραιών του σταθμού βάσης είναι 17dBi και του τερματικού χρήστη είναι 0 dBi [ITU1]. Τέλος, το επίπεδο θερμικού θορύβου είναι -174dBm/Hz [ITU1].

Ειδικά για την μέτρηση της φασματικής απόδοσης κυψέλης και της φασματικής απόδοσης στα όρια της κυψέλης οι προσομοιώσεις πρέπει να γίνονται σε τέτοια χρονική περίοδο ώστε να έχουμε ομοιομορφία των αποτελεσμάτων. Αυτή η συνθήκη ισχύει για όλα τα περιβάλλοντα που θα μελετήσουμε. Θεωρούμε πως οι

υπηρεσίες παρέχονται με πλήρη buffer όταν καταβάλλεται βέλτιστη προσπάθεια εξυπηρέτησης και αναμένουν άπειρα πακέτα να προωθηθούν. Ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετεί κάθε κυψέλη είναι 10 και το εύρος ζώνης είναι 10+10MHz για FDD και 20 MHz για TDD [ITU1]. Για τη χωρητικότητα VoIP για κάθε προσομοίωση ο χρόνος ζωής είναι 20 sec και το εύρος ζώνης είναι 5+5MHz για FDD και 10MHz για TDD [ITU1]. Οι παράμετροι έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να είναι και πρακτικά δυνατό να πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις και να μην γίνονται οι υπολογισμοί υπερβολικά πολύπλοκοι.

### 3.3.1.3 Προσομοίωση ζεύξης

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται εδώ είναι το αστικό με μακροκυψέλες (UMa). Ο buffer που χρησιμοποιείται είναι γεμάτος και χαρακτηρίζεται βέλτιστης προσπάθειας. Το εύρος ζώνης των προσομοιώσεων είναι 10 MHz και υπάρχει ένας χρήστης σε κάθε προσομοίωση.

### 3.3.2 Μοντέλα απωλειών

Τα μοντέλα απωλειών έχουν μετρηθεί σε δύο συνθήκες οπτικής επαφής και μη οπτικής επαφής. Η συχνότητα μετρείται σε GHz και η απόσταση σε m.

Για το μοντέλο όπου υπάρχει οπτική επαφή θα πρέπει να υπολογίσουμε το σημείο θλάσης (break point). Υπολογίζουμε τα αποτελεσματικά ύψη κεραιών όπου είναι τα πραγματικά ύψη μειωμένα κατά 1m. Ο τύπος από τον οποίο υπολογίζουμε το σημείο θλάσης είναι ο τύπος (3.4).

Το ύψος κεραιάς σταθμού βάσης είναι 25m και το ύψος της κεραιάς τερματικού χρήστη είναι 1.5m. Οι απώλειες υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους [ITU1]

$$PL = \begin{cases} 22.0 \log_{10}(d) + 28.0 + 20 \log_{10}(f_c), & 10m < d_1 < d'_{BP} \\ 40 \log_{10}(d_1) + 7.8 - 18 \log_{10}(h'_{BS}) - 18 \log_{10}(h'_{UT}) \\ + 2 \log_{10}(f_c), & d'_{BP} < d_1 < 5000m \end{cases} \quad (3.18)$$

Για τις δύο αυτές περιπτώσεις η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=4\text{dB}$ .

Παρατηρούμε πως στην περίπτωση του αστικού περιβάλλοντος με οπτική επαφή με τη χρήση μικροκυψελών και μακροκυψελών οι απώλειες υπολογίζονται από

τους ίδιους τύπους.

Η πιθανότητα να υπάρχει οπτική επαφή βρίσκεται από τον παρακάτω τύπο [ITU1] που ισχύει για εξωτερικούς χώρους.

$$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/63)) + \exp(-d/63) \quad (3.19)$$

Στην περίπτωση που δεν έχουμε οπτική επαφή θεωρούμε πως το μέσο ύψος των κτιρίων  $h$ , όπως και το πλάτος των δρόμων  $W$  κυμαίνεται από 5m μέχρι 50m. Η τιμή εφαρμογής είναι  $h=20m$  και  $W=20m$ . Η απόσταση είναι μεταξύ 10m και 5000m. Το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης κυμαίνεται από 10m ως 150m και το ύψος της κεραίας του τερματικού χρήστη μεταξύ των τιμών 1m και 10m. Οι τιμές των υψών για τις κεραίες είναι 25m και 1.5m για το σταθμό βάσης και το τερματικό χρήστη αντίστοιχα. Οι απώλειες υπολογίζονται από τον τύπο [ITU1]

$$\begin{aligned} PL = & 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) \\ & - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS}) \\ & + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d) - 3) \\ & + 20 \log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97) \end{aligned} \quad (3.20)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=6dB$ .

### **3.4 Επαρχιακή περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες (D1-D2)**

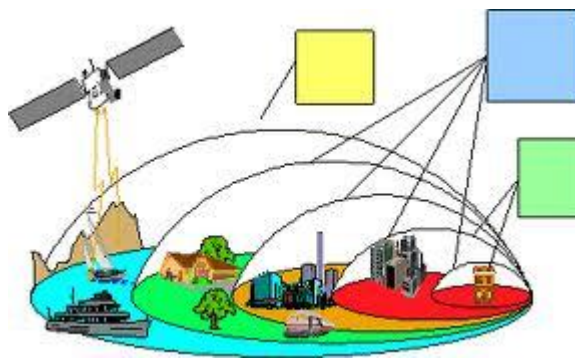
Το περιβάλλον αυτό είναι μια μεγάλη επαρχιακή περιοχή με ακτίνα 10km. Η περιοχή που εξετάζεται εδώ είναι ευρεία χωρίς να μας ενδιαφέρουν συγκεκριμένες τοπογραφικές λεπτομέρειες. Η πυκνότητα των χρηστών είναι μικρή και η δόμηση αρκετά αραιή. Αυτό που μας ενδιαφέρει περισσότερο είναι ότι πρόκειται για χρήστες που κινούνται με υψηλές ταχύτητες. Οι μακροκυψέλες περιορίζονται από θόρυβο και παρεμβολές. Στο περιβάλλον αυτό έχουμε κανονική εξαγωνική διάταξη.

#### **3.4.1 Παράμετροι περιβάλλοντος**

##### **3.4.1.1 Βασικές παράμετροι**

Οι στοιχειοκεραίες που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης είναι το πολύ 8 πομποί και 8 δέκτες, ενώ το σύστημα κεραιών στην πλευρά του χρήστη θα είναι το πολύ  $2 \times 2$ .

Η κεραία του σταθμού βάσης βρίσκεται στα 35m δηλαδή σαφώς ψηλότερα από το ύψος των κτιρίων και σε εξωτερικό χώρο. Λόγω της αραιής δόμησης και του μεγάλου ύψους που βρίσκεται η κεραία έχουμε οπτική επαφή χρήστη και βάσης. Στην περίπτωση που το τερματικό βρίσκεται μέσα σε κτίρια ή οχήματα έχουμε απώλειες διάθλασης που φτάνουν τα 9dB με τυπική απόκλιση  $\sigma=5\text{dB}$  [ITU1]. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των τερματικών χρήστη και της εξυπηρετούσας κυψέλης είναι 35m. Η συχνότητα φέροντος είναι 800MHz [ITU1]. Τέλος, η συνολική ισχύς που εκπέμπεται από το σταθμό βάσης είναι 46dBm για 10 MHz και 49dBm για 20M Hz και η κλάση ισχύος του τερματικού χρήστη ανέρχεται στα 24dBm [ITU1].



*Σχήμα 3.6 Είδη περιβαλλόντων με διαφορετικά είδη κυψελών*

Ειδικότερα για τη μέτρηση της μέγιστης φασματικής απόδοσης ο αριθμός των στοιχειοκεραίων του σταθμού βάσης είναι το πολύ 4 πομποί και 4 δέκτες ενώ το σύστημα κεραιών που χρησιμοποιείται στην πλευρά του χρήστη θα είναι 2 πομποί και 4 δέκτες [ITU1].

### **3.4.1.2 Προσομοίωση συστήματος**

Στην προσομοίωση συστήματος η διάταξη είναι εξαγωνική με την απόσταση ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης να είναι 1732m. Το μοντέλο καναλιού που χρησιμοποιείται είναι το επαρχιακό με χρήση μακροκυψελών (RMA). Οι χρήστες στην περιοχή έχουν ομοιόμορφη και τυχαία διασπορά. Η ταχύτητα των τερματικών χρήστη θεωρείται ίδια για όλα τα τερματικά και παραμένει σταθερή. Θεωρούμε πως όλοι οι χρήστες βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους κινούμενοι με μεγάλη ταχύτητα. Η διασπορά της κατεύθυνσης της κίνησης είναι τυχαία και ομοιόμορφη στο χώρο. Η ταχύτητα που μας ενδιαφέρει είναι 120km/h εφόσον μας απασχολούν χρήστες που

μετακινούνται με οχήματα υψηλής ταχύτητας [ITU1]. Στην προσομοίωση βέβαια η ταχύτητα αλλάζει μέχρι τα 350km/h για να καλυφθεί και η περίπτωση υψηλής ταχύτητας τρένου. Εντός του τρένου η εξυπηρέτηση των χρηστών θα γίνεται με επαναλήπτες. Για τον υπολογισμό της παρεμβολής έχει θεωρηθεί πως οι χρήστες τοποθετούνται ικανοποιητικά αραιά ώστε να αποφευχθεί. Ο θόρυβος του σταθμού βάσης είναι 5dB ενώ για το χρήστη ανέρχεται στα 7dB [ITU1]. Το κέρδος των κεραιών του σταθμού βάσης είναι 17dBi και του τερματικού χρήστη είναι 0 dBi [ITU1]. Τέλος, το επίπεδο θερμικού θορύβου είναι -174dBm/Hz [ITU1].

Ειδικά για την μέτρηση της φασματικής απόδοσης κυψέλης και της φασματικής απόδοσης στα όρια της κυψέλης οι προσομοιώσεις πρέπει να γίνονται σε τέτοια χρονική περίοδο ώστε να έχουμε ομοιομορφία των αποτελεσμάτων. Αυτή η συνθήκη ισχύει για όλα τα περιβάλλοντα που θα μελετήσουμε. Θεωρούμε πως οι υπηρεσίες παρέχονται με τη χρήση πλήρους buffer βέλτιστης προσπάθειας . Ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετεί κάθε κυψέλη είναι 10 και το εύρος ζώνης είναι 10+10MHz για FDD και 20 MHz για TDD [ITU1]. Για τη χωρητικότητα VoIP για κάθε προσομοίωση ο χρόνος ζωής είναι 20 sec και το εύρος ζώνης είναι 5+5MHz για FDD και 10MHz για TDD [ITU1]. Οι παράμετροι έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να είναι δυνατή η διεξαγωγή των προσομοιώσεων από πρακτική άποψη και να μην είναι ιδιαίτερα πολύπλοκοι οι υπολογισμοί.

### **3.4.1.3 Προσομοίωση ζεύξης**

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται εδώ είναι επαρχιακό με χρήση μακροκυψελών (RMA). Οι υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες είναι με χρήση ενός γεμάτου buffer με δυνατότητα να υπάρχουν άπειρα πακέτα σε αναμονή. Ο buffer είναι μέγιστης προσπάθειας. Το εύρος ζώνης των προσομοιώσεων είναι 10 MHz και υπάρχει ένας χρήστης σε κάθε προσομοίωση.

### **3.4.2 Μοντέλα απωλειών**

Τα μοντέλα απωλειών έχουν μετρηθεί σε δύο συνθήκες οπτικής επαφής και μη οπτικής επαφής . Η συχνότητα μετριέται σε GHz και η απόσταση σε m.

Για το μοντέλο όπου υπάρχει οπτική επαφή θα πρέπει να υπολογίσουμε το σημείο θλάσης (break point) από τον παρακάτω τύπο [ITU1]

$$d_{BP} = 2\pi h_{BS} h_{UT} \frac{f_c}{c} \quad (3.21)$$

Όπου  $h_{BS}$  το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης

$h_{UT}$  το ύψος κεραίας τερματικού χρήστη

$f_c$  η κεντρική συχνότητα και

$c$  η ταχύτητα διάδοσης στο κενό.

Η πιθανότητα να υπάρχει οπτική επαφή βρίσκεται από τον παρακάτω τύπο που ισχύει για εξωτερικούς χώρους. [ITU1]

$$P_{los} = \begin{cases} 1, & d \leq 10 \\ \exp\left(-\frac{d-10}{1000}\right), & d > 10 \end{cases} \quad (3.22)$$

Στην περίπτωση που έχουμε οπτική επαφή θεωρούμε πως το μέσο ύψος των κτιρίων  $h$ , όπως και το πλάτος των δρόμων  $W$  κυμαίνεται από 5m μέχρι 50m. Η απόσταση είναι μεταξύ 10m και 5000m. Το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης κυμαίνεται από 10m ως 150μ και το ύψος της κεραίας του τερματικού χρήστη μεταξύ των τιμών 1m και 10m. Οι τιμές εφαρμογής [ITU1] είναι:

$$h_{BS} = 35m, \quad h_{UT} = 1.5m, \quad W=20m, \quad h=5m.$$

Όταν η απόσταση βρίσκεται μεταξύ των τιμών [ITU1]  $10m < d < d_{BP}$

$$PL_1 = 20 \log_{10}(40\pi d f_c / 3) + \min(0.03h^{1.72}, 10) \log_{10}(d) - \min(0.044h^{1.72}, 14.77) + 0.02 \log_{10}(h)d \quad (3.23)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=4dB$ .

Όταν η απόσταση βρίσκεται μεταξύ των τιμών  $d_{BP} < d < 10000m$ , οι απώλειες δίνονται από τον τύπο [ITU1]

$$PL_2 = PL_1(d_{BP}) + 40 \log_{10}(d / d_{BP}) \quad (3.24)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=6dB$ .

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει οπτική επαφή θεωρούμε πως το μέσο ύψος των κτιρίων  $h$ , όπως και το πλάτος των δρόμων  $W$  κυμαίνεται από 5m μέχρι 50m. Η απόσταση είναι μεταξύ 10m και 5000m. Το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης κυμαίνεται από 10m ως 150m και το ύψος της κεραίας του τερματικού χρήστη μεταξύ των τιμών 1m και 10m. Οι τιμές εφαρμογής είναι:

$$h_{BS} = 35m, \quad h_{UT} = 1.5m, \quad W=20m, \quad h=5m.$$

Όταν η απόσταση βρίσκεται μεταξύ των τιμών  $10m < d < 5000m$ , οι απώλειες είναι

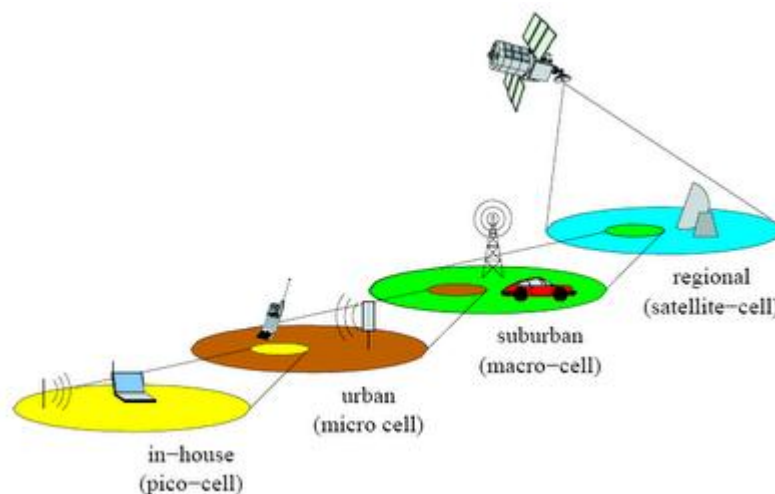
[ITU1] :

$$\begin{aligned} PL = & 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) \\ & - (24.37 - 3.7(h/h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS}) \\ & + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d) - 3) \\ & + 20 \log_{10}(f_C) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97) \end{aligned} \quad (3.25)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=8\text{dB}$ .

### 3.5 Προαστιακή περιοχή που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες (C1)

Το περιβάλλον αυτό είναι μια προαστιακή περιοχή που χαρακτηρίζεται από αραιή δόμηση. Λόγω του είδους των σπιτιών υπάρχει μικρή βλάστηση. Τα κτίρια είναι είτε σπίτια χαμηλά με ένα ή δύο ορόφους είτε πολυκατοικίες λίγων ορόφων. Υπάρχουν ανοιχτοί χώροι δηλαδή παιδικές χαρές, πάρκα και γήπεδα. σε πολλά σημεία ανάμεσα στα κτίρια.



Σχήμα 3.7 Είδη κυψελών σε περιβάλλοντα [ENG]

#### 3.5.1 Παράμετροι περιβάλλοντος

##### 3.5.1.1 Βασικές παράμετροι

Οι στοιχειοκεραίες που χρησιμοποιεί ο σταθμός βάσης είναι το πολύ 8 πομποί και 8 δέκτες, ενώ το σύστημα κεραιών στην πλευρά του χρήστη θα είναι το πολύ  $2 \times 2$ .

Η κεραία του σταθμού βάσης βρίσκεται στα 35m, επομένως ψηλότερα από το ύψος των κτιρίων και σε εξωτερικό χώρο. Λόγω της αραιής δόμησης και του μεγάλου ύψους που βρίσκεται η κεραία έχουμε οπτική επαφή χρήστη και βάσης. Οι απώλειες διάθλασης φτάνουν τα 9dB με τυπική απόκλιση  $\sigma=5\text{dB}$  και αφορούν τερματικά χρήστη που βρίσκονται στο εσωτερικό κτιρίων [ITU1]. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των τερματικών χρήστη και της εξυπηρετούσας κυψέλης είναι 35m [ITU1]. Η συχνότητα φέροντος είναι 2GHz [ITU1]. Τέλος, η συνολική ισχύς εκπομπής του σταθμού βάσης είναι 46dBm για 10 MHz και 49dBm για 20M Hz και η κλάση ισχύος του τερματικού χρήστη είναι 24dBm [ITU1].

Για τη μέτρηση της μέγιστης φασματικής απόδοσης ο αριθμός των στοιχειοκεραιών του σταθμού βάσης είναι το πολύ 4 πομποί και 4 δέκτες ενώ το σύστημα κεραιών που χρησιμοποιείται στην πλευρά του χρήστη θα είναι 2 πομποί και 4 δέκτες.

### 3.5.1.2 Προσομοίωση συστήματος

Στην προσομοίωση συστήματος η διάταξη είναι εξαγωνική με την απόσταση ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης να είναι 1299m [ITU1]. Το μοντέλο καναλιού που χρησιμοποιείται είναι το επαρχιακό με χρήση μακροκυβελών (SMA). Οι χρήστες στην περιοχή έχουν ομοιόμορφη και τυχαία διασπορά. Η ταχύτητα των τερματικών χρήστη θεωρείται ίδια για όλα τα τερματικά και παραμένει σταθερή. Το 50% των χρηστών είναι μέσα σε κτίρια σε εσωτερικούς χώρους. Το υπόλοιπο 50% είναι χρήστες που χρησιμοποιούν οχήματα [ITU1]. Η διασπορά της κατεύθυνσης της κίνησης είναι τυχαία και ομοιόμορφη στο χώρο. Η ταχύτητα που μας ενδιαφέρει είναι 90km/h για τους χρήστες που χρησιμοποιούν οχήματα και 3km/h για τους πεζούς χρήστες που βρίσκονται εντός των κτιρίων [ITU1]. Για τον υπολογισμό της παρεμβολής έχει θεωρηθεί πως οι χρήστες τοποθετούνται ικανοποιητικά αραιά ώστε να αποφευχθεί. Ο θόρυβος του σταθμού βάσης είναι 5dB ενώ για το χρήστη ανέρχεται στα 7dB [ITU1]. Το κέρδος των κεραιών του σταθμού βάσης είναι 17dBi και του τερματικού χρήστη είναι 0 dBi. Τέλος, το επίπεδο θερμικού θορύβου είναι -174dBm/Hz [ITU1].

Ειδικά για την μέτρηση της φασματικής απόδοσης κυψέλης και της φασματικής απόδοσης στα όρια της κυψέλης οι προσομοιώσεις πρέπει να γίνονται σε τέτοια χρονική περίοδο ώστε να έχουμε ομοιομορφία των αποτελεσμάτων. Αυτή η συνθήκη ισχύει για όλα τα περιβάλλοντα που θα μελετήσουμε. Θεωρούμε πως



χρησιμοποιείται buffer που είναι πλήρης και καταβάλλει βέλτιστη προσπάθεια εξυπηρέτησης. Ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετεί κάθε κυψέλη είναι 10 και το εύρος ζώνης είναι 10+10MHz για FDD και 20 MHz για TDD [ITU1]. Για τη χωρητικότητα VoIP για κάθε προσομοίωση ο χρόνος ζωής είναι 20 sec και το εύρος ζώνης είναι 5+5MHz για FDD και 10MHz για TDD [ITU1]. Οι παράμετροι έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να είναι πρακτικά δυνατή η διεξαγωγή των προσομοιώσεων και οι υπολογισμοί να μην έχουν μεγάλη πολυπλοκότητα.

### 3.5.1.3 Προσομοίωση ζεύξης

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται εδώ είναι επαρχιακό με χρήση μακροκυψελών (SMA). Ο buffer είναι πλήρης και βέλτιστης προσπάθειας. Το εύρος ζώνης των προσομοιώσεων είναι 10 MHz και υπάρχει ένας χρήστης σε κάθε προσομοίωση.

### 3.5.2 Μοντέλα απωλειών

Τα μοντέλα απωλειών έχουν μετρηθεί σε δύο συνθήκες οπτικής επαφής και μη οπτικής επαφής. Η συχνότητα μετριέται σε GHz και η απόσταση σε m.

Για το μοντέλο όπου υπάρχει οπτική επαφή θα πρέπει να υπολογίσουμε το σημείο θλάσης (break point) από τον τύπο (3.21).

Η πιθανότητα να υπάρχει οπτική επαφή βρίσκεται από τον παρακάτω τύπο που ισχύει για εξωτερικούς χώρους [ITU1].

$$P_{los} = \begin{cases} 1, & d \leq 10 \\ \exp\left(-\frac{d-10}{200}\right), & d > 10 \end{cases} \quad (3.26)$$

Στην περίπτωση που έχουμε οπτική επαφή θεωρούμε πως το μέσο ύψος των κτιρίων  $h$ , όπως και το πλάτος των δρόμων  $W$  κυμαίνεται από 5m μέχρι 50m. Η απόσταση είναι μεταξύ 10m και 5000m. Το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης κυμαίνεται από 10m ως 150m και το ύψος της κεραίας του τερματικού χρήστη μεταξύ των τιμών 1m και 10m. Οι τιμές εφαρμογής είναι:

$$h_{BS} = 35m, \quad h_{UT} = 1.5m, \quad W=20m, \quad h=5m.$$

Όταν η απόσταση βρίσκεται μεταξύ των τιμών  $10m < d < d_{BP}$ , οι απώλειες

βρίσκονται από τον τύπο [ITU1]

$$PL_1 = 20 \log_{10}(40\pi d f_c / 3) + \min(0.03h^{1.72}, 10) \log_{10}(d) - \min(0.044h^{1.72}, 14.77) + 0.02 \log_{10}(h)d \quad (3.27)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=4\text{dB}$  [ITU1].

Όταν η απόσταση βρίσκεται μεταξύ των τιμών  $d_{BP} < d < 5000\text{m}$ , οι απώλειες βρίσκονται από τον τύπο

$$PL_2 = PL_1(d_{BP}) + 40 \log_{10}(d / d_{BP}) \quad (3.28)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=6\text{dB}$  [ITU1].

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει οπτική επαφή θεωρούμε πως το μέσο ύψος των κτιρίων  $h$  και το πλάτος των δρόμων  $W$  κυμαίνεται από 5m μέχρι 50m. Η απόσταση είναι μεταξύ 10m και 5000m. Το ύψος της κεραίας σταθμού βάσης κυμαίνεται από 10m ως 150m και το ύψος της κεραίας του τερματικού χρήστη μεταξύ των τιμών 1m και 10m. Οι τιμές εφαρμογής είναι:

$$h_{BS} = 35\text{m}, h_{UT} = 1.5\text{m}, W=20\text{m}, h=5\text{m}.$$

Όταν η απόσταση βρίσκεται μεταξύ των τιμών  $10\text{m} < d < 5000\text{m}$ , οι απώλειες δίνονται από [ITU1]:

$$PL = 161.04 - 7.1 \log_{10}(W) + 7.5 \log_{10}(h) - (24.37 - 3.7(h / h_{BS})^2) \log_{10}(h_{BS}) + (43.42 - 3.1 \log_{10}(h_{BS}))(\log_{10}(d) - 3) + 20 \log_{10}(f_c) - (3.2(\log_{10}(11.75h_{UT}))^2 - 4.97) \quad (3.29)$$

Η τυπική απόκλιση είναι  $\sigma=8\text{dB}$  [ITU1].

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

[AMP] <http://www.amphenol-jaybeam.com>

[ENG] <http://engineermahmoud.blogspot.com>

[HAR] <http://harriscommunications.net>

[ITU1] ITU-R, *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced*, 2009

[KAI] <http://vswww.kaist.ac.kr>

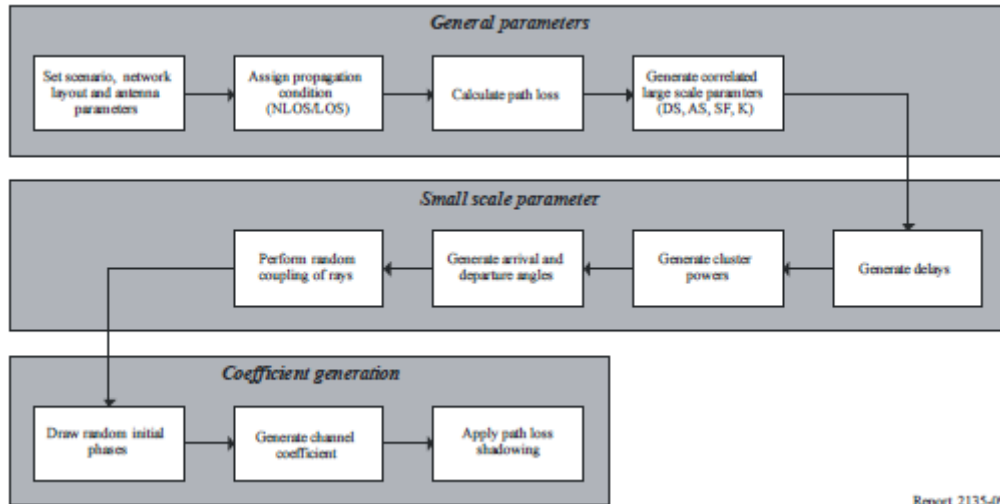
[MIK] <http://www.mikrotik.com>

## **4. Ανάλυση Βασικών Συναρτήσεων Μοντέλου Καναλιού WINNER**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση του μοντέλου καναλιού. Αρχικά αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εισαγωγή των διαφόρων παραμέτρων (γενικές, μεγάλης και μικρής κλίμακας) στο μοντέλο. Στη συνέχεια δίνονται οι κυριότερες παράμετροι όπως αυτές χρησιμοποιούνται στις συναρτήσεις που αποτελούν τον κώδικα του μοντέλου. Ακόμη, στο κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση των συναρτήσεων που αποτελούν το μοντέλο WINNER. Το μοντέλο περιέχει συναρτήσεις που βοηθούν στην μοντελοποίηση του καναλιού και στην αρχικοποίηση αυτού του μοντέλου. Με τη χρήση των συναρτήσεων αυτών γίνεται η εύρεση γενικών παραμέτρων για τη δομή και τα χαρακτηριστικά της κεραίας καθώς και η εύρεση παραμέτρων που αφορούν το επίπεδο ζεύξης. Υπάρχουν ακόμα κομμάτια κώδικα που επεξηγούν τις συναρτήσεις του μοντέλου και περιέχουν παραδείγματα. Τέλος, γίνεται απλή αναφορά στα κομμάτια κώδικα που είναι προστατευμένα.

### **4.1 Μοντέλο παραμέτρων**

Το μοντέλο παραμέτρων που ακολουθείται φαίνεται στο Σχήμα 4.1 και βασίζεται στις παραμέτρους των σεναρίων όπως αυτές φαίνονται στον Πίνακα 4.1 [WIN1]. Η διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια αφορά την κάτω ζεύξη [ITU1]. Με αντιστροφή των παραμέτρων άφιξης με αυτές των παραμέτρων αναχώρησης μπορούμε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους για την άνω ζεύξη [ITU1]. Θα πρέπει να σημειωθεί πως η γεωμετρική περιγραφή των γωνιών άφιξης καλύπτει τον τελευταίο σκεδαστή ενώ οι γωνίες αναχώρησης τον πρώτο που ανταποκρίνεται από την πλευρά του εκπομπού [WIN1]. Γι'αυτό το λόγο είναι δυνατόν το μοντέλο καναλιού να καλύπτει και πολλαπλές αλληλεπιδράσεις [WIN1].



Report 2135-09

Σχήμα 4.1 Μοντέλο καναλιού [ITU1]

Πίνακας 4.1 Παράμετροι σεναρίων [WIN1]

ΣΕΝΑΡΙΟ		A1		A2/B4/C4	B1		B3		C1		C2		D1		D2a
		LOS	NLOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS
Εύρος καθυστέρησης DS log <sub>10</sub> (s)	μ	-7.42	-7.60	-7.39/ -6.62'	-7.44	-7.12	-7.53	-7.41	-7.23	-7.12	-7.39	-6.63	-7.80	-7.60	-7.4
	σ	0.27	0.19	0.36/ 0.32'	0.25	0.12	0.12	0.13	0.49	0.33	0.63	0.32	0.57	0.48	0.2
Εύρος γωνίας άφιξης ASD log <sub>10</sub> (°)	μ	1.64	1.73	1.76	0.40	1.19	1.22	1.05	0.78	0.90	1	0.93	0.78	0.96	0.7
	σ	0.31	0.23	0.16	0.37	0.21	0.18	0.22	0.12	0.36	0.25	0.22	0.21	0.45	0.31
Εύρος γωνίας αναχώρησης ASA log <sub>10</sub> (°)	μ	1.65	1.69	1.25	1.40	1.55	1.58	1.7	1.48	1.65	1.7	1.72	1.20	1.52	1.5
	σ	0.26	0.14	0.42	0.20	0.20	0.23	0.1	0.20	0.30	0.19	0.14	0.18	0.27	0.2
Διαλείψεις Σκίασης	σ	3	4	7	3	4	3	4	4/6	8	4/6	8	4/6	8	4
K (dB)	μ	7	N/A	N/A	9	N/A	2	N/A	9	N/A	7	N/A	7	N/A	7
	σ	6	N/A	N/A	6	N/A	3	N/A	7	N/A	3	N/A	6	N/A	6
Επερσοσυσχέτιση	ASD vs DS	0.7	-0.1	0.4	0.5	0.2	-0.3	-0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	-0.1	-0.4	-0.1
	ASA vs DS	0.8	0.3	0.4	0.8	0.4	-0.4	0	0.8	0.7	0.8	0.6	0.2	0.1	0.2
	ASA vs SF	-0.5	-0.4	0.2	-0.5	-0.4	-0.2	0.2	-0.5	-0.3	-0.5	-0.3	-0.2	0.1	-0.2
	ASD vs SF	-0.5	0	0	-0.5	0	0.3	-0.3	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	0.2	0.6	0.2
	DS vs SF	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.7	-0.1	-0.2	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5
	ASD vs ASA	0.6	-0.3	0	0.4	0.1	0.3	-0.3	0.1	0.3	0.3	0.4	-0.3	-0.2	-0.3
	ASD vs K	-0.6	N/A	N/A	-0.3	N/A	0.2	N/A	0.2	N/A	0.1	N/A	0	N/A	0
	ASA vs K	-0.6	N/A	N/A	-0.3	N/A	-0.1	N/A	-0.2	N/A	-0.2	N/A	0.1	N/A	0.1
	DS vs K	-0.6	N/A	N/A	-0.7	N/A	-0.3	N/A	-0.2	N/A	-0.4	N/A	0	N/A	0
	SF vs K	0.4	N/A	N/A	0.5	N/A	0.6	N/A	0	N/A	0.3	N/A	0	N/A	0
Διασπορά καθυστέρησης	Exp	Exp	Exp	Exp	Uniform <=800ns	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	
Διασπορά AoD και AoA	Wrapped Gaussian														
Διασπορά κλιμάκωσης Καθυστέρησης τ <sub>r</sub>	3	2.4	2.2	3.2	-	1.9	1.6	2.4	1.5	2.5	2.3	3.8	1.7	3.8	
XPR (dB)	μ	11	10	9	9	8	9	6	8	4	8	7	12	7	12
	σ	4	4	11	3	3	4	3	4	3	4	3	8	4	8
Αριθμός συσταδών	12	16	12	8	16	10	15	15	14	8	20	11	10	8	
Αριθμός ακτίνων ανά συστάδα	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
ASD συστάδας	5	5	8	3	10	5	6	5	2	6	2	2	2	2	
ASA συστάδας	5	5	5	18	22	5	13	5	10	12	15	3	3	3	
Διαλείψεις σκίασης ανά συστάδα ζ(dB)	6	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Απόσταση συσχέτισης (m)	DS	7	4	21/10^Λ	9	8	3	1	6	40	40	40	64	36	64
	ASD	6	5	15/11^Λ	13	10	1	0.5	15	30	15	50	25	30	25
	ASA	2	3	35/17^Λ	12	9	2	0.5	20	30	15	50	40	40	40
	SF	6	4	14/7^Λ	14	12	3	3	40	50	45	50	40	120	40
	K	6	N/A	N/A	10	N/A	1	N/A	10	N/A	12	N/A	40	N/A	40

### 4.1.1 Γενικές παράμετροι

Αρχικά, γίνεται η παραγωγή των αρχικών παραμέτρων για κάθε σενάριο [WIN1]. Στην αρχή γίνεται επιλογή του σεναρίου προσομοίωσης [WIN1]. Επιλέγεται στη συνέχεια ο αριθμός των σταθμών βάσης και κινητών σταθμών καθώς και οι θέσεις τους ή οι σχετικές αποστάσεις και διευθύνσεις τους  $\varphi_{LOS}$  [WIN1]. Δίνονται τα πεδία της κεραίας εκπομπού  $F_{tx}$  και δέκτη  $F_{rx}$ , η γεωμετρία των πινάκων και ο προσανατολισμός τους με σημείο αναφοράς το βορρά [WIN1]. Στη συνέχεια δίνονται η ταχύτητα και διεύθυνση της κίνησης των κινητών σταθμών και τέλος η κεντρική συχνότητα [WIN1].

### 4.1.2 Παράμετροι μεγάλης κλίμακας

Στη συνέχεια επιλέγονται οι παράμετροι μεγάλης κλίμακας [WIN1]. Καθορίζουμε αν βρισκόμαστε σε συνθήκες οπτικής ή μη οπτικής επαφής σύμφωνα με τις πιθανότητες που μπορούν να υπολογιστούν από τον πίνακα 4.2 [WIN1]. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις απώλειες διάδοσης για κάθε περίπτωση σύμφωνα με τους τύπους στον πίνακα 4.3 [WIN1]. Η στήλη  $\sigma$  είναι η τυπική απόκλιση των διαλείψεων σκίασης. Τέλος, υπολογίζουμε την ετεροσυσχέτιση του εύρους καθυστέρησης και γωνιών, του συντελεστή Rice και των διαλείψεων σκίασης [WIN1]. Για περιγραφή της εξάρτησης των παραμέτρων μεγάλης κλίμακας από άλλες παραμέτρους χρησιμοποιούμε τον πίνακα του συντελεστή συσχέτισης [ITU1]. Ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης  $\rho_{xy}$  υπολογίζεται από τον τύπο 4.1 [ITU1]:

$$\rho_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{C_{xx}C_{yy}}} \quad (4.1)$$

**Πίνακας 4.2 Υπολογισμός πιθανότητας να βρισκόμαστε σε οπτική επαφή συναρτήσει της απόστασης  $d$  ανάλογα με το σενάριο [WIN1]**

Σενάριο	Πιθανότητα LOS
<b>A1</b>	$P_{LOS} = \begin{cases} 1, & d \leq 2.5 \\ 1 - 0.9(1 - (1.24 - 0.61 \log_{10}(d))^3)^{1/3}, & d > 2.5 \end{cases}$
<b>B1</b>	$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36)$

<b>B3</b>	$P_{LOS} = \begin{cases} 1, d \leq 10 \\ \exp(-\frac{d-10}{45}), d > 10 \end{cases}$
<b>C1</b>	$P_{LOS} = \exp(-\frac{d}{200})$
<b>C2</b>	$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36)$
<b>D1</b>	$P_{LOS} = \exp(-\frac{d}{1000})$

Στο επίπεδο συστήματος έχουμε 2 είδη συσχέτισης [ITU1], όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.2 :

- Κινητοί σταθμοί που συνδέονται στον ίδιο σταθμό βάσης:

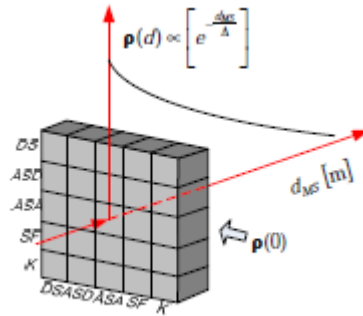
Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει εξάρτηση από την απόσταση που περιγράφεται από εκθετικές συναρτήσεις συσχέτισης [ITU1]. Έτσι η συσχέτιση είναι ανάλογη της απόστασης των κινητών σταθμών και περιγράφεται από τον τύπο 4.2 [WIN1]

$$\rho_{xy}(d_{MS}) = \frac{C_{xy}(d_{MS})}{\sqrt{C_{xx}C_{yy}}} \quad (4.2)$$

- Ζεύξεις ενός κινητού σταθμού σε πολλαπλούς σταθμούς βάσης:

Σε αυτή την περίπτωση οι μετρήσεις κατέδειξαν πως δεν υπάρχει εξάρτηση από την απόσταση και τη διάταξη [ITU1]. Η παράμετρος που φαίνεται να παίζει το μεγαλύτερο ρόλο σε αυτούς τους υπολογισμούς είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης του σταθμού βάσης όπως μετριέται από τον κινητό σταθμό [ITU1]. Στα σενάρια όπου οι σταθμοί βάσης βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, η συσχέτιση είναι μηδενική [ITU1]. Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζουμε τη συσχέτιση ενός κινητού σταθμού με διαφορετικούς τομείς του ίδιου σταθμού βάσης [ITU1].

Η διαδικασία του υπολογισμού της συσχέτισης παραμέτρων γίνεται όταν η παράμετρος έχει διασπορά τύπου Gauss [ITU1]. Στην περίπτωση που αυτό δεν ισχύει γίνεται κατάλληλος μετασχηματισμός των παραμέτρων [ITU1]. Για τον υπολογισμό λαμβάνονται οι παράμετροι που βρίσκονται στον πίνακα 4.1.



Σχήμα 4.3 Εξάρτηση συντελεστή ετεροσυσχέτισης με την απόσταση [WIN1]

Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τις απώλειες διάδοσης είναι ο τύπος 4.3 [WIN1]

$$PL = A \log_{10}(d[m]) + B + C \log_{10}\left(\frac{f_c[\text{GHz}]}{5.0}\right) + X \quad (4.3)$$

Όπου  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ εκπομπού και δέκτη σε m και  $f_c$  η κεντρική συχνότητα σε GHz.

Τέλος οι απώλειες διάδοσης ελευθέρου χώρου δίνονται από τον τύπο 4.4 [WIN1]

$$PL_{free} = 20 \log_{10}(d) + 46.4 + 20 \log_{10}\left(\frac{f_c}{5.0}\right) \quad (4.4)$$

Σύμφωνα με τους τύπους αυτούς δημιουργούνται τα μοντέλα απωλειών διάδοσης για κάθε σενάριο σε περίπτωση οπτικής και μη οπτικής επαφής και συνοψίζονται στον πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Μοντέλα απωλειών διάδοσης [WIN1]

Σενάριο	Απώλειες (dB)	$\sigma$ (dB)	Εύρος
<b>A</b> <b>I</b> <i>LOS</i>	$A=18.7, B=46.8, C=20$	$\sigma=3$	$3m < d < 100m,$ $h_{BS} = h_{MS} = 1...2.5m$
<i>NLOS</i>	$A=36.8, B=43.8, C=20$ $X = 5(n_w - 1)$ λεπτοί τοίχοι $H$ $X = 12(n_w - 1)$ χοντροί τοίχοι	$\sigma=4$	Το ίδιο με A I LOS  $n_w$ είναι ο αριθμός των παρεμβαλλόμενων τοίχων
<i>NLOS</i> <sup>(2)</sup>	$A=20, B=46.4, C=20, X=5n_w$	$\sigma=6$	Όπως A I LOS

<b>λεπτοί τοιχοί</b>			
<b>Χοντροί τοιχοί</b>	$A=20, B=46.4, C=20, X=12n_w$	$\sigma=8$	
<b>FL</b>	Προστίθεται στις παραπάνω περιπτώσεις $FL = 17 + 4(n_f - 1)$		$n_f$ είναι ο αριθμός των παρεμβαλλόμενων τοίχων
<b>A 2</b>	<b>NLOS</b> $PL = PL_b + PL_{tw} + PL_{in}$ $PL_b = PL_{B1}(d_{out} + d_{in})$ $PL_{tw} = 14 + 15(1 - \cos(\theta))^2$ $PL_{in} = 0.5d_{in}$	$\sigma=7$	$3m < d_{out} + d_{in} < 1000m,$  $h_{BS} = 3(n_f - 1) + 2m$ $h_{MS} = 1.5m$
<b>B 1</b>	<b>LOS</b> $A=22.7, B=41.0, C=20$ $PL = 40 \log_{10}(d_1) + 9.45$ $- 17.3 \log_{10}(h'_{BS})$ $- 17.3 \log_{10}(h'_{MS})$ $+ 2.7 \log_{10}(f_c / 5.0)$	$\sigma=3$	$10m < d_1 < d'_{BP}$  $d'_{BP} < d_1 < 5km,$ $h_{BS} = 10m$ $h_{MS} = 1.5m$
	<b>NLOS</b> $PL = \min(PL(d_1, d_2), PL(d_2, d_1))$ Όπου $PL(d_k, d_l) = PL_{LOS}(d_k) + 20$ $- 12.5n_j + 10n_j \log_{10}(d_l)$ $+ 3 \log_{10}(f_c / 5.0)$ $n_j = \max(2.8 - 0.0024d_k, 1.84)$	$\sigma=4$	$10m < d_1 < 5km$ $w/2 < d_2 < 2km$ $w=20m$ $h_{BS} = 10m$ $h_{MS} = 1.5m, \text{ όταν}$ $0 < w/2 < d_2$ εφαρμόζεται η <b>LOS</b> συνθήκη
<b>B2</b>	<b>NLOS</b> Το ίδιο με το B1	$\sigma=4$	
<b>B3</b>	<b>LOS</b> $A=13.9, B=64.4, C=20$	$\sigma=3$	$5m < d < 100m$ $h_{BS} = 6m$ $h_{MS} = 1.5m$
	<b>NLOS</b> $A=37.8, B=36.5, C=23$	$\sigma=4$	Όπως το B3LOS
<b>B4</b>	<b>NLOS</b> Όπως το A2 με αλλαγή στα ύψη κεραιών		$3m < d_{out} + d_{in} < 1km$ $h_{BS} = 10m$ $h_{MS} = 3(n_{fl} - 1) + 1.5m$
<b>B5a</b>	<b>LOS</b> $A=23.5, B=42.5, C=20$	$\sigma=4$	$30m < d < 8km$ $h_{BS} = 25m$ $h_{RS} = 25m$
<b>B5c</b>	<b>LOS</b> Όπως το B1 LOS με αλλαγή στα ύψη κεραιών	$\sigma=3$	$10m < d < 2000m$ $h_{BS} = 10m$



			$h_{MS} = (h_{RS}) = 5m$
<b>B5f LOS</b>	$A=23.5, B=57.5, C=23$	$\sigma=8$	$30m < d_1 < 1.5km$ $h_{BS} = 25m$ $h_{RS} = 15m$
<b>C1 LOS</b>	$A=23.8, B=41.2, C=20$ $PL = 40\log_{10}(d) + 11.65$ $-16.2\log_{10}(h_{BS})$ $-16.2\log_{10}(h_{MS})$ $+3.8\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma=4$ $\sigma=6$	$30m < d < d_{BP}$ $d_{BP} < d < 5km$ $h_{BS} = 25m$ $h_{MS} = 1.5m$
<b>NLOS</b>	$A=26, B=39, C=20$ $PL = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{BS}))\log_{10}(d_1)$ $+31.46 + 5.83\log_{10}(h_{BS})$ $+23\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma=8$	$50m < d < 5km$ $h_{BS} = 25m$ $h_{MS} = 1.5m$
<b>C2 LOS</b>	$A=26, B=39.2, C=20$ $PL = 40\log_{10}(d) + 13.47 -$ $14.0\log_{10}(h_{BS})$ $-14.0\log_{10}(h_{MS}) +$ $6.0\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma=4$ $\sigma=6$	$10m < d < d'_{BP}$ $d'_{BP} < d < 5km$ $h_{BS} = 25m$ $h_{MS} = 1.5m$
<b>NLOS</b>	$PL = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{BS}))\log_{10}(d_1)$ $+34.46 + 5.83\log_{10}(h_{BS})$ $+23\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma=8$	$\text{Όπως C1 LOS}$
<b>C3 NLOS</b>	$\text{Όπως το C2 NLOS}$		$\text{Όπως C2 NLOS}$
<b>C4 NLOS</b>	$PL = PL_{C2}(d_{out} + d_{in}) + 17.4$ $+0.5d_{in} - 0.8h_{MS}$	$\sigma=1$ $0$	$\text{Όπως C2 NLOS}$ $h_{BS} = 25m$ $h_{MS} = 3n_{fl} + 1.5m$
<b>D1 LOS</b>	$A=21.5, B=44.2, C=20$ $PL = 40\log_{10}(d) + 10.5$ $-18.5\log_{10}(h_{BS})$ $-18.5\log_{10}(h_{MS})$ $+1.5\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma=4$ $\sigma=6$	$30m < d < d_{BP}$ $d_{BP} < d < 10km$ $h_{BS} = 32m$ $h_{MS} = 1.5m$
<b>NLOS</b>	$PL = (25.1\log_{10}(d) + 55.4$ $-0.13\log_{10}(h_{BS} - 25))\log_{10}(d/100)$ $-0.9\log_{10}(h_{MS} - 1.5)$ $+21.3\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma=8$	$50m < d < 5km$ $h_{BS} = 32m$ $h_{MS} = 1.5m$
<b>D2a LOS</b>	$\text{Όπως το D1 LOS}$		

### 4.1.3 Παράμετροι μικρής κλίμακας

Στη συνέχεια γίνεται παραγωγή των καθυστερήσεων με τυχαίο τρόπο από τη διασπορά καθυστέρησης που φαίνεται στον πίνακα 4.1 [ITU1]. Η διασπορά της καθυστέρησης υπολογίζεται από τον τύπο 4.3 [ITU1].

$$\tau'_n = -r_\tau \sigma_\tau \ln(X_n) \quad (4.5)$$

Όπου  $r_\tau$  ο συντελεστής αναλογίας διασποράς καθυστέρησης

$X_n \sim Uni(0,1)$  και

$1..N$  το εσωτερικό της συστάδας.

Οι τιμές για το  $\tau'_n$  βρίσκονται από την διασπορά καθυστέρησης όταν αυτή είναι ομοιόμορφη [ITU1]. Κανονικοποιούμε τις τιμές με χρήση του τύπου 4.4 [ITU1]:

$$\tau_n = \text{sort}(\tau'_n - \min(\tau'_n)) \quad (4.6)$$

Στην περίπτωση όπου έχουμε οπτική επαφή έχουμε το φαινόμενο του εύρους καθυστέρησης [ITU1]. Έτσι θα πρέπει να γίνει διακύμανση των καθυστερήσεων. Η κλίμακα διαβάθμισης  $D$  που εξαρτάται από τον συντελεστή Rice  $K$  βρίσκεται από τον τύπο (4.5) [ITU1]:

$$D = 0.7705 - 0.043K + 0.0002K^2 + 0.000017K^3 \quad (4.7)$$

Ο συντελεστής Rice βρίσκεται από τον πίνακα 4.1. Χρησιμοποιούμε την κλίμακα διαβάθμισης για να κανονικοποιήσουμε τις καθυστερήσεις όπως φαίνεται στον τύπο (4.6) [ITU1]:

$$\tau_n^{LOS} = \frac{\tau_n}{D} \quad (4.8)$$

Για τον υπολογισμό των ισχύων συστάδων δε χρησιμοποιούνται οι κανονικοποιημένες καθυστερήσεις [ITU1]. Εξαρτώνται από τη διασπορά καθυστέρησης όπως αυτή δίνεται στον πίνακα 4.1. Όταν η διασπορά καθυστέρησης είναι εκθετικής μορφής υπολογίζουμε τις ισχείς συστάδων από τον τύπο 4.7 και γίνεται κανονικοποίηση με χρήση του τύπου 4.8 [ITU1]

$$P'_n = \exp\left(-\tau_n \frac{r_\tau - 1}{r_\tau \sigma_\tau}\right) 10^{\frac{-Z_n}{10}} \quad (4.9)$$

$$P_n = \frac{P'_n}{\sum_{n=1}^N P'_n} \quad (4.10)$$

Στην περίπτωση οπτικής επαφής, η ισχύς μιας οπτικής ακτίνας υπολογίζεται από τον τύπο 4.9 και οι ισχύεις των συστάδων υπολογίζονται από τον τύπο 4.10 [ITU1]

$$P_{1,LOS} = \frac{K_R}{K_R + 1} \quad (4.11)$$

$$P_n = \frac{1}{K_R + 1} \frac{P_n'}{\sum_{n=1}^N P_n'} + \delta(n-1)P_{1,LOS} \quad (4.12)$$

Όπου  $\delta(.)$  είναι η συνάρτηση δέλτα και

$K_R$  η γραμμικοποιημένοι συντελεστές Rice από τον πίνακα 4.1.

Η ισχύς κάθε ακτίνας είναι  $P_n/M$ , όπου  $M$  ο αριθμός των ακτινών. Στη συνέχεια απορρίπτουμε τις συστάδες που η ισχύς τους είναι κατά 25dB μικρότερη από τη μέγιστη ισχύ συστάδας [ITU1].

Με χρήση των παραπάνω τύπων 4.9 και 4.10 υπολογίζουμε τις γωνίες άφιξης και αναχώρησης με τους τύπους 4.11 και 4.12. Οι παράμετροι εισόδοι βρίσκονται πάλι από τον πίνακα 4.1 [ITU1].

$$\phi_n' = \frac{2\sigma_{AoA} \sqrt{-\ln(P_n / \max(P_n))}}{C} \quad (4.13)$$

$$\phi_n' = -\frac{\sigma_\phi \ln(P_n / \max(P_n))}{C} \quad (4.14)$$

Υπολογίζουμε την  $\sigma_{AoA} = \sigma_\phi / 1.4$  όπου 1.4 είναι η τυπική απόκλιση των γωνιών αναχώρησης. Η σταθερά  $C$  δίνεται από τον πίνακα 4.4 [ITU1].

**Πίνακας 4.4 Υπολογισμός σταθεράς  $C$  από αριθμό συστάδων [ITU1]**

Συ ς	4	5	8	10	11	12	14	15	15 (InH )	16	19	19 (InH )	20
<b>C</b>	0.77	0.86	1.01	1.09	1.12	1.14	1.19	1.21	1.43	1.22	1.27	1.50	1.28
	9	0	8	0	3	6	0	1	4	6	3	1	9

Στην περίπτωση οπτικής επαφής γίνεται διαβάθμιση γωνιών λόγω του φαινομένου εύρους γωνιών. Στις περιπτώσεις όπου οι γωνίες υπολογίζονται από τους τύπους 4.11 και 4.12 η σταθερά  $C$  αντικαθίσταται από τη σταθερά  $C^{LOS}$  που υπολογίζεται από τον τύπο 4.13 και στην περίπτωση του σεναρίου A1 από τον τύπο 4.14 όπου ο συντελεστής  $K$  δίνεται από τον πίνακα 4.1 [ITU1].

$$C^{LOS} = C \cdot (1.1035 - 0.028K - 0.002K^2 + 0.0001K^3) \quad (4.15)$$

$$C^{LOS} = C \cdot (0.9275 + 0.0439K - 0.0071K^2 + 0.0002K^3) \quad (4.16)$$

Τα πρόσημα των γωνιών βρίσκονται πολλαπλασιάζοντας με τυχαίες μεταβλητές από ομοιόμορφη κατανομή στο σύνολο  $\{1,-1\}$  και προσθέτουμε  $Y_n \sim N(0, \sigma_\phi / 7)$  και στη συνέχεια βρίσκουμε τις γωνίες από τον τύπο 4.15 [ITU1].

$$\phi_n = X_n \phi'_n + Y_n + \phi_{LOS} \quad (4.17)$$

Στην περίπτωση οπτικής επαφής χρησιμοποιείται ο τύπος 4.16 για την πρώτη συστάδα της οπτικής κατεύθυνσης. Τέλος προσθέτουμε τη γωνία  $a_m$ , όπως φαίνεται στον τύπο 4.17, που βρίσκεται από τον πίνακα 4.5 [ITU1].

$$\phi_n = (X_n \phi'_n + Y_n) - (X_1 \phi'_1 + Y_1 - \phi_{LOS}) \quad (4.18)$$

$$\phi_{n,m} = \phi_n + c_{AoA} a_m \quad (4.19)$$

όπου  $c_{AoA}$  είναι η rms τιμή του εύρους γωνιών άφιξης (ASA) στον πίνακα 4.1. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και στις γωνίες αναχώρησης.

**Πίνακας 4.5 Γωνίες  $a_m$  εντός συστάδας για 1 rms εύρος γωνίας άφιξης [ITU1]**

Αριθμός ακτίνας m	Τελεστής βάσης για τη γωνία $a_m$
1,2	$\pm 0.0447$
3,4	$\pm 0.1413$
5,6	$\pm 0.2492$
7,8	$\pm 0.3715$
9,10	$\pm 0.5129$
11,12	$\pm 0.6797$
13,14	$\pm 0.8844$
15,16	$\pm 1.1481$
17,18	$\pm 1.5195$
19,20	$\pm 2.1551$

Στη συνέχεια γίνονται τυχαία ζευγάρια των γωνιών αναχώρησης ακτίνων. Οι πολώσεις είναι  $\{vv, vh, hv, hh\}$  με αρχικές φάσεις  $\{\Phi_{n,m}^{vv}, \Phi_{n,m}^{vh}, \Phi_{n,m}^{hv}, \Phi_{n,m}^{hh}\}$ ,

όπου οι αρχικές φάσεις κυμαίνονται από  $-\pi$  ως  $\pi$  και  $m$  ο αριθμός των ακτινών εντός των συστάδων  $n$  [ITU1].

Στην περίπτωση της οπτικής επαφής έχουμε μόνο  $\{vv, hh\}$  πολώσεις με τις αντίστοιχες αρχικές φάσεις [ITU1]

$$H_{u,s,n}(t) = \sqrt{P_n} \sum_{m=1}^M \begin{bmatrix} F_{tx,s,V}(\phi_{n,m}) \\ F_{tx,s,H}(\phi_{n,m}) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \exp(j\Phi_{n,m}^{vv}) & -\sqrt{k_{n,m}} \exp(j\Phi_{n,m}^{vh}) \\ \sqrt{k_{n,m}} \exp(j\Phi_{n,m}^{hv}) & \exp(j\Phi_{n,m}^{hh}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{rx,u,V}(\phi_{n,m}) \\ F_{rx,u,H}(\phi_{n,m}) \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

$$\cdot \exp(jd_s 2\pi\lambda_0^{-1} \sin(\phi_{n,m})) \exp(jd_u 2\pi\lambda_0^{-1} \sin(\phi_{n,m})) \exp(j2\pi u_{n,m} t)$$

Όπου  $F_{rx,u,H}$ ,  $F_{rx,u,V}$  τα πεδία στοιχειοκεραιών για οριζόντια και κάθετη πόλωση αντίστοιχα

$d_s, d_u$  οι ομοιόμορφες αποστάσεις

$\kappa$  ο λόγος ισχύος σταυρωτής πόλωσης

$\lambda_0$  το μήκος κύματος

Αν δε λαμβάνεται η πόλωση τότε αντικαθίσταται ο  $2 \times 2$  πίνακας πόλωσης με  $\exp(j\Phi_{n,m})$  [ITU1].

Η συχνότητα Doppler δίνεται από τον τύπο 4.19 [ITU1]

$$u_{n,m} = \frac{\|v\| \cos(\phi_{n,m} - \theta_v)}{\lambda_0} \quad (4.21)$$

Όπου  $v$  η ταχύτητα του τερματικού χρήστη και

$\theta_v$  η κατεύθυνση της κίνησης.

Για τις 2 ισχυρότερες συστάδες, οι ακτίνες κατανέμονται σε 3 υποσυστάδες ανά συστάδα. Οι καθυστερήσεις στις υποσυστάδες δίνονται από τους τύπους 4.20, 4.21 και 4.22 [ITU1].

$$\tau_{n,1} = \tau_n + 0ns \quad (4.22)$$

$$\tau_{n,2} = \tau_n + 5ns \quad (4.23)$$

$$\tau_{n,3} = \tau_n + 10ns \quad (4.24)$$

Οι καθυστερήσεις που προστίθενται στην καθυστέρηση ανάλογα με την υποσυστάδα δίνονται στον πίνακα 4.6 [ITU1].

**Πίνακας 4.6 Παράμετροι για τις υποσυστάδες [ITU1]**

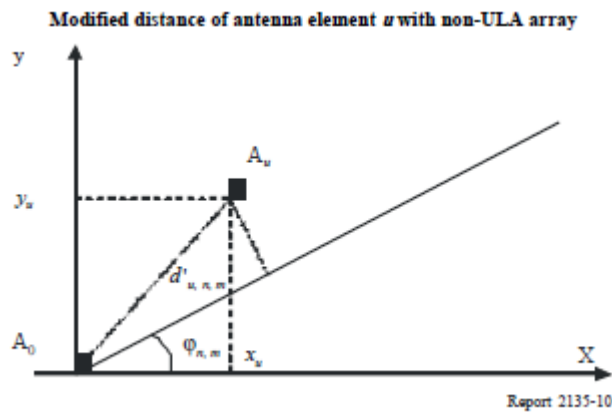
Αριθμός υποσυστάδων	Ακτίνες	Ισχύς	Προστιθέμενη καθυστέρηση
1	1,2,3,4,5,6,7,8,19,20	10/20	0 ns
2	9,10, 11, 12, 17, 18	6/20	5 ns
3	13, 14, 15, 16	4/20	10 ns

Στην περίπτωση οπτικής επαφής προστίθεται μια ακτίνα οπτικής επαφής και γίνεται διαβάθμιση των αποτελεσμάτων του τύπου 4.18. Για γραμμικές περιγραφές χρησιμοποιείται ο τύπος 4.23 [ITU1].

$$\begin{aligned}
 H_{u,s,n}(t) = & \sqrt{\frac{1}{K_R + 1}} H'_{u,s,n}(t) \\
 + \delta(n-1) & \sqrt{\frac{1}{K_R + 1}} \sum_{m=1}^M \begin{bmatrix} F_{tx,s,V}(\phi_{LOS}) \\ F_{tx,s,H}(\phi_{LOS}) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \exp(j\Phi_{LOS}^{vv}) - 0 \\ 0 & \exp(j\Phi_{LOS}^{hh}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{rx,u,V}(\phi_{LOS}) \\ F_{rx,u,H}(\phi_{LOS}) \end{bmatrix} \\
 \cdot \exp(jd_s 2\pi\lambda_0^{-1} \sin(\phi_{LOS})) & \exp(jd_u 2\pi\lambda_0^{-1} \sin(\phi_{LOS})) \exp(j2\pi u_{LOS} t)
 \end{aligned} \quad (4.25)$$

Σε μια μη γραμμική περιγραφή οι αποστάσεις φαίνονται στο σχήμα 4.4 και δίνονται από τον τύπο 4.24 [ITU1]

$$d'_{u,n,m} = \frac{\sqrt{x_u^2 + y_u^2} \cos(\arctan(y_u / x_u) - \phi_{n,m})}{\sin \phi_{n,m}} \quad (4.26)$$



**Σχήμα 4.4 Αποστάσεις για μη γραμμικές περιγραφές [ITU1]**

Στην περίπτωση όπου λαμβάνεται στους υπολογισμούς και η γωνία ανύψωσης

χρησιμοποιούμε τον τύπο 4.25 [WIN1]

$$H_{u,s,n}(t) = \sqrt{P_n} \sum_{m=1}^M \begin{bmatrix} F_{tx,s,V}(\phi_{n,m}) \\ F_{tx,s,H}(\phi_{n,m}) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \exp(j\Phi_{n,m}^{vv}) & -\sqrt{k_{n,m}} \exp(j\Phi_{n,m}^{vh}) \\ \sqrt{k_{n,m}} \exp(j\Phi_{n,m}^{hv}) & \exp(j\Phi_{n,m}^{hh}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{rx,u,V}(\phi_{n,m}) \\ F_{rx,u,H}(\phi_{n,m}) \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

$$\cdot \exp(jd_s 2\pi\lambda_0^{-1} r_s \cdot \overline{\Phi_{n,m}}) \exp(jd_u 2\pi\lambda_0^{-1} r_u \cdot \overline{\Psi_{n,m}}) \exp(j2\pi\omega_{n,m} t)$$

Βρίσκουμε τις τιμές για κάθε συστάδα και για κάθε ζεύγος εκπομπού και δέκτη. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τις τιμές των απωλειών διάδοσης και σκίασης όπως αυτές φαίνονται στους πίνακες 4.7-4.29 για κάθε σενάριο προσομοίωσης [WIN1].

### 4.1.3.1 Σενάριο A1

Στην περίπτωση της οπτικής επαφής ο συντελεστής K της κατανομής Rice είναι 4.7dB [WIN1].

**Πίνακας 4.7 Παράμετροι εσωτερικού περιβάλλοντος σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο A1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας =5°	ASA Συστάδας =5°	XPR=11dB			
	0	5	10	0	-15.1	-16.9			0	0				-0.23	-22.9	
1	0	5	10	0	-15.1	-16.9	0	0	-0.23	-22.9				ASD Συστάδας =5°	ASA Συστάδας =5°	XPR=11dB
2	10			-15.8			-107	-110	-28.8							
3	25			-13.5			-100	102	-26.5							
4	50	55	60	-15.1	-17.3	-19.1	131	-134	-25.1							
5	65			-19.2			118	121	-32.2							
6	75			-23.5			131	-134	-36.5							
7	75			-18.3			116	-118	-31.3							
8	115			-23.3			131	-134	-36.4							
9	115			-29.1			146	149	-42.2							
10	145			-14.2			102	105	-27.2							
11	195			-21.6			-126	129	-34.6							
12	350			-23.4			131	-134	-36.4							

**Πίνακας 4.8 Παράμετροι εσωτερικού περιβάλλοντος σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο A1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)	ASD Συστάδας =5°	ASA Συστάδας =5°	XPR=10dB
1	0			-2.2			45	41	-15.2			
2	5			-6.6			77	-70	-19.7			
3	5			-2.1			43	39	-15.1			
4	5			-5.8			72	66	-18.8			
5	15			-3.3			54	-49	-16.3			
6	15			-4.7			-65	59	-17.7			
7	15			-4.1			-60	-55	-17.1			
8	20			-8.2			85	-78	-21.2			
9	20	25	30	-3.0	-5.2	-7.0	0	0	-13.0			
10	35	40	45	-4.6	-6.8	-8.6	-104	95	-14.6			
11	80			-10.0			95	86	-23.0			
12	85			-12.1			-104	95	-25.1			
13	110			-12.4			-105	-96	-25.4			
14	115			-11.8			103	-94	-24.8			
15	150			-20.4			-135	123	-33.4			
16	175			-16.6			-122	-111	-29.6			

#### 4.1.3.2 Σενάριο A2/B4

**Πίνακας 4.9 Παράμετροι κατά τη μεταφορά από εσωτερικό σε εξωτερικό περιβάλλον, σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο A2/B4 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)	ASD Συστάδας =8°	ASA Συστάδας =5°	XPR=9dB
1	0	5	10	-3.0	-5.2	-7.0	0	0	-13.0			
2	0			-8.7			102	32	-21.7			
3	5			-3.7			-66	-21	-16.7			
4	10			-11.9			-119	37	-24.9			
5	35			-16.2			139	-43	-29.2			
6	35			-6.9			91	28	-19.9			
7	65	70	75	-3.4	-5.6	-7.3	157	-49	-13.4			
8	120			-10.3			-111	-34	-23.3			
9	125			-20.7			157	-49	-33.7			
10	195			-16.0			138	43	-29.1			



11	250	-21.0	158	49	-34.0			
12	305	-22.9	165	51	-35.9			

### 4.1.3.3 Σενάριο B1

Στο σενάριο B1 ο παράγοντας K της Rice είναι 3.3dB στην περίπτωση οπτικής επαφής. Οι μετρήσεις έχουν γίνει σε συχνότητα 60MHz με εύρος ζώνης 5.3GHz [WIN1].

**Πίνακας 4.10 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο B1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας =10°	ASA Συστάδας =22°	XPR=8dB
1	0			0.0			0	0	-0.31	-24.7	ASD Συστάδας =10°	ASA Συστάδας =22°	XPR=8dB
2	30	35	40	-10.5	-12.7	-14.5	5	45	-20.5				
3	55			-14.8			8	63	-27.8				
4	60	65	70	-13.6	-15.8	-17.6	8	-69	-23.6				
5	105			-13.9			7	61	-26.9				
6	115			-17.8			8	-69	-30.8				
7	250			-19.6			-9	-73	-32.6				
8	460			-31.4			11	92	-44.4				

**Πίνακας 4.11 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο B1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=10°	ASA Συστάδας=22°	XPR=8Db
1	0			-1.0			8	-20	-14.0		ASD Συστάδας=10°	ASA Συστάδας=22°	XPR=8Db
2	90	95	100	-3.0	-5.2	-7.0	0	0	-13.0				
3	100	105	110	-3.9	-6.1	-7.9	-24	57	-13.9				
4	115			-8.1			-24	-55	-21.1				
5	230			-8.6			-24	57	-21.6				
6	240			-11.7			29	67	-24.7				
7	245			-12.0			29	-68	-25.0				
8	285			-12.9			30	70	-25.9				
9	390			-19.6			-37	-86	-32.6				
10	430			-23.9			41	-95	-36.9				
11	460			-22.1			-39	-92	-35.1				
12	505			-25.6			-42	-99	-38.6				
13	515			-23.3			-40	94	-36.4				
14	595			-32.2			47	111	-45.2				

15	600	-31.7	47	110	-44.7			
16	615	-29.9	46	-107	-42.9			

#### 4.1.3.4 Σενάριο B2

*Πίνακας 4.12 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο B2 [WIN1]*

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=10°	ASA Συστάδας=22°	XPR=8dB
	1	5	10	-3.0	-5.2	-7.0			0	0			
2	35			-5.4			20	-46	-18.4				
3	135	140	145	-5.0	-7.2	-9.0	40	-92	-15.0				
4	190			-8.2			25	57	-21.2				
5	350			-21.8			40	-92	-34.8				
6	425			-25.5			-44	-100	-38.5				
7	430			-28.7			-46	-106	-41.7				
8	450			-20.8			39	90	-33.8				
9	470			-30.7			-48	-110	-43.7				
10	570			-34.9			-51	-117	-47.9				
11	605			-34.5			-51	-116	-47.5				
12	625			-31.5			-48	-111	-44.5				
13	625			-35.3			-51	-118	-48.3				
14	630			-37.5			53	121	-50.5				
15	1600			-5.7			-110	15	-18.7				
16	2800			-7.7			75	-25	-20.7				

#### 4.1.3.5 Σενάριο B3

*Πίνακας 4.13 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο B3 [WIN1]*

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=5°	ASA Συστάδας=5°	XPR=9dB
	1	5	10	0.0					0	0			
2	0	5	10	-9.6	-11.8	-13.6	-23	-53	-19.6				
3	15			-14.5			-34	-79	-27.6				
4	25			-12.8			-32	-74	-25.8				
5	40			-13.7			33	76	-26.8				
6	40	45	50	-14.1	-16.4	-18.1	-35	80	-24.1				
7	90			-12.6			32	-73	-25.6				
8	130			-15.2			-35	80	-28.2				
9	185			-23.3			-43	-100	-36.4				
10	280			-27.7			47	-108	-40.7				

Στο σενάριο B3 ο παράγοντας της κατανομής Rice είναι  $K=2\text{dB}$  [WIN1].

**Πίνακας 4.14 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο B3 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=6°	ASA Συστάδας=13°	XPR=5dB
1	0			-6.6			-16	-73	-19.6				
2	5	10	15	-3.0	-5.2	-7.0	0	0	-13.0				
3	5			-11.0			-21	-94	-24.0				
4	10	15	20	-4.3	-6.5	-8.2	-10	-46	-14.3				
5	20			-7.1			17	75	-20.1				
6	20			-2.7			-10	-46	-15.7				
7	30			-4.3			-13	-59	-17.3				
8	60			-14.1			-24	107	-27.1				
9	60			-6.2			-16	71	-19.2				
10	65			-9.1			19	86	-22.1				
11	75			-5.5			-15	67	-18.5				
12	110			-11.1			-21	95	-24.1				
13	190			-11.8			22	98	-24.8				
14	290			-17.0			-26	117	-30.1				
15	405			-24.9			-32	142	-37.9				

#### 4.1.3.6 Σενάριο C1

**Πίνακας 4.15 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο C1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=5°	ASA Συστάδας=5°	XPR=8Db
1	0	5	10	0.0	-25.3	-27.1	0	0	-0.02	-33.1			
2	85			-21.6			-29	-144	-34.7				
3	135			-26.3			-32	-159	-39.3				
4	135			-25.1			-31	155	-38.1				
5	170			-25.4			31	156	-38.4				
6	190			-22.0			29	-146	-35.0				
7	275			-29.2			-33	168	-42.2				
8	290	295	300	-24.3	-26.5	-28.2	35	-176	-34.3				
9	290			-23.2			-30	149	-36.2				
10	410			-32.2			35	-176	-45.2				
11	445			-26.5			-32	-159	-39.5				
12	500			-32.1			35	-176	-45.1				
13	620			-28.5			33	-165	-41.5				

14	655	-30.5	34	-171	-43.5			
15	960	-32.6	35	177	-45.6			

Στο σενάριο C1 ο παράγοντας K της κατανομής Rice είναι  $K=12.9\text{dB}$  [WIN1].

**Πίνακας 4.16 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)	ASD Συστάδας=2°	ASA Συστάδας=10°	XPR=4dB
	1	5	10	-3.0	-5.2	-7.0						
2	25			-7.5			13	-71	-20.5			
3	35			-10.5			-15	-84	-23.5			
4	35			-3.2			-8	46	-16.2			
5	45	50	55	-6.1	-8.3	-10.1	12	-66	-16.1			
6	65			-14.0			-17	-97	-27.0			
7	65			-6.4			12	-66	-19.4			
8	75			-3.1			-8	-46	-16.1			
9	145			-4.6			-10	-56	-17.6			
10	160			-8.0			-13	73	-21.0			
11	195			-7.2			12	70	-20.2			
12	200			-3.1			8	-46	-16.1			
13	205			-9.5			14	-80	-22.5			
14	770			-22.4			22	123	-35.4			

#### 4.1.3.7 C2

**Πίνακας 4.17 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο C2 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)	ASD Συστάδας=6°	ASA Συστάδας=12°	XPR=8dB
	1	5	10	-16.2	-18.4	-20.2						
2	0			0.0			0	0	-0.08   -30.6			
3	30			-15.3			26	129	-28.3			
4	85			-16.7			-27	-135	-29.7			
5	145	150	155	-18.2	-20.4	-22.2	26	-129	-28.2			
6	150			-18.2			28	141	-31.2			
7	160			-15.3			26	-129	-28.3			
8	220			-23.1			-32	-158	-36.1			

Πίνακας 4.18 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C2

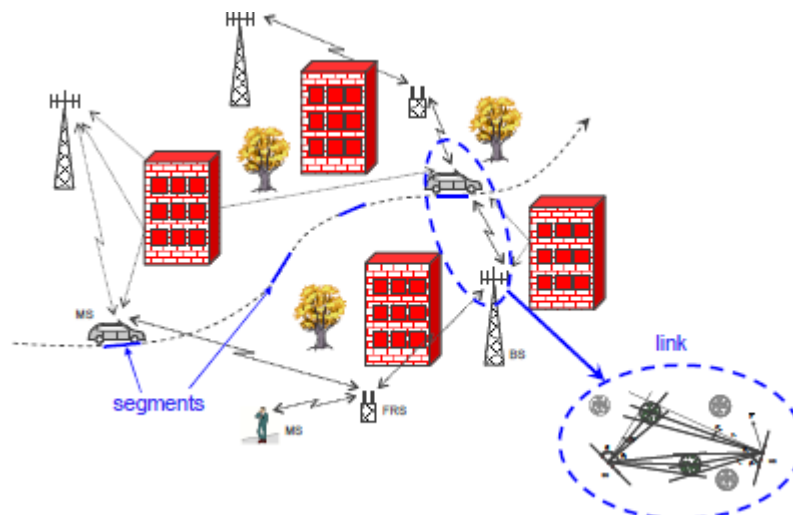
[WIN1]

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	ΑοD(°)	ΑοΑ(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)
1	0	-6.4	11	61	-19.5
2	60	-3.4	-8	44	-16.4
3	75	-2.0	-6	-34	-15.0
4	145   150   155	-3.0   -5.2   -7.0	0	0	-13.0
5	150	-1.9	6	33	-14.9
6	190	-3.4	8	-44	-16.4
7	220   225   230	-3.4   -5.6   -7.4	-12	-67	-13.4
8	335	-4.6	-9	52	-17.7
9	370	-7.8	-12	-67	-20.8
10	430	-7.8	-12	-67	-20.8
11	510	-9.3	13	-73	-22.3
12	685	-12.0	15	-83	-25.0
13	725	-8.5	-12	-70	-21.5
14	735	-13.2	-15	87	-26.2
15	800	-11.2	-14	80	-24.2
16	960	-20.8	19	109	-33.8
17	1020	-14.5	-16	91	-27.5
18	1100	-11.7	15	-82	-24.7
19	1210	-17.2	18	99	-30.2
20	1845	-16.7	17	98	-29.7

ASD Συστάδας=2°

ASA Συστάδας=15°

XPR=7dB



Σχήμα 4.5 Προσομιώσεις στο επίπεδο συστήματος [WIN3]

Στο σενάριο C2 ο παράγοντας K της κατανομής Rice είναι K=7.0dB [WIN1].

### 4.1.3.8 C3

Πίνακας 4.19 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C3 [WIN1]

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)	ASD Συστάδας=2°	ASA Συστάδας=15°	XPR=7dB
1	0			-3.5			-9	-52	-16.5			
2	5			-8.9			14	-83	-22.0			
3	35			-4.6			-10	-60	-17.6			
4	60			-9.2			-14	-85	-22.2			
5	160	165	170	-3	-5.2	-7	0	0	-13.0			
6	180			-1.7			-6	-36	-14.7			
7	240			-2.7			7	46	-15.7			
8	275			-7			-12	74	-20.0			
9	330			-5.9			11	68	-18.9			
10	335			-6.7			-12	-72	-19.7			
11	350	355	360	-4.3	-6.5	-8.3	-10	-62	-14.3			
12	520			-5.3			-10	-64	-18.3			
13	555			-4.9			-10	-62	-17.9			
14	555			-9.4			14	85	-22.4			
15	990			-12.3			16	-98	-25.3			
16	1160			-12.2			16	-97	-25.2			
17	1390			-20.8			21	127	-33.8			
18	1825			-25.4			-23	140	-38.4			
19	4800			-9.7			-135	25	-22.7			
20	7100			-13			80	40	-26.0			

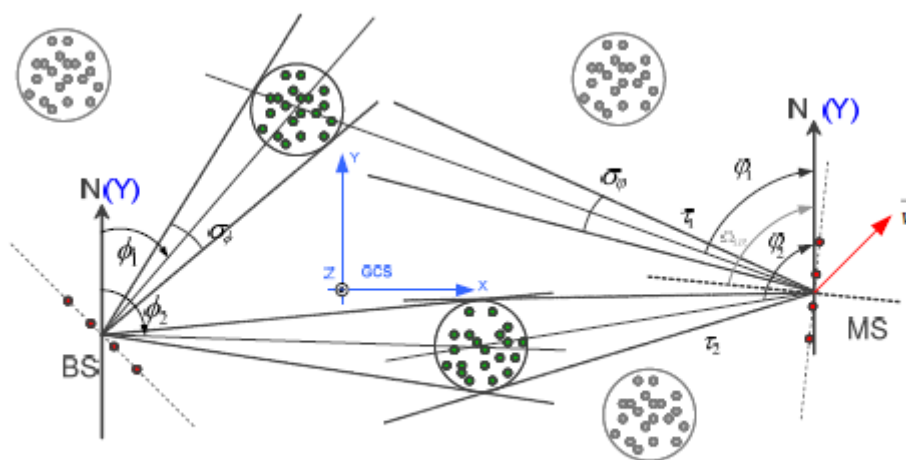


Figure 3.2. Single link.

Σχήμα 4.6 Μονή ζεύξη

### 4.1.3.9 C4

Πίνακας 4.20 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο C4 [WIN1]

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=5°	ASA Συστάδας=8°	XPR=9dB
	1	5	10	-3.0	-5.2	-7.0			0	0			
2	15			-6.9			28	-91	-19.9				
3	95			-3.6			-20	65	-16.6				
4	145			-16.2			43	-139	-29.3				
5	195			-8.5			-31	101	-21.5				
6	215			-15.9			43	-138	-28.9				
7	250			-6.9			28	-91	-19.9				
8	445			-14.1			-40	130	-27.1				
9	525	530	535	-3.8	-6.0	-7.8	45	-146	-13.8				
10	815			-13.6			-39	128	-26.6				
11	1055			-17.8			45	-146	-30.8				
12	2310			-32.2			-61	196	-45.2				

### 4.1.3.10 D1

Πίνακας 4.21 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο D1 [WIN1]

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=2°	ASA Συστάδας=3°	XPR=12dB
	1	5	10	0.0	-15.0	-16.8			0	0			
2	20			-15.5			17	44	-28.5				
3	20			-16.2			17	-45	-29.2				
4	25	30	35	-15.3	-17.5	-19.2	18	-48	-25.3				
5	45			-20.5			-19	50	-33.5				
6	65			-18.9			18	-48	-31.9				
7	65			-21.1			-19	51	-34.2				
8	90			-23.6			-20	-54	-36.6				
9	125			-26.1			-22	57	-39.1				
10	180			-29.4			23	-60	-42.4				
11	190			-28.3			-22	59	-41.3				

Στο σενάριο D1 ο παράγοντας K της κατανομής Rice είναι K=5.7dB [WIN1].

**Πίνακας 4.22 Παράμετροι σε συνθήκες μη οπτικής επαφής Σενάριο D1 [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=2°	ASA Συστάδας=3°	XPR=7Db
	1	5	10	-3.0	-5.2	-7.0			0	0			
2	0			-1.8			-8	28	-14.8				
3	5			-3.3			-10	38	-16.3				
4	10	15	20	-4.8	-7.0	-8.8	15	-55	-14.8				
5	20			-5.3			13	48	-18.3				
6	25			-7.1			15	-55	-20.1				
7	55			-9.0			-17	62	-22.0				
8	100			-4.2			-12	42	-17.2				
9	170			-12.4			20	-73	-25.4				
10	420			-26.5			29	107	-39.5				

#### 4.1.3.11 D2a

Στο σενάριο D2a ο παράγοντας K της κατανομής Rice είναι K=7dB [WIN1].

**Πίνακας 4.23 Παράμετροι σε συνθήκες οπτικής επαφής Σενάριο D2a**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)			Ισχύς (dB)			AoD(°)	AoA(°)	Ισχύς ακτίνας (dB)		ASD Συστάδας=2°	ASA Συστάδας=3°	XPR=12dB
	1	5	10	0.0					0.0	0.0			
2	45	50	55	-17.8	-20.1	-21.8	12.7	-80.0	-27.8				
3	60			-17.2			-13.6	86.0	-30.2				
4	85			-16.5			13.4	84.4	-29.5				
5	100	105	110	-18.1	-20.4	-22.1	-13.9	87.5	-28.1				
6	115			-15.7			-13.0	-82.2	-28.7				
7	130			-17.7			-13.9	87.5	-30.8				
8	210			-17.3			13.7	86.2	-30.3				

#### 4.1.3.12 B5a

Θεωρούμε πως η ταχύτητα του κινητού σταθμού είναι άγνωστη. Κάθε



συστάδα αποτελείται από 20 ακτίνες [WIN1]. Το εύρος της γωνίας azimuth για το σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό είναι  $0.5^\circ$  [WIN1]. Το σύνθετο εύρος της γωνία είναι  $1.13^\circ$  για το σταθμό βάσης και  $0.76^\circ$  για τον κινητό σταθμό [WIN1].

**Πίνακας 4.24 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης από οροφή σε οροφή. Σενάριο B5a [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	AoD (°)	AoA (°)	Συχνότητα Σκεδαστή (mHz)	K (dB)	XPR=30dB	
							Ισχύς ακτίνας σε dB	
1	0	-0.39	0.0	0.0	41.6	§	-0.42	-35.2
2	10	-20.6	0.9	0.2	-21.5		-33.61	
3	20	-26.8	0.3	1.5	-65.2		-39.81	
4	50	-24.2	-0.3	2.0	76.2		-37.21	
5	90	-15.3	3.9	0.0	10.5		-28.31	
6	95	-20.5	-0.8	3.6	-20.2		-33.51	
7	100	-28.0	4.2	-0.7	1.3		-41.01	
8	180	-18.8	-1.0	4.0	2.2		-31.81	
9	205	-21.6	5.5	-2.0	-15.4		-34.61	
10	260	-19.9	7.6	-4.1	48.9		-32.91	

#### 4.1.3.13 B5b

**Πίνακας 4.25 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης στο επίπεδο του δρόμου με απώλειες διάδοσης μικρότερες των 85dB. Σενάριο B5b [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	AoD (°)	AoA (°)	Συχνότητα Σκεδαστή (mHz)	K (dB)	XPR=9dB	
							Ισχύς ακτίνας σε dB	
1	0	-0.37	0.0	0.0	744	§	-0.41	-33.4
2	5	-15.9	-71.7	70.0	-5		-28.91	
3	15	-22.2	167.4	-27.5	-2872		-35.21	
4	20	-24.9	-143.2	106.4	434		-37.91	
5	40	-26.6	34.6	94.8	295		-39.61	
6	45	-26.2	-11.2	-94.0	118		-39.21	
7	50	-22.3	78.2	48.6	2576		-35.31	
8	70	-22.3	129.2	-96.6	400		-35.31	
9	105	-29.5	-113.2	41.7	71		-42.51	
10	115	-17.7	-13.5	-83.3	3069		-30.71	
11	125	-29.6	145.2	176.8	1153		-42.61	
12	135	-26.6	-172.0	93.7	-772		-39.61	

13	140	-23.4	93.7	-6.4	1298			-36.41
14	240	-30.3	106.5	160.3	-343			-43.31
15	300	-27.7	-67.0	-50.1	-7			-40.71
16	345	-34.8	-95.1	-149.6	-186			-47.81
17	430	-38.5	-2.0	161.5	-2287			-51.51
18	440	-38.6	66.7	68.7	26			-51.61
19	465	-33.7	160.1	41.6	-1342			-46.71
20	625	-35.2	-21.8	142.2	-61			-48.21

Θεωρούμε πως η ταχύτητα του κινητού σταθμού είναι άγνωστη [WIN1]. Κάθε συστάδα αποτελείται από 20 ακτίνες [WIN1]. Το εύρος της γωνίας azimuth για το σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό είναι  $2^{\circ}$  [WIN1]. Το σύνθετο εύρος της γωνία είναι  $26.2^{\circ}$  για το σταθμό βάσης και  $22.4^{\circ}$  για τον κινητό σταθμό [WIN1].

**Πίνακας 4.26 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης στο επίπεδο του δρόμου με απώλειες διάδοσης μικρότερες των 110dB και μεγαλύτερες από 85dB. Σενάριο B5b [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	AoD (°)	AoA (°)	Συχνότητα Σκεδαστή (mHz)	K (dB)	XPR=9dB	
1	0	-1.5	0.0	0.0	744	13.0	-1.7	-27.7
2	5	-10.2	-71.7	70.0	-5		-23.21	
3	30	-16.6	167.4	-27.5	-2872		-29.61	
4	45	-19.2	-143.2	106.4	434		-32.21	
5	75	-20.9	34.6	94.8	294		-33.91	
6	90	-20.6	-11.2	-94.0	118		-33.61	
7	105	-16.6	78.2	48.6	2576		-29.61	
8	140	-16.6	129.2	-96.6	400		-29.61	
9	210	-23.9	-113.2	41.7	71		-36.91	
10	230	-12.0	-13.5	-83.3	3069		-25.01	
11	250	-23.9	145.2	176.8	1153		-36.91	
12	270	-21.0	-172.0	93.7	-772		-34.01	
13	275	-17.7	93.7	-6.4	1298		-30.71	
14	475	-24.6	106.5	160.3	-343		-37.61	
15	595	-22.0	-67.0	-50.1	-7		-35.01	
16	690	-29.2	-95.1	-149.6	-186		-42.21	
17	855	-32.9	-2.0	161.5	-2288		-45.91	
18	880	-32.9	66.7	68.7	26		-45.91	
19	935	-28.0	160.1	41.6	-1342		-41.01	
20	1245	-29.6	-21.8	142.2	-61	8	-42.61	

Θεωρούμε πως η ταχύτητα του κινητού σταθμού είναι άγνωστη [WIN1]. Κάθε

συστάδα αποτελείται από 20 ακτίνες [WIN1]. Το εύρος της γωνίας azimuth για το σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό είναι 2°. [WIN1]. Το σύνθετο εύρος της γωνία είναι 50.2° για το σταθμό βάσης και 42.8° για τον κινητό σταθμό [WIN1].

**Πίνακας 4.27 Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης στο επίπεδο του δρόμου με απώλειες διάδοσης μεγαλύτερες των 110dB. Σενάριο B5b [WIN1]**

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	AoD (°)	AoA (°)	Συχνότητα Σκεδαστή (mHz)	K (dB)	XPR=9dB	
1	0	-2.6	0.0	0.0	744	10.0	-3.0	-26.0
2	10	-8.5	-71.7	70.0	-5		-21.51	
3	90	-14.8	167.4	-27.5	-2872		-27.81	
4	135	17.5	-143.2	106.4	434		-30.51	
5	230	-19.2	34.6	94.8	294		-32.21	
6	275	-18.8	-11.2	-94.0	118		-31.81	
7	310	-14.9	78.2	48.6	2576		-27.91	
8	420	-14.9	129.2	-96.6	400		-27.91	
9	630	-22.1	-113.2	41.7	71		-35.11	
10	635	-10.3	-13.5	-83.3	3069		-23.31	
11	745	-22.2	145.2	176.8	1153		-35.21	
12	815	-19.2	-172.0	93.7	-772		-32.21	
13	830	-16.0	93.7	-6.4	1298		-29.01	
14	1430	-22.9	106.5	160.3	-343		-35.91	
15	1790	-20.3	-67.0	-50.1	-7		-33.31	
16	2075	-27.4	-95.1	-149.6	-186		-40.41	
17	2570	-31.1	-2.0	161.5	-2288		-44.11	
18	2635	-31.2	66.7	68.7	26		-44.21	
19	2800	-26.3	160.1	41.6	-1342		-39.31	
20	3740	-27.8	-21.8	142.2	-61	8	-40.81	

Θεωρούμε πως η ταχύτητα του κινητού σταθμού είναι άγνωστη [WIN1]. Κάθε συστάδα αποτελείται από 20 ακτίνες [WIN1]. Το εύρος της γωνίας azimuth για το σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό είναι 2° [WIN1]. Το σύνθετο εύρος της γωνία είναι 61.42° για το σταθμό βάσης και 52.3° για τον κινητό σταθμό [WIN1].

#### 4.1.3.14 B5c

Θεωρούμε πως η ταχύτητα του κινητού σταθμού είναι άγνωστη [WIN1]. Κάθε συστάδα αποτελείται από 20 ακτίνες [WIN1]. Το εύρος της γωνίας azimuth για το σταθμό βάσης είναι 3° και για τον κινητό σταθμό είναι 18° [WIN1]. Το σύνθετο

εύρος της γωνία είναι  $61.42^\circ$  για το σταθμό βάσης και  $4.5^\circ$  για τον κινητό σταθμό  $45.0^\circ$  [WIN1].

**Πίνακας 4.28** Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης με οπτική επαφή. Σενάριο B5c [WIN1]

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	AoD ( $^\circ$ )	AoA ( $^\circ$ )	Συχνότητα Σκεδαστή (mHz)	K (dB)	XPR=9Db	
							Ισχύς ακτίνας σε dB	
1	0	0	0	0	-127	3.3	-1.67	-18.0
2	30	-11.7	5	45	385	8	-24.71	
3	55	-14.8	8	63	-879		-27.81	
4	60	-14.8	8	-69	+++		-27.81	
5	105	-13.9	7	61	+++		-26.911	
6	115	-17.8	8	-69	-735		-30.81	
7	250	-19.6	-9	-73	-274		-32.61	
8	460	-31.4	11	92	691		-44.41	

#### 4.1.3.15 B5f

**Πίνακας 4.29** Παράμετροι σε συνθήκες μετάδοσης χωρίς οπτική επαφή από οροφή σε οροφή. Σενάριο B5f [WIN1]

Συστάδα	Καθυστέρηση (ns)	Ισχύς (dB)	AoD ( $^\circ$ )	AoA ( $^\circ$ )	Συχνότητα Σκεδαστή (mHz)	K (dB)	XPR=10dB	
							Ισχύς ακτίνας σε dB	
1	0	-0.1	0.0	0.0	41.6	8	-13.11	
2	10	-5.3	0.9	0.2	-21.5		-18.31	
3	20	-11.5	0.3	1.5	-65.2		-24.51	
4	50	-8.9	-0.3	2.0	76.2		-21.91	
5	90	0.0	3.9	0.0	10.5		-13.01	
6	95	-5.2	-0.8	3.6	-20.2		-18.21	
7	100	-12.7	4.2	-0.7	1.3		-25.71	
8	180	-3.5	-1.0	4.0	2.2		-16.51	
9	205	-6.3	5.5	-2.0	-15.4		-19.31	
10	260	-4.6	7.6	-4.1	48.9		-17.61	

Θεωρούμε πως η ταχύτητα του κινητού σταθμού είναι άγνωστη [WIN1]. Κάθε συστάδα αποτελείται από 20 ακτίνες [WIN1]. Το εύρος της γωνίας azimuth για το σταθμό βάσης και τον κινητό σταθμό είναι  $0.5^\circ$  [WIN1]. Το σύνθετο εύρος της γωνία είναι  $2.87^\circ$  για το σταθμό βάσης και για τον κινητό σταθμό  $2.33^\circ$  [WIN1].

## 4.2 Συναρτήσεις μοντέλου WINNER

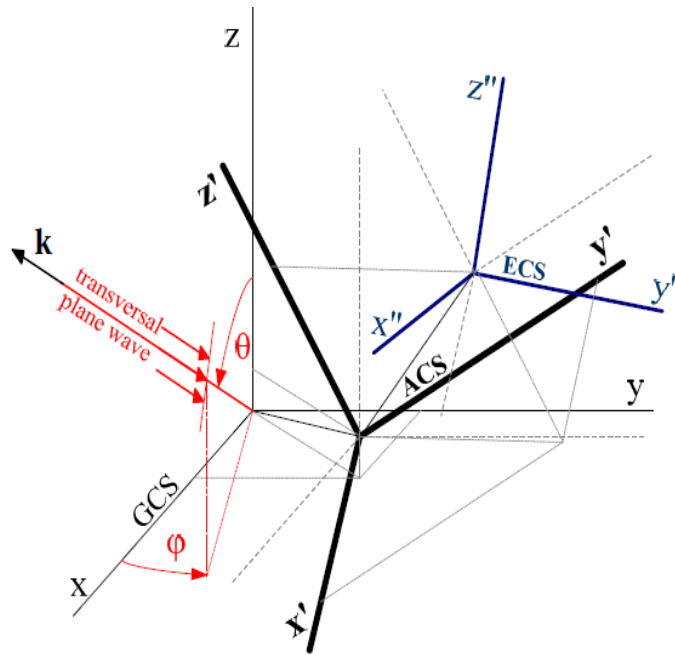
### 4.2.1 *antenna\_pol\_vect.m*

Η κίνηση της κεραίας περιγράφεται με χρήση γωνιών [WIN4]. Η κίνηση αριστερόστροφα και δεξιόστροφα περιγράφεται με τη γωνία  $\phi$  (azimuth) [WIN4]. Η κίνηση προς τα επάνω και προς τα κάτω περιγράφεται με χρήση της γωνίας  $\theta$  (elevation) [WIN4]. Η πλήρης περιγραφή της κίνησης της κεραίας βρίσκεται με το συνδυασμό αυτών των γωνιών. Υπολογίζουμε τις προβολές των διανυσμάτων πόλωσης όχι μόνο οριζόντια ή κάθετα αλλά και στις δύο κατευθύνσεις [WIN4]. Έτσι βρίσκουμε τα διανύσματα πόλωσης της κεραίας που είναι κανονικοποιημένα ως προς το μέτρο τους [WIN4]. Στην αρχή των αξόνων τα διανύσματα πόλωσης βρίσκονται από το εξωτερικό γινόμενο του διανύσματος  $\theta$  με το υπολογισμένο διάνυσμα γωνιών άφιξης και αναχώρησης [WIN4].

### 4.2.2 *AntennaArray.m*

Για την περιγραφή της κεραίας χρειάζεται η θέση της πριν και μετά την περιστροφή στο σύστημα συντεταγμένων της κεραίας ACS, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.7 καθώς και ο αριθμός των στοιχείων που την αποτελούν [WIN4]. Το σύστημα αυτό έχει θεωρηθεί το πιο κατάλληλο για τους υπολογισμούς, αφού το σύστημα συντεταγμένων των στοιχειοκεραιών ECS θεωρείται πως αυξάνει την πολυπλοκότητα των υπολογισμών [WIN3].

Ακόμα περιγράφεται το αν η κεραία είναι ULA ή UCA, το σύστημα συντεταγμένων και η γωνία  $\phi$  (azimuth) [WIN4]. Η γωνία από τον x άξονα μέχρι τον άξονα των θετικών y κυμαίνεται από 0 ως 90° και μέχρι τον άξονα των αρνητικών y από 0 ως -90° [WIN4]. Για την κυκλική περιγραφή η γωνία μετράει από τον x άξονα και αυξάνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το  $n$ -οστό στοιχείο να τοποθετείται στη θέση  $(n-1)*\Delta\phi$  όπου το  $\Delta\phi = 2\pi/N$  [WIN3]. Στον γραμμικό πίνακα τα στοιχεία τοποθετούνται έτσι ώστε το κέντρο του πίνακα να είναι η αρχή των αξόνων [WIN4].



Σχήμα 4.7 Συστήματα συντεταγμένων [WIN1]

Η διάκριση διασταύρωσης πόλωσης XPD (Cross Polarization Discrimination) περιγράφει τη διαφορά μεταξύ των διαφορετικών πολώσεων κεραιών εκπομπής και λήψης [WIKI]. Η διαφορά αυτή σε περίπτωση που μια οριζόντια πολωμένη κεραία λαμβάνει από μια κάθετα πολωμένη κεραία κυμαίνεται από μερικά dB μέχρι το άπειρο.

Η κεραία περιγράφεται με τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την ενεργό επιφάνεια της κεραίας EADF (effective aperture density function). Αυτή η περιγραφή είναι πιο αποτελεσματική γιατί μειώνει την ποσότητα μνήμης που θα χρειαζόταν για την αναπαράσταση της και καθιστά ευκολότερους τους υπολογισμούς [WIN3].

Στην περίπτωση που δεν ορίσουμε τα ACS και ECS θεωρούμε ότι έχουμε ιστροπική κεραία με XPD να τείνει στο άπειρο και κάθετη πόλωση [WIN4].

### 4.2.3 *AntennaResponse.m*

Εδώ υπολογίζεται η απόκριση δηλαδή η συνάρτηση του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας  $P(\theta, \phi)$  [WIN4]. Τα διανύσματα για τις γωνίες  $\phi, \theta$  πρέπει να έχουν το ίδιο μέγεθος [WIN4].

#### ***4.2.4 Aperture\_Calc.p***

Το κομμάτι αυτό είναι μια συνάρτηση όπου ο κώδικας είναι προστατευμένος και δεν μπορούμε να το διαβάσουμε αλλά επιτρέπεται να το χρησιμοποιήσουμε. Στη συνάρτηση αυτή υπολογίζεται η ενεργός επιφάνεια της κεραίας χρησιμοποιώντας συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας [WIN4]. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο τρόπος αυτός αναπαράστασης είναι πιο αποδοτικός αφού μειώνει τις απαιτήσεις σε μνήμη και διευκολύνει τους υπολογισμούς [WIN4].

#### ***4.2.5 arrayparset.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει κάποια παραδείγματα πινάκων κεραίων συμπεριλαμβανομένης της ιστροπικής κεραίας [WIN4].

#### ***4.2.6 arrayPreprocess.m***

Η συνάρτηση αυτή επεξεργάζεται τον πίνακα περιγραφής της κεραίας με σκοπό να υπάρχει μόνο μια ενεργό επιφάνεια που να περιγράφει την κεραία [WIN4].

#### ***4.2.7 BP2Aperture.m***

Η συνάρτηση αυτή δίνει σαν αποτέλεσμα τη συνάρτηση  $P(\theta, \varphi)$ , που δίνει το διάγραμμα ακτινοβολίας σε δύο διαστάσεις. Τα στοιχεία που χρειάζονται είναι η γωνία  $\varphi$ , ο αριθμός των στοιχειοκεραίων, ο αριθμός των πολώσεων (συνήθως είναι 2 οριζόντια και κάθετη), ο αριθμός των δειγμάτων που έχουν παρθεί για τη γωνία ανύψωσης και ο αριθμός των δειγμάτων που έχουν παρθεί για τη γωνία  $\varphi$  (azimuth) [WIN4].

#### ***4.2.8 BP2Aperture1D.m***

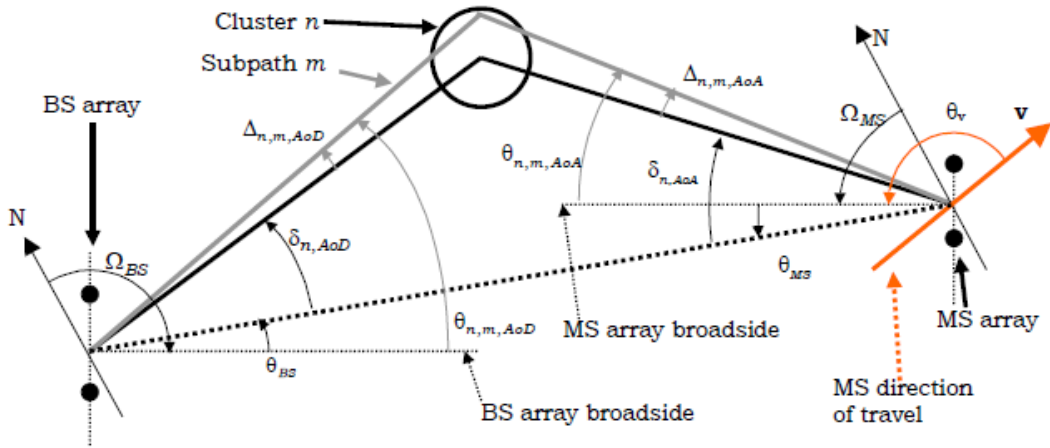
Η συνάρτηση αυτή δίνει το ίδιο αποτέλεσμα με την πάνω συνάρτηση δηλαδή τη συνάρτηση  $P(\theta, \varphi)$  αλλά σε μία διάσταση [WIN4]. Τα απαιτούμενα στοιχεία είναι ακριβώς τα ίδια με την συνάρτηση BP2Aperture [WIN4].

### 4.2.9 cas.m

Στη συνάρτηση αυτή υπολογίζουμε το κυκλικό γωνιακό εύρος, το οποίο είναι μια σημαντική παράμετρος στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα [3GPP1]. Όλες οι γωνίες δίνονται σε μοίρες. Οι γωνίες έχουν εύρος από  $-180^\circ$  ως  $+180^\circ$ . Λόγω της διαφοράς που μπορεί να έχουν από την τιμή αναφοράς φαίνεται σαν να βρίσκονται όλες γύρω από συγκεκριμένες τιμές. Αυτό κάνει το εύρος να φαίνεται πιο μικρό από ότι θα έπρεπε. Το κυκλικό γωνιακό εύρος [3GPP1] υπολογίζεται από:

$$\sigma_{AS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (\theta_{n,m,\mu})^2 \cdot P_{n,m}}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M P_{n,m}}} \quad (4.28)$$

Όπου  $P_{n,m}=P_n/20$  με  $n$  συμβολίζεται το μονοπάτι μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού και  $m$  το υπομονοπάτι [3GPP1].



Σχήμα 4.8 Γωνιακές παράμετροι για σταθμούς βάσης και χρήστες [WIN1]

$$\theta_{n,m} = \begin{cases} 2\pi + (\theta_{n,m} - \mu_\theta), & \theta_{n,m} - \mu_\theta < \pi \\ (\theta_{n,m} - \mu_\theta), & (\theta_{n,m} - \mu_\theta) \leq \pi \\ 2\pi - (\theta_{n,m} - \mu_\theta), & (\theta_{n,m} - \mu_\theta) > \pi \end{cases} \quad (4.29)$$

### 4.2.10 Contents.m

Η συνάρτηση αυτή αποτελείται μόνο από σχόλια και περιέχει μια λίστα με τις συναρτήσεις που αποτελούν το μοντέλο WINNER και μια επιγραμματική εξήγηση



για τα αποτελέσματα που παράγει η κάθε μία [WIN4].

#### ***4.2.11 dipole.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει ένα κεκλιμένο δίπολο μισού κύματος  $\lambda/2$  [WIN4]. Δίνονται οι πολώσεις για το δίπολο και η γωνία  $\phi$  [WIN4]. Η γωνία κλίσης μετριέται αντίστροφα από τη φορά του ρολογιού όπως φαίνεται από μπροστά από το δίπολο [WIN4]. Η γωνία ανύψωσης δεν υπολογίζεται [WIN4].

#### ***4.2.12 ds.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το εύρος της rms τιμής καθυστέρησης [WIN4]. Για την επιστροφή δίνονται οι καθυστερήσεις των μονοπατιών και οι τιμές ισχύος για τα αντίστοιχα μονοπάτια [WIN4].

#### ***4.2.13 example\_channel\_matrix.m***

Η συνάρτηση αυτή δίνει έναν πίνακα με 10 σταθμούς βάσης και 10 κινητούς σταθμούς [WIN4].

#### ***4.2.14 example\_EADF\_approx.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεκλιμένο δίπολο κατά  $12^\circ$  [WIN4]. Η κεραία που χρησιμοποιείται είναι ισοτροπική [WIN4].

#### ***4.2.15 example\_syntetic\_arrays.m***

Επιστρέφει διάφορα είδη πινάκων για διαφορετικά είδη κεραίας [WIN4].

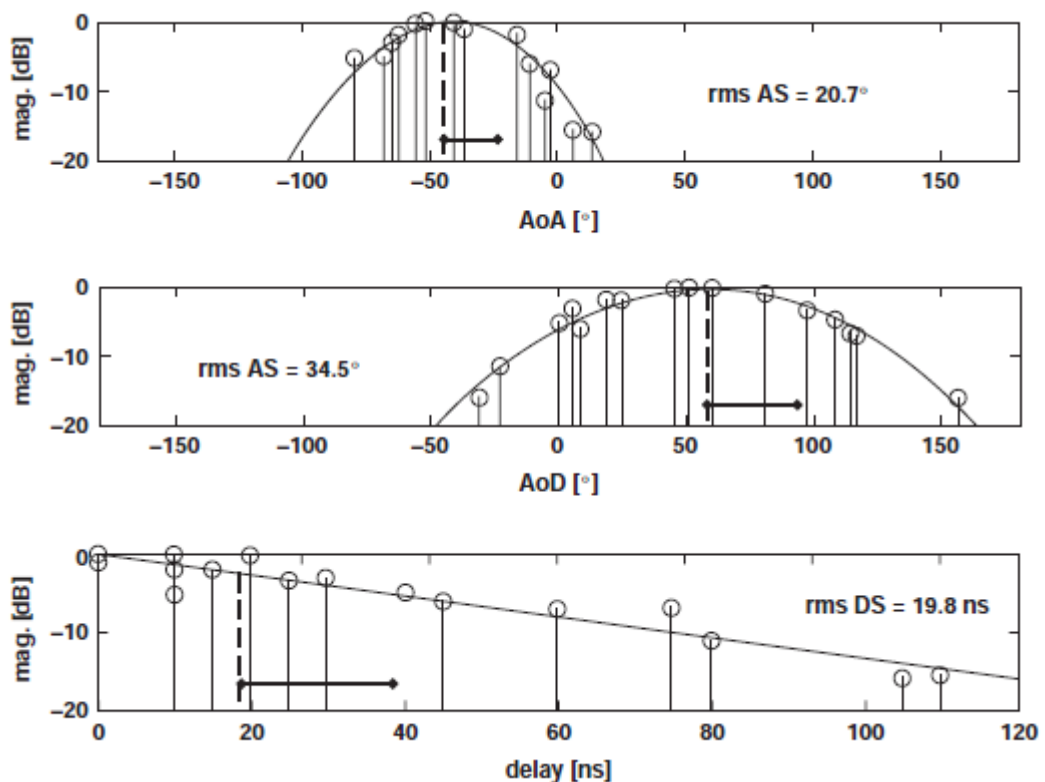
#### ***4.2.16 fixedAoas.m***

Η συνάρτηση αυτή περιέχει τα δεδομένα για τις γωνίες άφιξης σύμφωνα με κάθε σενάριο [WIN4]. Οι γωνίες δίνονται σε συνθήκες οπτικής και μη οπτικής επαφής [WIN4]. Οι πίνακες 4.7-4.29 [WIN1] περιέχουν τις γωνίες άφιξης και

αναχώρησης, τις καθυστερήσεις, τις τιμές ισχύος για τη συστάδα και για κάθε ακτίνα [WIN4]. Τα είδη σεναρίου έχουν αναφερθεί επιγραμματικά σε προηγούμενο κεφάλαιο και περιέχονται και σε επόμενη συνάρτηση [WIN4].

#### 4.2.17 *fixedAods.m*

Η συνάρτηση αυτή περιέχει τις γωνίες αναχώρησης για όλα τα είδη σεναρίων [WIN4]. Οι γωνίες αυτές βρίσκονται στους πίνακες 4.7-4.29 [WIN4].



Σχήμα 4.9 Αναπαράσταση των γωνιών άφιξης και αναχώρησης και της καθυστέρησης στο σενάριο A1

#### 4.2.18 *fixedPdp.m*

Η συνάρτηση αυτή περιέχει τις καθυστερήσεις σε sec όπως δίνονται στους πίνακες 4.7-4.29 [WIN4]. Ακόμη περιέχονται οι τιμές ισχύος των ακτινών [WIN4]. Οι τιμές στους πίνακες είναι οι δυνάμεις που θα υψωθεί το 10 διαιρεμένες κατά 10 [WIN4].

### 4.2.19 *fixedScatterFreq.m*

Στη συνάρτηση αυτή μας ενδιαφέρουν οι συχνότητες κατά Doppler των σκεδαστών ειδικά για το σενάριο B5 [WIN4]. Οι τιμές αυτές δίνονται στους πίνακες 4.24- 4.29 [WIN4].

### 4.2.20 *G\_Calc1D\_simple.p*

Η συνάρτηση αυτή περιέχει προστατευμένο κώδικα δηλαδή επιτρέπεται μόνο η χρήση του και όχι η ανάγνωση και η επεξεργασία του [WIN4]. Υπολογίζονται τα πεδία σε μία μόνο διάσταση [WIN4].

### 4.2.21 *G\_Calc3D\_simple.p*

Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τα πεδία σε δύο διαστάσεις [WIN4]. Ο κώδικας που περιέχεται σε αυτή τη συνάρτηση είναι προστατευμένος δηλαδή επιτρέπεται μόνο η χρήση του και όχι η ανάγνωση και η επεξεργασία του [WIN4].

### 4.2.22 *generate\_bulk\_par*

```
function [bulk_parameters] = generate_bulk_par(wimpar,linkpar,fixpar)
%GENERATE_BULK_PAR Generation of WIM2 interim channel model
parameters
% [BULK_PAR]=GENERATE_BULK_PAR(WIMPAR,LINKPAR,FIXPAR) generates the
% "bulk" parameters according to WINNER D5.4 with some Phase II
modifications.
% For explanation of the input structs, see WIMPARSET, LAYOUT2LINK
and LAYOUTPARSET.
% Denoting with K the number of links, N the number of paths,
% M the number of subpaths, the fields BULK_PAR are as follows:
%
% delays          - path delays in seconds [KxN]
% path_powers     - relative path powers [KxN]
% aods            - angles of departure in degrees over (-180,180)
[KxNxM]
% aoas           - angles of arrival in degrees over (-180,180)
[KxNxM]
% subpath_phases - random phases for subpaths in degrees over
(0,360) [KxNxM]
% path_losses     - path losses in linear scale [Kx1]
```

```

% MsBsDistance      - distances between MSs and BSs in meters [1xK]
% shadow_fading     - shadow fading losses in linear scale [Kx1]
% propag_condition  -whether the user is in LoS condition (1) or in
nlos (0)
% sigmas            -correlation coefficients fo large scale
parameters
%
% In addition, when users with LoS condition exists (in addition to
the above):
% Kcluster          - K factors for all links [Kx1]
% Phi_LOS           - random phases for LOS paths in degrees over (-
180,180) [Kx1]
%
% In addition, when users wimpar.PolarisedArrays is 'yes' (in
addition to the above):
% xprV              -vertical xpr values, [KxNxM]
% xprH              -horizontal xpr values, [KxNxM]
%
% In addition, when users in B5 scenario exist (in addition to the
above):
% scatterer_freq    -Doppler frequency for scatterers, [KxNxM]
%
% Ref. [1]: D1.1.2 V1.2, "WINNER II channel models"
% [2]: 3GPP TR 25.996 v6.1.0 (2003-09)
% [3]: D. Reed et. al, "Spatial Channel Models for Multi-
antenna
Systems, ..., 2003.
%
% See also WIM.

% Authors of model versions:
%
% WINNER Phase II interim (WIM2i): Pekka Kyösti (EBIT), Lassi
Hentilä (EBIT),
% Marko Milojevic (TUI), Mikko Alatossava (CWC/UOULU), Martin Köske
(TUI)
%
% WINNER Phase I (WIM): Daniela Laselva (EBIT), Marko Milojevic
(TUI),
% Pekka Kyösti (EBIT), Lassi Hentilä (EBIT)
%
% SCM/SCME: Jari Salo (HUT), Daniela Laselva (EBIT), Giovanni Del
Galdo (TUI),
% Marko Milojevic (TUI), Pekka Kyösti (EBIT), Christian Schneider
(TUI)

% Number of scenarios in WINNER II channel models
NumOfScenarios = 15; % should be equal to the number in
ScenarioMapping.m

% extract certain parameters from the input structs
ScenarioVector = linkpar.ScenarioVector;
MsBsDistance = linkpar.MsBsDistance;

bulk_parameters = struct_generation(1, 1, wimpar, linkpar,1 ,
'Initialization');

for ScenIndex = 1:NumOfScenarios
    %save parameters that vary between different for loop iterations

```

```

to iterpar
    iterpar.Scenario = ScenarioMapping(ScenIndex); %map scenario from
numerical value to letters
    iterpar.UserIndeces = find(ScenarioVector==ScenIndex); %links
(user) that are in a certain scenario correspongind to ScenIndex

    if iterpar.UserIndeces
        switch iterpar.Scenario
            % A1, B1, C2, D1, Geometric based stochastic models
            case {'A1', 'A2', 'B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'C1', 'C2',
'C3', 'C4', 'D1', 'D2a'}
                bulk_parameters_iter =
stochastic(wimpar,linkpar,fixpar,iterpar);

                % B5, Static feeder scenario
            case {'B5a','B5b','B5c','B5f'}
                bulk_parameters_iter =
static(wimpar,linkpar,fixpar,iterpar);

        end % end of user parameter generation main program

        bulk_parameters = struct_generation(bulk_parameters,
bulk_parameters_iter, wimpar, linkpar, iterpar,'Iteration');
        clear bulk_parameters_iter iterpar
    end

end

bulk_parameters = struct_generation(bulk_parameters, 1, wimpar,
linkpar, 1, 'Refinement');

% FUNCTION DEFINITIONS
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function that maps inputs from (-inf,inf) to (-180,180)
function y=prin_value(x)
y=mod(x,360);
y=y-360*floor(y/180);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function to generate bulk parameters
% See [1, Sec.4.2].
function bulk_parameters=stochastic(wimpar,linkpar,fixpar,iterpar)

%-- STEP 1 --%
% extract certain parameters from the input structs
PolarisedArrays = wimpar.PolarisedArrays;
M = wimpar.NumSubPathsPerPath;
DelaySamplingInterval = wimpar.DelaySamplingInterval;
FixedPdpUsed = wimpar.FixedPdpUsed;

%-- STEP 2 --%
% extract the number of users from the first field of linkpar struct
UserIndeces = iterpar.UserIndeces;

```

```

MsBsDistance = linkpar.MsBsDistance(UserIndeces);
NumLinks      = length(UserIndeces);
Scenario      = iterpar.Scenario;

switch Scenario
    case {'A1', 'B1', 'B3', 'C1', 'C2', 'D1',}
        evalstr = sprintf('iterpar.LoS = fixpar.%s.LoS;',Scenario);
        eval(evalstr);
        evalstr = sprintf('iterpar.NLoS = fixpar.%s.NLoS;',Scenario);
        eval(evalstr);

        %number of cluster differs in LoS and NLoS situations
        N(1) = iterpar.LoS.NumClusters;
        N(2) = iterpar.NLoS.NumClusters;

    case {'D2a'}
        evalstr = sprintf('iterpar.LoS = fixpar.%s.LoS;',Scenario);
        eval(evalstr);
        N(1) = iterpar.LoS.NumClusters;
        N(2) = 0;

    case {'A2', 'B2', 'B4', 'C3', 'C4'}
        evalstr = sprintf('iterpar.NLoS = fixpar.%s.NLoS;',Scenario);
        eval(evalstr);
        N(1) = 0;
        N(2) = iterpar.NLoS.NumClusters;
end
N_max = max(N(1),N(2));
iterpar.N = N;

% check that M = 20
if (M ~= 20)
    M=20;
    warning('MATLAB:NumSubPathsChanged','NumSubPathsPerPath is not 20!
Using NumSubPathsPerPath=20 instead.')
```

```

end

% make sure that user-specific parameters are row vectors
ThetaBs      = linkpar.ThetaBs(UserIndeces);
ThetaMs      = linkpar.ThetaMs(UserIndeces);

%extract line of sight probability
if strcmp(wimpar.UseManualPropCondition,'yes')
    PropagCondition = linkpar.PropagConditionVector(UserIndeces);
    switch Scenario
        case {'D2a'} %all los
            PropagCondition = ones(1,NumLinks);
        case {'A2', 'B2', 'B4', 'C3', 'C4'} %all nlos
            PropagCondition = zeros(1,NumLinks);
    end
else
    switch Scenario
        case {'A1', 'B1', 'B3', 'C1', 'C2', 'D1'}
            PropagCondition =
            LOSprobability(wimpar,linkpar,fixpar,iterpar);
        case {'D2a'}
            PropagCondition = ones(1,NumLinks);
        case {'A2', 'B2', 'B4', 'C3', 'C4'}
            PropagCondition = zeros(1,NumLinks);
    end
end

```

```

end

%indeces of LoS/NLoS links and the amount of them
iterpar.PropagCondition = PropagCondition;
LoSConnectionLinks = find(PropagCondition);
iterpar.LoSConnectionLinks = LoSConnectionLinks;
NumLoSConnectionLinks = length(LoSConnectionLinks);
iterpar.NumLoSConnectionLinks = NumLoSConnectionLinks;
NLoSConnectionLinks = find(PropagCondition==0);
iterpar.NLoSConnectionLinks = NLoSConnectionLinks;
NumNLoSConnectionLinks = length(NLoSConnectionLinks);
iterpar.NumNLoSConnectionLinks = NumNLoSConnectionLinks;

if NumLoSConnectionLinks == 0
    N(1) = 0;
end
if NumNLoSConnectionLinks == 0
    N(2) = 0;
end
N_max = max(N(1),N(2));
iterpar.N = N;

%FS, STEP 1-2, all users exhibit bad urban effect (long delays)
if strcmp(Scenario,'B2') | strcmp(Scenario,'C3')
    if strcmp(Scenario,'B2')
        MsScatBsDist = sort(1000-(1000-300)*rand(NumNLoSConnectionLinks,2),2); %generate 2 scatterers for each user with distances from [1, table 4-3]
        FSLoss = 4; %power loss due to excess delay dB per us
    else
        MsScatBsDist = sort(3000-(3000-600)*rand(NumNLoSConnectionLinks,2),2); %generate 2 scatterers for each user with distances from [1, table 4-3]
        FSLoss = 2; %power loss due to excess delay dB per us
    end

    NumFSConnectionLinks = NumNLoSConnectionLinks;
    FSConnectionLinks = NLoSConnectionLinks;
    NumFSPaths = 2; %two last clusters for each path are created as FS (Far Scatter) clusters
else
    FSConnectionLinks = [];
    FSPaths = 0;
end

%-- STEP 3 --%
% employ the user-defined path loss model
if isequal(lower(wimpar.PathLossModelUsed),'yes')
    [path_losses, linkpar, fixpar, iterpar] = feval(wimpar.PathLossModel,wimpar,linkpar,fixpar,iterpar);
    path_losses = 10.^(-path_losses(:)/10); % a (NumLinks x 1) vector
else
    path_losses=NaN*ones(1,length(iterpar.UserIndeces));
end

```

```

%-- STEP 4 --%
% Generation of correlated DS, AS's and SF for all users
% This step takes into account channel scenario automatically
sigmas = lScorrelation(wimpar,linkpar,fixpar,iterpar);
sigma_asD = sigmas(:,1);
sigma_asA = sigmas(:,2);
sigma_ds = sigmas(:,3);
sigma_sf = sigmas(:,4);
sigma_kf = sigmas(:,5);

%-- STEP 5 --%
%% Generate delays in a (NumLinks x N) matrix %%
% The unit of taus is seconds
if strcmpi(FixedPdpUsed,'no')
    sigma_ds = repmat(sigma_ds,1,N_max); % delay spreads
for all clusers/users
    taus = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    taus_sorted = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    taus_los = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    taus_rounded = NaN*ones(NumLinks,N_max);

    switch upper(Scenario) % See distributions in [1, table 4-5]
        case {'A1','A2','B3','B4','C1','C2','C3','C4','D1','D2A'}
            if LoSConnectionLinks
                taus(LoSConnectionLinks,1:N(1)) = sort(-
iterpar.LoS.r_DS*sigma_ds(LoSConnectionLinks,1:N(1)).*log(rand(NumLoS
ConnectionLinks,N(1))),2); % Exp [1, eq. 4.1]
            end

            if NLoSConnectionLinks
                taus(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) = sort(-
iterpar.NLoS.r_DS*sigma_ds(NLoSConnectionLinks,1:N(2)).*log(rand(NumN
LoSConnectionLinks,N(2))),2); % Exp [1, eq. 4.1]
            end

        case {'B1','B2'}
            %for LoS links
            if LoSConnectionLinks
                taus(LoSConnectionLinks,1:N(1)) = sort(-
iterpar.LoS.r_DS*sigma_ds(LoSConnectionLinks,1:N(1)).*log(rand(NumLoS
ConnectionLinks,N(1))),2); % Exp [1, eq. 4.1]
            end

            %for NLoS links
            if NLoSConnectionLinks
                taus(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) = sort(800E-
9*rand(NumNLoSConnectionLinks,N(2)),2); % Uni(0,800ns)
            end

    end % end switch

    taus_sorted(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
taus(LoSConnectionLinks,1:N(1)) -
repmat(taus(LoSConnectionLinks,1),1,N(1)); % normalize min.
delay to zero
    taus_sorted(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
taus(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) -
repmat(taus(NLoSConnectionLinks,1),1,N(2));

```



```

%FS STEP 4
if FSConnectionLinks
    taus_sorted(FSConnectionLinks,N(2)-NumFSPaths+1:N(2)) = 0;
    ExcessDelayLoss = (MsScatBsDist -
repmat (MsBsDistance (FSConnectionLinks) ',1,NumFSPaths) ./ ...

(repmat (3e8,NumFSConnectionLinks,NumFSPaths)) .*1e6*FSLoss;
end

%in case of los, extra factor. Not be used in clusterpower
calculation
taus_without_los_factor = taus_sorted; %need to extract
taus_sorted to taus_los, since the next step is not applied for the
taus that is given as input parameter to powers generation
if FSConnectionLinks
    taus_sorted(FSConnectionLinks,end-1:end) = MsScatBsDist./3e8;
end
if NumLoSConnectionLinks
    K_factors = sigma_kf';
    K_factors_dB = 10*log10(abs(sigma_kf))';
    ConstantD = 0.7705-0.0433.*K_factors_dB(LoSConnectionLinks)
+ ...
0.0002.*K_factors_dB(LoSConnectionLinks).^2 +
0.000017.*K_factors_dB(LoSConnectionLinks).^3; %[1, eq.4.3]
    taus_sorted(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
taus_sorted(LoSConnectionLinks,1:N(1))./repmat (ConstantD.',1,N(1));
end

else % use fixed delays from a table
    [taus_los,Pprime_los,Kcluster_los,...
    taus_nlos,Pprime_nlos,Kcluster_nlos] =
fixedPdp(wimpar,iterpar); % the same for each link

    taus_sorted = NaN*ones(NumLinks,N_max);

    taus_sorted(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
repmat(taus_los,NumLoSConnectionLinks,1);
    taus_sorted(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
repmat(taus_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);
    K_factors_dB(LoSConnectionLinks) = Kcluster_los(1,:); %dB
    K_factors(LoSConnectionLinks) =
10.^(K_factors_dB(LoSConnectionLinks)/10); %linear

end

% Rounding to delay grid
if (DelaySamplingInterval>0)
    taus_rounded =
DelaySamplingInterval*floor(taus_sorted/DelaySamplingInterval + 0.5);
else
    taus_rounded = taus_sorted;
end

% end of delay generation

%-- STEP 6 --%
%% Determine random average powers in a (NumLinks x N) matrix %%
if strcmpi(FixedPdpUsed,'no')

```

```

    if LoSConnectionLinks
        ksi_LoS =
randn(NumLoSConnectionLinks,N(1))*iterpar.LoS.LNS_ksi; %
per-path shadowing
    end
    if NLoSConnectionLinks
        ksi_NLoS =
randn(NumNLoSConnectionLinks,N(2))*iterpar.NLoS.LNS_ksi; %
per-path shadowing
    end
    P = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    Pprime = NaN*ones(NumLinks,N_max);

    % See distributions in [1, table 4-5]
    %for LoS links, with exponential distribution of delays [1, eq
4.3]
    if LoSConnectionLinks
        Pprime(LoSConnectionLinks,1:N(1)) = exp(-
taus_without_los_factor(LoSConnectionLinks,1:N(1)).*(iterpar.LoS.r_DS-
1)./(iterpar.LoS.r_DS.*sigma_ds(LoSConnectionLinks,1:N(1)))).*10.^(-
ksi_LoS/10);
    end
    if NLoSConnectionLinks
        if strcmpi(Scenario,'B1')
            %for NLoS links B1, with uniform distribution of delays
[1,eq.4.4]
            Pprime(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) = exp(-
taus_without_los_factor(NLoSConnectionLinks,1:N(2))./sigma_ds(NLoSCon
nectionLinks,1:N(2))).*10.^(-ksi_NLoS/10);
        else
            %for NLoS links, with exponential distribution of delays
[1, eq 4.3]
            Pprime(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) = exp(-
taus_without_los_factor(NLoSConnectionLinks,1:N(2)).*(iterpar.NLoS.r
_DS-
1)./(iterpar.NLoS.r_DS.*sigma_ds(NLoSConnectionLinks,1:N(2)))).*10.^
(-ksi_NLoS/10);
        end

        %FS STEP 5
        if FSConnectionLinks
            Pprime(FSConnectionLinks,N(2)+1-NumFSPaths:N(2)) =
Pprime(FSConnectionLinks,N(2)+1-NumFSPaths:N(2)) ...
            .* 10.^(-ExcessDelayLoss./10);
        end
    end

    %for LoS links
    if NumLoSConnectionLinks
        %temporary P_tmp that is used to replace
P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) after the angular directions have been
created
        P_tmp =
Pprime(LoSConnectionLinks,1:N(1))./repmat(sum(Pprime(LoSConnectionLin
ks,1:N(1)),2),1,N(1));
        %Kfactor calculations are here only for angular domain use
        SpecularRayPower =
K_factors(LoSConnectionLinks)./(K_factors(LoSConnectionLinks)+1); %[1,
eq.4.8]
        DiracVector = zeros(NumLoSConnectionLinks,N(1));

```

```

        DiracVector(:,1)=1;
        P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
repmat(1./(1+K_factors(LoSConnectionLinks).'),1,N(1)).*(Pprime(LoSCon
nectionLinks,1:N(1)) ...
        ./repmat(sum(Pprime(LoSConnectionLinks,1:N(1)),2),1,N(1)))
+ ...
        DiracVector.*repmat(SpecularRayPower.',1,N(1));           %[1,
eq.4.9]
    end

    %for NLoS links
    if NumNLoSConnectionLinks
        P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
Pprime(NLoSConnectionLinks,1:N(2))./repmat(sum(Pprime(NLoSConnectionL
inks,1:N(2)),2),1,N(2));
    end

else    % use fixed powers from a table
    [taus_los,Pprime_los,Kcluster_los,...
        taus_nlos,Pprime_nlos,Kcluster_nlos] =
fixedPdp(wimpar,iterpar);    % the same for each link

    % Replace number of paths by number of tabulated paths
    P = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
repmat(Pprime_los,NumLoSConnectionLinks,1);
    P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
repmat(Pprime_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);
    P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
P(LoSConnectionLinks,1:N(1))./repmat(sum(P(LoSConnectionLinks,1:N(1))
,2),1,N(1));
    P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
P(NLoSConnectionLinks,1:N(2))./repmat(sum(P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)
)),2),1,N(2));
end

%-- STEP 7 --%
%% Determine AoDs / AoAs %%
offset = [0.0447 0.1413 0.2492 0.3715 0.5129 0.6797 0.8844 1.1481
1.5195 2.1551]; % [1, Table 4-1] +/- offset angles, resulting
Laplacian APS, with rms AS = 1 deg

if strcmpi(wimpar.FixedAnglesUsed,'no')

    [offset_matrix_AoD,          offset_matrix_AoA] =
offset_matrix_generation(offset,iterpar);

    AoDPrimer = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    AoD_path = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    AoAPrimer = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    AoA_path = NaN*ones(NumLinks,N_max);

    %pick a correct scaling factor C in equation [1, Eq. 4.10]
    ScalingFactorC_matrix = NaN*ones(NumLinks,N_max);
    % Table of constant C in [1, step 7]
    ConstantC = [4 5 8 10 11 12 14 15 16 20;...
        0.779 0.860 1.018 1.090 1.123 1.146 1.190 1.211 1.226 1.289];
    if LoSConnectionLinks
        ScalingFactorC_matrix(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
ConstantC(2,find(ConstantC(1,:)==N(1)));

```

```

        %ScalingFactorC_matrix(LoSConnectionLinks,1:N(1))           =
ConstantCMapping(N(1));
        ScalingFactorC_matrix(LoSConnectionLinks,1:N(1))           =
ScalingFactorC_matrix(LoSConnectionLinks,1:N(1)).*repmat((1.1035-
0.028.*K_factors_dB(LoSConnectionLinks).'- ...

0.002.*(K_factors_dB(LoSConnectionLinks).').^2+0.0001.*(K_factors_dB(
LoSConnectionLinks).').^3),1,N(1));   %[1, eq.4.11]

        AoDPrimer(LoSConnectionLinks,1:N(1))                       =
(2*repmat(sigma_asD(LoSConnectionLinks),1,N(1))/1.4.*sqrt(-
log(P(LoSConnectionLinks,1:N(1))./repmat(max(P(LoSConnectionLinks,1:N
(1)), [],2),1,N(1)))))./ScalingFactorC_matrix(LoSConnectionLinks,1:N(1
));   %[1, eq. 4.10]
        AoD_path(LoSConnectionLinks,1:N(1))                       =
(AoDPrimer(LoSConnectionLinks,1:N(1)).*(2*round(rand(NumLoSConnection
Links,N(1)))-1) + ...

repmat(sigma_asD(LoSConnectionLinks),1,N(1))/1.4/5.*randn(NumLoSConne
ctionLinks,N(1))) - ...

(repmat(AoDPrimer(LoSConnectionLinks,1),1,N(1)).*(2*round(rand(NumLoS
ConnectionLinks,N(1)))-1) + ...

repmat(sigma_asD(LoSConnectionLinks),1,N(1))/1.4/5*randn(1,1) - ...
        repmat(ThetaBs(LoSConnectionLinks).',1,N(1)));   %[1, eq.
4.13]

        AoAPrimer(LoSConnectionLinks,1:N(1))                       =
(2*repmat(sigma_asA(LoSConnectionLinks),1,N(1))/1.4.*sqrt(-
log(P(LoSConnectionLinks,1:N(1))./repmat(max(P(LoSConnectionLinks,1:N
(1)), [],2),1,N(1)))))./ScalingFactorC_matrix(LoSConnectionLinks,1:N(1
));   %[1, eq. 4.10]
        AoA_path(LoSConnectionLinks,1:N(1))                       =
(AoAPrimer(LoSConnectionLinks,1:N(1)).*(2*round(rand(NumLoSConnection
Links,N(1)))-1) + ...

repmat(sigma_asA(LoSConnectionLinks),1,N(1))/1.4/5.*randn(NumLoSConne
ctionLinks,N(1))) - ...

(repmat(AoAPrimer(LoSConnectionLinks,1),1,N(1)).*(2*round(rand(NumLoS
ConnectionLinks,N(1)))-1) + ...

repmat(sigma_asA(LoSConnectionLinks),1,N(1))/1.4/5*randn(1,1) - ...
        repmat(ThetaMs(LoSConnectionLinks).',1,N(1)));   %[1, eq.
4.13]

    end

    if NLoSConnectionLinks
        ScalingFactorC_matrix(NLoSConnectionLinks,1:N(2))           =
ConstantC(2,find(ConstantC(1,:)==N(2)));
        %ScalingFactorC_matrix(NLoSConnectionLinks,1:N(2))           =
ConstantCMapping(N(2));

        AoDPrimer(NLoSConnectionLinks,1:N(2))                       =
(2*repmat(sigma_asD(NLoSConnectionLinks),1,N(2))/1.4.*sqrt(-
log(P(NLoSConnectionLinks,1:N(2))./repmat(max(P(NLoSConnectionLinks,1
:N(2)), [],2),1,N(2)))))./ScalingFactorC_matrix(NLoSConnectionLinks,1:
N(2));   %[1, eq. 4.10]

```

```

        AoD_path(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
AoDPrimer(NLoSConnectionLinks,1:N(2)).*
(2*round(rand(NumNLoSConnectionLinks,N(2)))-1) + ...

repmat(sigma_asD(NLoSConnectionLinks),1,N(2))/1.4/5.*randn(NumNLoSCon
nectionLinks,N(2)) + ...
        repmat(ThetaBs(NLoSConnectionLinks).',1,N(2)); % [1, eq.
4.12]

        AoAPrimer(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
(2*repmat(sigma_asA(NLoSConnectionLinks),1,N(2))/1.4.*sqrt(-
log(P(NLoSConnectionLinks,1:N(2))./repmat(max(P(NLoSConnectionLinks,1
:N(2)), [], 2), 1, N(2)))))./ScalingFactorC_matrix(NLoSConnectionLinks,1:
N(2)); % [1, eq. 4.10]
        AoA_path(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
AoAPrimer(NLoSConnectionLinks,1:N(2)).*
(2*round(rand(NumNLoSConnectionLinks,N(2)))-1) + ...

repmat(sigma_asA(NLoSConnectionLinks),1,N(2))/1.4/5.*randn(NumNLoSCon
nectionLinks,N(2)) + ...
        repmat(ThetaMs(NLoSConnectionLinks).',1,N(2)); % [1, eq.
4.12]

end

AoD_tmp = repmat(reshape(AoD_path.',1,N_max*NumLinks),M,1);
theta_nm_aod = AoD_tmp + offset_matrix_AoD; % [1, eq. 4.14] M
x(NxNumLinks) matrix

AoA_tmp = repmat(reshape(AoA_path.',1,N_max*NumLinks),M,1);
theta_nm_aoa = AoA_tmp + offset_matrix_AoA; % [1, eq. 4.14] M
x(NxNumLinks) matrix

%-- STEP 8 --%
% Pair AoA rays randomly with AoD rays (within a cluster)
[dummy h] = sort(rand(M,N_max*NumLinks),1); %
create N*NumLinks random permutations of integers [1:M]
inds = h+repmat([1:M:M*N_max*NumLinks],M,1)-1;
theta_nm_aoa = theta_nm_aoa(inds); % random permutation
of columns, a (M x N*NumLinks) matrix

else % use fixed AoD/AoAs (without random pairing of subpaths)

% Determine AoDs %%
[AoD_path_los,iterpar.PerClusterAS_D,...
AoD_path_nlos,iterpar.NLoS.PerClusterAS_D] =
fixedAods(wimpar,iterpar); % the same for each link

%Determine AoAs
[AoA_path_los,iterpar.PerClusterAS_A,...
AoA_path_nlos,iterpar.NLoS.PerClusterAS_A] =
fixedAoas(wimpar,iterpar); % the same for each link

AoD_path = NaN*ones(NumLinks,N_max);
AoA_path = NaN*ones(NumLinks,N_max);

```

```

    if LoSConnectionLinks
        AoD_path(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
    repmat(AoD_path_los,NumLoSConnectionLinks,1);
        AoA_path(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
    repmat(AoA_path_los,NumLoSConnectionLinks,1);
    end

    if NLoSConnectionLinks
        AoD_path(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
    repmat(AoD_path_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);
        AoA_path(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
    repmat(AoA_path_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);
    end

    AoD_tmp = repmat(reshape(AoD_path.',1,N_max*NumLinks),M,1);
    AoA_tmp = repmat(reshape(AoA_path.',1,N_max*NumLinks),M,1);

    [offset_matrix_AoD,          offset_matrix_AoA] =
    offset_matrix_generation(offset,iterpar);

    %apply offset matrix
    % NOTE! now array orientation parameter ThetaBs is disabled and
    AoD is always
    % like in CDL model tables, 17.5.2006 PekKy.
    theta_nm_aod      = AoD_tmp + offset_matrix_AoD;          % a (M x
    (NumLinks*N)) matrix
    theta_nm_aoa      = AoA_tmp + offset_matrix_AoA;          % a (M x
    (NumLinks*N)) matrix
    end

    % Values of theta_nm_aoa and theta_nm_aod may be outside (-180,180).
    % Wrapping of angles to range (-180,180)
    theta_nm_aoa = prin_value(theta_nm_aoa);
    theta_nm_aod = prin_value(theta_nm_aod);

    % put AoDs and AoAs into a 3D-array with dims [NumLinks N M]
    theta_nm_aod=reshape(theta_nm_aod,M,N_max,NumLinks);
    theta_nm_aod=permute(theta_nm_aod,[3 2 1]);
    theta_nm_aoa=reshape(theta_nm_aoa,M,N_max,NumLinks);
    theta_nm_aoa=permute(theta_nm_aoa,[3 2 1]);

    %-- STEP 10a --%
    phi = 360*rand(NumLinks,N_max,M);          % random phases for all
    users, Uni(0,360)

    %set to NaN those that are not valid
    if N(1) < N(2)
        phi(LoSConnectionLinks,end+1-(N(2)-N(1)):end,:) = NaN;
    elseif N(1) < N(2)
        phi(NLoSConnectionLinks,end+1-(N(1)-N(2)):end,:) = NaN;
    end

    %replace the kfactor related powers with powers independent of
    Kfactor. Kfactor information will be used in wim_core-function
    if NumLoSConnectionLinks & strcmp(FixedPdpUsed,'no')
        P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) = P_tmp; %P_tmp exists only in LoS
    case

```

```

end

%%% Output generation %%%
bulk_parameters=struct( 'delays',taus_rounded,...
    'path_powers',P,...
    'aods',theta_nm_aod,...           % in degrees
    'aoas',theta_nm_aoa,...           % in degrees
    'subpath_phases',phi,...           % in degrees
    'path_losses',path_losses,...     % in linear scale
    'MsBsDistance',MsBsDistance,...   % This output is needed since the
originally generated MsBsDistances are fitted inside the applicability
ranges of the Scenarios
    'shadow_fading',sigma_sf,...       % in linear scale
    'sigmas',sigmas, ...
    'propag_condition', PropagCondition.',...
    'user_indeces',UserIndeces.',...
    'Kcluster',sigmas(:,5)');

if strcmpi(FixedPdpUsed,'no')
    Phi_LOS = NaN*ones(NumLinks,1);
    Phi_LOS(LoSConnectionLinks) = 360*(rand(NumLoSConnectionLinks,1)-
0.5);
    bulk_parameters.Phi_LOS = Phi_LOS;

elseif strcmpi(FixedPdpUsed,'yes')
    % set the LOS phase randomly
    Phi_LOS = NaN*ones(NumLinks,1);
    Phi_LOS(LoSConnectionLinks)
360*(rand(NumLoSConnectionLinks,size(K_factors,1))-0.5);

    bulk_parameters.Phi_LOS = Phi_LOS;
end

%-- STEP 9 - STEP10b --%
if strcmpi(PolarisedArrays,'yes')

    % generate random phases for 2x2 polarisation matrix elements
    phi = 360*rand(NumLinks,4,N_max,M);           % random phases for all
users: [NumLinks pol path subpath]

    xpr_dB = randn(NumLinks,N_max,M);

    % get XPR distribution parameters (log-Normal)
    if LoSConnectionLinks
        xpr_mu_los = iterpar.LoS.xpr_mu;           % XPR mean [dB]
        xpr_sigma_los = iterpar.LoS.xpr_sigma;     % XPR std [dB]
        xpr_dB(LoSConnectionLinks,
1:N(1),:)=
xpr_dB(LoSConnectionLinks, 1:N(1),:)*xpr_sigma_los+xpr_mu_los; % XPR
[dB]
    end

    if NLoSConnectionLinks
        xpr_mu_nlos = iterpar.NLoS.xpr_mu;         % XPR mean [dB]
        xpr_sigma_nlos = iterpar.NLoS.xpr_sigma;   % XPR std [dB]
        xpr_dB(NLoSConnectionLinks,
1:N(2),:)=
xpr_dB(NLoSConnectionLinks, 1:N(2),:)*xpr_sigma_nlos+xpr_mu_nlos; %
XPR [dB]
    end
end

```

```

% generate XPRs, dimensions are [NumLinks N M]
xpr = 10.^(xpr_dB/10);      % XPR [linear]

if N(1) < N(2)
    phi(LoSConnectionLinks,:,end+1-(N(2)-N(1)):end,:) = NaN;
    xpr(LoSConnectionLinks,end+1-(N(2)-N(1)):end,:) = NaN;
elseif N(1) > N(2)
    phi(NLoSConnectionLinks,:,end+1-(N(1)-N(2)):end,:) = NaN;
    xpr(NLoSConnectionLinks,end+1-(N(1)-N(2)):end,:) = NaN;
end

% output
bulk_parameters.subpath_phases = phi;      % in degrees
bulk_parameters.xpr = xpr;                % in linear scale

end
% end of output generation

% end of function stochastic

%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Variable
definition %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function to generate bulk parameters for B5 feeder scenarios
% See [1, Sec.6.12].
function bulk_parameters=static(wimpar,linkpar,fixpar,iterpar)

% NOTE! B5 scenario is only a CDL model with fixed parameters.

%First some checks.
if ~(linkpar.MsVelocity==0) %KTH
    linkpar.MsVelocity=0;
end;%KTH

Scenario = iterpar.Scenario;
UserIndeces = iterpar.UserIndeces;
MsBsDistance = linkpar.MsBsDistance(UserIndeces);
NumLinks      = length(UserIndeces);

switch Scenario
    case {'B5a', 'B5b', 'B5c'}
        evalstr = sprintf('iterpar.LoS = fixpar.%s;',Scenario);
        eval(evalstr);
    case {'B5f'}
        evalstr = sprintf('iterpar.NLoS = fixpar.%s;',Scenario);
        eval(evalstr);
end

%extract line of sight probability
switch Scenario
    case {'B5a', 'B5b', 'B5c'}
        PropagCondition = ones(1,NumLinks);

```



```

        case {'B5f'}
            PropagCondition = zeros(1,NumLinks);
    end

%indeces of LoS/NLoS links and the amount of them
iterpar.PropagCondition = PropagCondition;
LoSConnectionLinks      =      find(PropagCondition);
iterpar.LoSConnectionLinks = LoSConnectionLinks;
NumLoSConnectionLinks   =      length(LoSConnectionLinks);
iterpar.NumLoSConnectionLinks = NumLoSConnectionLinks;
NLoSConnectionLinks     =      find(PropagCondition==0);
iterpar.NLoSConnectionLinks = NLoSConnectionLinks;
NumNLoSConnectionLinks  =      length(NLoSConnectionLinks);
iterpar.NumNLoSConnectionLinks = NumNLoSConnectionLinks;

if strcmpi(Scenario,'b5b')%KTH
    if ~isfield(wimpar,'range')%KTH
        error('The field wimpar.range must exist in the stationary
feeder scenario')%KTH
    end;%KTH
end;%KTH

if strcmpi(wimpar.AnsiC_core,'yes')%KTH
    error('The scenario B5 is only implemented in matlab not in ANSI-
C.')

```

```

end

P = NaN*ones(NumLinks,N_max);
P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
repmat(Pprime_los,NumLoSConnectionLinks,1);
P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
repmat(Pprime_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);
P(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
P(LoSConnectionLinks,1:N(1))./repmat(sum(P(LoSConnectionLinks,1:N(1))
,2),1,N(1));
P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
P(NLoSConnectionLinks,1:N(2))./repmat(sum(P(NLoSConnectionLinks,1:N(2)
)),2),1,N(2));

%transform Kcluster to linear
Kcluster = NaN*ones(NumLinks,1);
Kcluster(LoSConnectionLinks,:) = 10.^(Kcluster_los(1,:)/10); %
transform to linear

offset = [0.0447 0.1413 0.2492 0.3715 0.5129 0.6797 0.8844 1.1481
1.5195 2.1551]; %KTH [1, Table 4-1] +/- offset angles, resulting
Laplacian APS, with rms AS = 1 deg

% Determine AoDs %%
[AoD_path_los,iterpar.LoS.PerClusterAS_D,...
AoD_path_nlos,iterpar.NLoS.PerClusterAS_D] =
fixedAods(wimpar,iterpar); % the same for each link

AoD_path = NaN*ones(NumLinks,N_max);
AoD_path(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
repmat(AoD_path_los,NumLoSConnectionLinks,1);
AoD_path(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
repmat(AoD_path_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);

AoD_tmp = repmat(reshape(AoD_path.',1,N_max*NumLinks),M,1);

%Determine AoAs
[AoA_path_los,iterpar.LoS.PerClusterAS_A,...
AoA_path_nlos,iterpar.NLoS.PerClusterAS_A] =
fixedAoas(wimpar,iterpar); % the same for each link

AoA_path = NaN*ones(NumLinks,N_max);
AoA_path(LoSConnectionLinks,1:N(1)) =
repmat(AoA_path_los,NumLoSConnectionLinks,1);
AoA_path(NLoSConnectionLinks,1:N(2)) =
repmat(AoA_path_nlos,NumNLoSConnectionLinks,1);

AoA_tmp = repmat(reshape(AoA_path.',1,N_max*NumLinks),M,1);

[offset_matrix_AoD, offset_matrix_AoA] =
offset_matrix_generation(offset,iterpar);

%apply offset matrix
% NOTE! now array orientation parameter ThetaBs is disabled and AoD
is always
% like in CDL model tables, 17.5.2006 PekKy.
theta_nm_aod = AoD_tmp + offset_matrix_AoD; % a (M x
(NumLinks*N)) matrix

```

```

theta_nm_aoa      = AoA_tmp + offset_matrix_AoA;          % a (M x
(NumLinks*N)) matrix

%Pair AoA rays randomly with AoD rays (within a cluster)
[dummy h]        = sort(rand(M,N_max*NumLinks),1);      % create
N*NumLinks random permutations of integers [1:M]
inds             = h+repmat([1:M:M*N_max*NumLinks],M,1)-1;
theta_nm_aoa     = theta_nm_aoa(inds);                  % rand

% Values of theta_nm_aoa and theta_nm_aod may be outside (-180,180).
% Wrapping of angles to range (-180,180)
theta_nm_aoa = prin_value(theta_nm_aoa);
theta_nm_aod = prin_value(theta_nm_aod);

%scatterer frequency
scatterer_freq = fixedScatterFreq(wimpar,iterpar);%KTH
scatterer_freq = repmat(scatterer_freq,1,NumLinks);%KTH

Phi_LOS = NaN*ones(NumLinks,1);
Phi_LOS(LoSConnectionLinks) = 360*(rand(NumLoSConnectionLinks,1)-
0.5); %KTH
phi = 360*rand(NumLinks,N_max,M);                      % random phases for all
users

% employ the user-defined path loss model
[path_losses, linkpar, fixpar, iterpar] =
feval(wimpar.PathLossModel,wimpar,linkpar,fixpar,iterpar);
path_losses = 10.^(-path_losses(:)/10);                % a (NumLinks x 1) vector
%path_losses = ones(NumLinks,1);

% Shadow-fading
% NOTE! all the links are fully uncorrelated, changed 12.12.2005 by
Pekka
% BsNumber = linkpar.BsNumber(:);
% NumOfBs = max(BsNumber);
switch lower((Scenario))
    case {'b5a','b5c','b5f'}
        SF_sigma=3.4*ones(NumLinks,1);
    case 'b5b'
        lambda=3e8/wimpar.CenterFrequency;
        breakpoint_distance=4*(linkpar.MsHeight(UserIndeces)-
1.6).*(linkpar.BsHeight(UserIndeces)-1.6)/lambda;
        within_breakpoint=MsBsDistance<breakpoint_distance;
        SF_sigma=(within_breakpoint*3+(~within_breakpoint)*7)';
end; %% switch
sigma_sf = 10.^(0.1*(SF_sigma.*randn(NumLinks,1)));
%sigma_sf = sigma_sf_all_sites(BsNumber);

% put AoDs, AoAs, scatter_freq and power?? gains into a 3D-array with
dims [NumLinks N M]
theta_nm_aod=reshape(theta_nm_aod,M,N_max,NumLinks); %KTH
theta_nm_aod=permute(theta_nm_aod,[3 2 1]); %KTH
theta_nm_aoa=reshape(theta_nm_aoa,M,N_max,NumLinks); %KTH
theta_nm_aoa=permute(theta_nm_aoa,[3 2 1]); %KTH
scatterer_freq=reshape(scatterer_freq,M,N_max,NumLinks); %KTH
scatterer_freq=permute(scatterer_freq,[3 2 1]); %KTH

bulk_parameters=struct('delays',taus_rounded,...

```

```

    'path_powers',P,... %before:
    'subpath_powers',Psub,...
    'aods',theta_nm_aod,... %
    'aoas',theta_nm_aoa,...
    'subpath_phases',phi,...
    'Kcluster',Kcluster,... % in dB.
    'Phi_LOS',Phi_LOS,... % phases for LOS paths, in
degrees
    'path_losses',path_losses,... % in linear scale
    'shadow_fading',sigma_sf,... % in linear scale
    'MsBsDistance',MsBsDistance,... % This output is needed since the
originally generated MsBsDistances are fitted inside the applicability
ranges of the Scenarios
    'scatterer_freq',scatterer_freq,...
    'propag_condition', PropagCondition.',...
    'user_indeces',UserIndeces.');"KTH

%-- STEP 9 - STEP10b --%
if strcmpi(wimpar.PolarisedArrays,'yes')

    % generate random phases for 2x2 polarisation matrix elements
    phi = 360*rand(NumLinks,4,N_max,M); % random phases for all
users: [NumLinks pol path subpath]

    xpr_dB = randn(NumLinks,N_max,M);

    % get XPR distribution parameters (log-Normal)
    if LoSConnectionLinks
        xpr_mu_los = iterpar.LoS.xpr_mu; % XPR mean [dB]
        xpr_sigma_los = iterpar.LoS.xpr_sigma; % XPR std [dB]
        xpr_dB(LoSConnectionLinks, 1:N(1),:)=
xpr_dB(LoSConnectionLinks, 1:N(1),:)*xpr_sigma_los+xpr_mu_los; % XPR
[dB]
    end

    if NLoSConnectionLinks
        xpr_mu_nlos = iterpar.NLoS.xpr_mu; % XPR mean [dB]
        xpr_sigma_nlos = iterpar.NLoS.xpr_sigma; % XPR std [dB]
        xpr_dB(NLoSConnectionLinks, 1:N(2),:)=
xpr_dB(NLoSConnectionLinks, 1:N(2),:)*xpr_sigma_nlos+xpr_mu_nlos; %
XPR [dB]
    end

    % generate XPRs, dimensions are [NumLinks N M]
    xpr = 10.^(xpr_dB/10); % XPR [linear]

    if N(1) < N(2)
        phi(LoSConnectionLinks,:,end+1-(N(2)-N(1)):end,:)= NaN;
        xpr(LoSConnectionLinks,end+1-(N(2)-N(1)):end,:)= NaN;
    elseif N(1) < N(2)
        phi(NLoSConnectionLinks,:,end+1-(N(1)-N(2)):end,:)= NaN;
        xpr(NLoSConnectionLinks,end+1-(N(1)-N(2)):end,:)= NaN;
    end

    % output
    bulk_parameters.subpath_phases = phi; % in degrees
    bulk_parameters.xpr = xpr; % in linear scale

end

```

%%

Η συνάρτηση αυτή παράγει τις κυριότερες παραμέτρους που χρειάζονται για τις προσομοιώσεις [WIN4]. Παράγονται οι καθυστερήσεις και οι σχετικές τιμές ισχύος των μονοπατιών [WIN4]. Ακόμη η συνάρτηση παράγει τις γωνίες άφιξης και αναχώρησης και τις γωνίες των υπομονοπατιών [WIN4]. Τέλος, παράγονται οι απώλειες διάδοσης, οι διαλείψεις λόγω σκίασης, η απόσταση μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού και το αν βρισκόμαστε σε κατάσταση οπτικής ή μη οπτικής επαφής του χρήστη και του σταθμού βάσης [WIN4]. Στην περίπτωση οπτικής επαφής χρησιμοποιούνται ακόμα ο αριθμός των συστάδων και οι τυχαίες γωνίες για τα μονοπάτια [WIN4]. Στην περίπτωση πόλωσης μετριέται και ο λόγος XPD [WIN4].

Για την παραγωγή αυτών των τιμών, η συνάρτηση παίρνει σαν είσοδο κάποιες τιμές όπως τον αριθμό των χρηστών, το είδος του σεναρίου, τον αριθμό των συστάδων, τις τιμές ισχύος, τον αριθμό των υπομονοπατιών και τις τιμές καθυστερήσεων [WIN4]. Λαμβάνονται στους υπολογισμούς οι πιθανότητες να βρισκόμαστε σε οπτική επαφή [WIN4]. Στη συνάρτηση λαμβάνονται και αποτελέσματα στην περίπτωση που οι χρήστες έχουν μεγάλες καθυστερήσεις και στην περίπτωση που έχουμε κανονικές καθυστερήσεις [WIN4]. Τέλος, χρησιμοποιούνται οι απώλειες διάδοσης και οι γωνίες άφιξης και αναχώρησης όπως έχουν δοθεί σε άλλες συναρτήσεις του WINNER [WIN4].

#### **4.2.23 *interpbp.p***

Το κομμάτι αυτό περιέχει προστατευμένο κώδικα για τον οποίο δεν έχουμε καμιά πληροφορία [WIN4].

#### **4.2.24 *layout2link.m***

```
function linkpar=layout2link(layoutpar)
%LAYOUT2LINK Layout to link parameter conversion for WIM.
%   LINKPAR=LAYOUT2LINK(LAYOUTPAR) returns extended set of link
parameters
%   in the case of layout parameters are defined. It converts layout
%   parameters to Ms/Bs distances, LOS directions etc. LAYOUT2LINK is
used with
%           WIM   the   following   way:   [...]   =
wim(wimparset,layout2link(layoutpar),antpar) .
%
%   The output parameters are:
```

```

%
% Stations      - directly from LAYOUTPAR
% NofSect      - directly from LAYOUTPAR
% Pairing      - directly from LAYOUTPAR
% ThetaBs     - calculated from LAYOUTPAR
% ThetaMs     - calculated from LAYOUTPAR
% MsBsDistance - calculated from LAYOUTPAR
% MsVelocity  - calculated from LAYOUTPAR
% MsDirection  - calculated from LAYOUTPAR
% StreetWidth  - defined in LAYOUTPAR
% Dist1       - defined in LAYOUTPAR
%
% See [1, Fig. 6.1 and 6.2].
%
% Ref. [1]: D1.1.1 V1.0, "WINNER II interim channel models"
%
% See also WIM, LAYOUTPARSET, WIMPARSET, ANTPARSET.

% Authors: Pekka Kyösti (EBIT), Martin Köske (TUI)
%
NofSect = layoutpar.NofSect;
Pairing = layoutpar.Pairing;
Stations = layoutpar.Stations;

% linkpar struct with layout parameters included
linkpar=struct( 'Stations', Stations,...
               'NofSect', [],...
               'Pairing', [],...
               'ScenarioVector', [],...
               'PropagConditionVector', [],...
               'ThetaBs', [],...
               'ThetaMs', [],...
               'MsHeight', [],...
               'BsHeight', [],...
               'MsBsDistance', [],...
               'MsVelocity', [],...
               'MsDirection', [],...
               'StreetWidth', [],...
               'NumFloors', [],...
               'NumPenetratedFloors', [],...
               'Dist1', []);

% MS-BS distance
linkpar.MsBsDistance = StationDistXY(Stations(Pairing(1,:)),
Stations(Pairing(2,:)));
BsHeight = [Stations(Pairing(1,:)).Pos]; BsHeight=BsHeight(3,:);
MsHeight = [Stations(Pairing(2,:)).Pos]; MsHeight=MsHeight(3,:);
% LOS direction from BS array to MS array
[ThetaBs,
ThetaMs]=StationDirectionXY(Stations(Pairing(1,:)),Stations(Pairing(2
,:)));
ThetaBs=prin_value(ThetaBs*180/pi);
ThetaMs=prin_value(ThetaMs*180/pi);

% the rest of the link parameters
[linkpar.MsDirection,linkpar.MsVelocity]=StationVelocityXY(Stations(P
airing(2,:)));
linkpar.MsDirection=linkpar.MsDirection*180/pi;
linkpar.ScenarioVector = layoutpar.ScenarioVector;

```

```

linkpar.PropagConditionVector = layoutpar.PropagConditionVector;
linkpar.StreetWidth = layoutpar.StreetWidth;
linkpar.NumFloors = layoutpar.NumFloors;
linkpar.NumPenetratedFloors = layoutpar.NumPenetratedFloors;
linkpar.Dist1 = layoutpar.Dist1;

% convert actual layoutpar to linkpar
linkpar.ThetaBs = ThetaBs;
linkpar.ThetaMs = ThetaMs;
linkpar.BsHeight = BsHeight;
linkpar.MsHeight = MsHeight;
linkpar.NofSect = NofSect;
linkpar.Pairing = Pairing;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function that maps inputs from (-inf,inf) to (-180,180)
function y=prin_value(x)
y=mod(x,360);
y=y-360*floor(y/180);

```

Επιστρέφει παραμέτρους επιπέδου ζεύξης [WIN4]. Συγκεκριμένα επιστρέφει τον αριθμό των σταθμών, τις γωνίες για το σταθμό βάσης και τις γωνίες για τον κινητό σταθμό [WIN4]. Ακόμη, δίνει σαν έξοδο τις αποστάσεις, την κατεύθυνση και τις ταχύτητές των σταθμών [WIN4].

#### 4.2.25 *layoutparset.m*

```

function layoutpar=layoutparset(varargin)
%LAYOUTPARSET Link parameter configuration for WIM
% LAYOUTPAR=LAYOUTPARSET(MsIdx,BsIdx,SectPerBs,K,Arrays) is a
struct consisting
% of randomly generated network layout parameters. BS and MS
positions
% are set and a pairing matrix with K links between is generated.
% Input parameters:
% Arrays - vector of array definitions, the actual MS and BS
% arrays are selected from this vector
% MsIdx - vector of indices into ArrayGeometries
% BsIdx - vector of indices into ArrayGeometries
%
% LAYOUTPAR=LAYOUTPARSET(MsIdx,BsIdx,K,Arrays,RMAX) uses layout
range
% RMAX for generation of MS and BS positions on cartesian co-
ordinate
% system (default: 500 meters).
%
%
% LAYOUTPAR=LAYOUTPARSET(...,SEED) sets the random seed used in
layout
% parameter generation.
%
% The parameters and their defaults are:
%
% Stations - vector of struct describing both Ms and Bs,

```

```

created
%
%           by using Arrays
%           first NofBs elements contains Bs, rest Ms
%   NofSect      - vector of number of sectors in each of the BSs,
default=ones(1,NofBs)
%   Pairing      - matrix defining which links are modelled, 2xK
%   ScenarioVector - maps scenario names to links (see
ScenarioMapping.m)
%   PropagConditionVector - maps propagation condition (NLOS=0/LOS=1)
to links
%   NumFloors    - For scenarios A2/B4 this determines the floor
number of BS/MS
%   NumPenetratedFloors - Number of floor between BS/MS for the A1
path loss (default is zero)
%   Dist1        - Distance from BS to "the street crossing" (last LOS
point), default NaN -> will be drawn randomly
%
%   StreetWidth  - 25 meters
%   Dist2        - NaN default -> will be drawn randomly
%
%   See [1, Fig. 6.1 and 6.2].
%
%   Some notes about the parameters:
%
%   - Co-ordinates of Bs and Ms should be given in meters with
resolution
%     of 1 meter. One meter resolution is assumed in auto-correlation
%     generation of LScorrelation.m function.
%   - Pairing is a matrix with dimensions 2 x K,
%     the first row denotes the Bs index into Stations the second row
the Ms index
%     i.e. Stations(Pairing(:,1)) returns the two stations comprising
the first link
%   - StreetWidth, this is utilized only with path loss model in [1,
sec 5.4.1.2]
%   - Dist2 is defined in [1, Figure 5.16] and generated randomly if
empty
%
%   Ref. [1]: D1.1.1 V1.0, "WINNER II interim channel models"
%
%   See also WIM, LAYOUT2LINK, WIMPARSET, ANTPARSET.

%   Authors: Pekka Kyösti (EBIT), Martin Köske (TUI), Milan Narand?i?
(TUI)
%
%   Updates to Phase II model:   Added new (linkpar) parameters
ScenarioVector,
%                               PropagConditionVector, NumFloors           (29.5.07
PekKy)

% defaults
NofMs=1;           % number of BMS
NofBs=1;           % number of BSs
K=1;               % number of links
rmax=500;          % layout range [m]
SectPerBs=1;
%BSrmin=10;        % minimum distance of BSs [m]

% inputs

```



```

ni=length(varargin);
if ni>0, if (~isempty(varargin{1})), MsAAIdx=varargin{1};
NofMs=length(MsAAIdx); end, end
if ni>1,
    if (~isempty(varargin{2})),
        BsAAIdxCell=varargin{2};
        NofSect = cellfun(@length,BsAAIdxCell)';
        BsAAIdx=cell2mat(cellfun(@(x)
x(:),BsAAIdxCell,'UniformOutput',false))';
        NofBs=length(BsAAIdx);
    end,
end
if ni>2, if (~isempty(varargin{3})), K=varargin{3}; end, end
if ni>3, if (~isempty(varargin{4})), Arrays=varargin{4}; end, end
if ni>4, if (~isempty(varargin{5})), rmax=varargin{5}; end, end
if ni>5, if (~isempty(varargin{6})), seed=varargin{6};
rand('state',floor(seed)); end, end
if ni>6, error('Too many input arguments!'), end

% check input SectPerBs
% if length(SectPerBs)==1 NofSect=repmat(SectPerBs,1,NofBs); %
SectPerBs [scalar]: NofSect equal in any BS
% elseif length(SectPerBs)~=NofBs %
SectPerBs missing in some BSs
% SectPerBs = 1; NofSect=repmat(SectPerBs,1,NofBs); % set
default values
% warning('Number of sectors required for each Bs')
% disp(['SectPerBs set to default ' mat2str(SectPerBs)])
% else %
SectPerBs [1*NofBs], NofSect differ among BSs
% NofSect=SectPerBs;
% end

if(max([MsAAIdx(:);BsAAIdx(:) ])>length(Arrays))
    error('MsAAIdx/BsAAIdx out of supported Antenna Array bounds !');
end;

% create stations
for i=1:length(BsAAIdx)
    tmpStation=Arrays(BsAAIdx(i));
    tmpStation.Name=['BS' num2str(i) ' ' tmpStation.Name];
    tmpStation.Pos=[round(rand(2,1)*rmax); 32];
    %tmpStation.Rot=[0;0;(2*rand-1)*pi];
    tmpStation.Velocity=[0;0;0];
    Stations(i)=tmpStation;
end;
for i=(1:length(MsAAIdx))+length(BsAAIdx)
    tmpStation=Arrays(MsAAIdx(i-length(BsAAIdx)));
    tmpStation.Name=['MS' num2str(i-NofBs) ' ' tmpStation.Name];
    tmpStation.Pos=[round(rand(2,1)*rmax); 1.5];
    %tmpStation.Rot=[0;0;(2*rand-1)*pi];
    tmpStation.Velocity=rand(3,1)-0.5;

tmpStation.Velocity=tmpStation.Velocity./sqrt(sum(abs(tmpStation.Velo
city).^2))*10; % 10 m/s
    Stations(i)=tmpStation;
end;

% outputs
layoutpar=struct('Stations', Stations,...

```

```

        'NofSect', NofSect,...
        'Pairing',
fillpairing(length(MsAAIdx),length(BsAAIdx),K)+[zeros(1,K);length(BsAAIdx)*ones(1,K)],... % Ms are located after Bs in Stations
        'StreetWidth',20*ones(1,K),...
        'Dist1', repmat(NaN,1,K),...
        'ScenarioVector',1*ones(1,K),... % A1, A2, B1, B2,
B3, B4, B5a, B5c, B5f, C1, C2, C3, D1, D2a
        'PropagConditionVector',round(rand(1,K)),...
        'NumFloors', 1*ones(1,K),... % The ground floor is
number 1
        'NumPenetratedFloors',0*ones(1,K)); % Number of
floor for the A1 path loss (Default is zero)

function A=fillpairing(NofMs,NofBs,K)
% FILLPAIRING
% A=FILLPAIRING(NOFMS,NOFBS,K) generates pairing matrix
% first row denotes the Bs, second row the Ms, the actual link are
the
% columns of A (e.g. for the k'th link: A(:,k)==[BsAAIdx;MsAAIdx])
% as of now only links from Bs to Ms are supported
% support for P2P links (Ms-Ms), will be added in future

% Authors: Pekka Kyösti (EBIT), Daniela Laselva (EBIT),
%          Martin Köske (TUI)

% avoid duplicate links (same Ms/Bs)
if K>NofBs*NofMs
    K=NofBs*NofMs;
    warning('Number of modelled links limited by the layout')
    disp(['Number of links set to ' mat2str(K)])
end
A=zeros(2,K);
tmp=randperm(NofBs*NofMs);
% link id is created like BsAAIdx*MsAAIdx
% the following two lines extract BsAAIdx and MsAAIdx from link id
A(1,:)=floor((tmp(1:K)-1)/NofMs)+1; % BsAAIdx
A(2,:)=mod(tmp(1:K)-1,NofMs)+1; % MsAAIdx

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function that maps inputs from (-inf,inf) to (-180,180)
function y=prin_value(x)
y=mod(x,360);
y=y-360*floor(y/180);

```

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει τον αριθμό των σταθμών βάσης και των κινητών σταθμών [WIN4]. Ακόμη επιστρέφει τον αριθμό των ορόφων που παρεμβάλλονται μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού σταθμού καθώς και τον αριθμό των ορόφων στην περίπτωση μετάβασης από εξωτερικό σε εσωτερικό περιβάλλον [WIN4]. Επίσης, επιστρέφει τον αριθμό των ζεύξεων και τον αριθμό των τομέων στην περίπτωση του σταθμού βάσης [WIN4]. Το μήκος του δρόμου θεωρείται δεδομένο και τέλος επιστρέφεται ο τύπος του σεναρίου και το κατά πόσον βρισκόμαστε σε συνθήκες οπτικής και μη οπτικής επαφής [WIN4].

#### ***4.2.26 LOSprobability.m***

Η συνάρτηση αυτή περιέχει τις πιθανότητες να βρισκόμαστε σε κατάσταση οπτικής επαφής χρήστη και σταθμού βάσης [WIN4]. Οι τιμές αυτές διαφέρουν για κάθε σενάριο και εξαρτώνται από την απόσταση [WIN4]. Οι πιθανότητες δίνονται στον πίνακα 4.2 [WIN4]. Στο σενάριο B3 η πιθανότητα αυτή ισχύει για μακριούς διαδρόμους σε εργοστάσια, αεροδρόμια και σταθμούς τρένων [WIN4].

#### ***4.2.27 LScorrelation.m***

Παράγει την αυτοσυσχέτιση παραμέτρων για κάθε σταθμό βάσης χωριστά [WIN4]. Αν δύο κινητοί σταθμοί συνδέονται στον ίδιο σταθμό βάσης τότε υπολογίζεται η αυτοσυσχέτιση με βάση την απόσταση [WIN4].

#### ***4.2.28 mycart2sph.m***

Η συνάρτηση αυτή κάνει μετατροπή από καρτεσιανές σε σφαιρικές συντεταγμένες υπολογίζοντας όμως τις γωνίες  $\theta, \varphi$  από τους θετικούς άξονες  $y$  και  $x$  αντίστοιχα [WIN4].

#### ***4.2.29 mysph2cart.m***

Εδώ γίνεται η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία με την προηγούμενη [WIN4]. Γίνεται μετατροπή από σφαιρικές σε καρτεσιανές συντεταγμένες υπολογίζοντας τις γωνίες από τους θετικούς άξονες  $y$  και  $x$  [WIN4].

#### ***4.2.30 NTlayout.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει σε σχέδιο τις θέσεις των σταθμών βάσης και των κινητών σταθμών στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων [WIN4]. Κατά το σχεδιασμό η συνάρτηση βρίσκει τις ενεργές ζεύξεις μεταξύ σταθμών βάσης και τερματικών χρήστη [WIN4].

### ***4.2.31 offset\_matrix\_generation.m***

Η συνάρτηση αυτή φτιάχνει τον πίνακα με τις γωνίες άφιξης και αναχώρησης σε σωστή μορφή [WIN4]. Η σωστή μορφή σημαίνει ότι οι συστάδες γίνονται στήλες του πίνακα ενώ τα αντίστοιχα υπομονοπάτια γίνονται σειρές [WIN4]. Ακόμη λαμβάνονται τα μονοπάτια στις περιπτώσεις οπτικής και μη οπτικής επαφής καθώς και οι περιπτώσεις που δεν έχουμε στοιχεία και δεν υπολογίζουμε [WIN4].

### ***4.2.32 pathloss.m***

Η συνάρτηση αυτή περιέχει το μοντέλο απωλειών όπως δίνεται στον πίνακα 4.3 [WIN4].

### ***4.2.33 rotate\_vector.m***

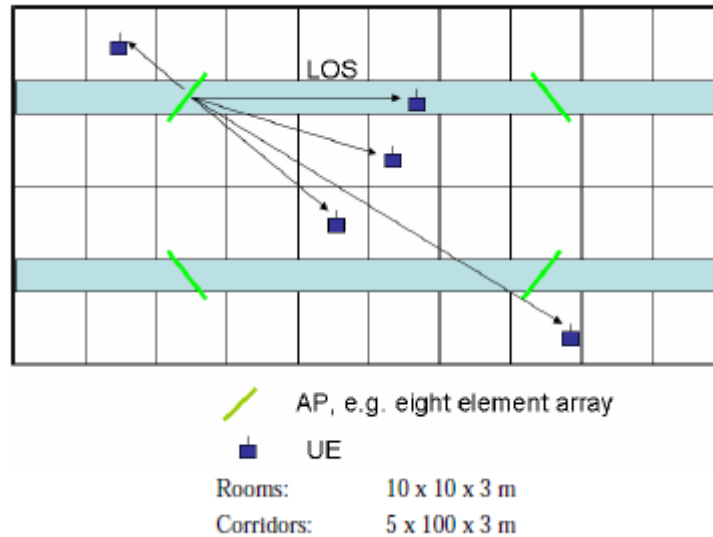
Η συνάρτηση αυτή κάνει περιστροφή του διανύσματος σύμφωνα με το διάνυσμα περιστροφής [WIN4]. Το διάνυσμα περιστροφής είναι το διάνυσμα που περιέχει τις γωνίες περιστροφής κατά τους άξονες x, y και z [WIN4]. Οι υπολογισμοί γίνονται ώστε να αποφευχθεί η μεγάλη πολυπλοκότητα [WIN4].

### ***4.2.34 ScenarioMapping.m***

Η συνάρτηση αυτή αντιστοιχεί τα σενάρια με αριθμούς για ευκολότερη επεξεργασία. Τα σενάρια [WIN1] είναι:

- A1

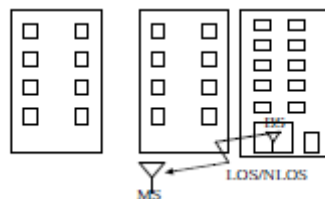
Σε αυτό το σενάριο βρισκόμαστε εντός κτιρίων σε γραφεία και κατοικίες. Τα σημεία πρόσβασης θεωρείται ότι βρίσκονται εντός ενός διαδρόμου. Οι συνθήκες οπτικής επαφής υφίστανται όταν ο χρήστης βρίσκεται στο διάδρομο και συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν βρίσκεται σε δωμάτιο. Θεωρούμε πως υπάρχουν απώλειες που οφείλονται σε παρεμβαλλόμενους τοίχους και ορόφους.



**Σχήμα 4.10 Διάταξη σεναρίου A1 [WIN1]**

- A2

Σε αυτό το σενάριο θεωρούμε πως βρισκόμαστε κατά τη μεταφορά από εσωτερικό σε εξωτερικό περιβάλλον. Η μεταφορά θεωρείται ότι γίνεται από το B1 στο A1.



**Σχήμα 4.11 Διάταξη σεναρίου A2 [WIN1]**

- B1

Σε αυτό το περιβάλλον η κεραία του σταθμού βάσης βρίσκεται ακριβώς κάτω από την οροφή του κτιρίου εξωτερικά. Οι δρόμοι έχουν διάταξη τύπου Manhattan. Θεωρούμε πως έχουμε συνθήκες οπτικής επαφής που είναι δυνατόν να μπλοκάρεται μόνο από ψηλά οχήματα (φορτηγά).

- B2

Το περιβάλλον αυτό είναι αστικό με χρήση μικροκυψελών. Θεωρούμε πως

υπάρχουν κακές συνθήκες διάδοσης. Υπάρχει διάδοση πολλαπλών διαδρομών από μακρινά αντικείμενα που λαμβάνεται στους υπολογισμούς.

- B3

Εδώ έχουμε ένα hotspot εσωτερικού χώρου. Προσφέρει ευρεία αλλά όχι συνεχή κάλυψη και χαμηλή κινητικότητα χρηστών. Οι συνθήκες που επικρατούν είναι οπτικής και μη οπτικής επαφής.

- B4

Το περιβάλλον αυτό καλύπτει τη μεταφορά από εξωτερικό προς εσωτερικό χώρο. Ο σταθμός βάσης βρίσκεται κάτω από την οροφή κτιρίου. Οι χρήστες έχουν υψηλή πυκνότητα.

- B5a

Εδώ έχουμε στατικούς χρήστες με το σήμα να προέρχεται από οπτική επαφή ή από ανακλάσεις. Η κεραία του σταθμού βάσης καθώς και ο χρήστης βρίσκεται στην οροφή.

- B5b

Στο περιβάλλον αυτό θεωρούμε πως έχουμε πολλούς σκεδαστές. Ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται στο επίπεδο του δρόμου.

- B5c

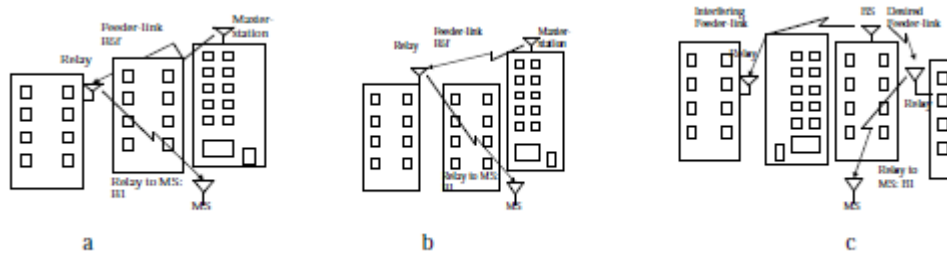
Εδώ έχουμε το περιβάλλον B1 με συνθήκες οπτικής επαφής. Ο πομπός βρίσκεται κάτω από την οροφή στο επίπεδο του δρόμου.

- B5d

Στο περιβάλλον αυτό έχουμε τις συνθήκες του C2 με συνθήκες μη οπτικής επαφής. Ο πομπός βρίσκεται στην οροφή και ο δέκτης στο δρόμο.

- B5f

Εδώ έχουμε οπτικής επαφής ζεύξεις αν η κεραία βρίσκεται κάτω από την οροφή κτιρίων ενώ υπό άλλες συνθήκες έχουμε μη οπτική επαφή.



**Σχήμα 4.12 Διάταξη σεναρίου B5f σε συνθήκες (α) μη οπτικής επαφής, (β) οπτικής επαφής και (γ) συνδυασμός περιπτώσεων [WIN1]**

- C1

Σε αυτό το περιβάλλον έχουμε προαστιακό περιβάλλον. Οι σταθμοί βάσης βρίσκονται πάνω από την οροφή κτιρίων και οι τερματικοί σταθμοί βρίσκονται εξωτερικά. Η βλάστηση είναι λίγη. Τα σπίτια έχουν χαμηλό ύψος και παρεμβάλλονται παιδικές χαρές και πάρκα. Η κάλυψη είναι ευρείας περιοχής.

- C2

Εδώ έχουμε αστικό περιβάλλον με χρήση μακροκυψελών. Ο τερματικός χρήστης βρίσκεται εξωτερικά στο επίπεδο του δρόμου και ο σταθμός βάσης βρίσκεται πάνω από το ύψος κτιρίων. Το μέσο ύψος κτιρίων είναι μεγαλύτερο από αυτό τεσσάρων ορόφων. Το σήμα φτάνει στο επίπεδο του δρόμου με περίθλαση του σήματος.

- C3

Αυτό το περιβάλλον είναι αστικό με κακής ποιότητας σήμα. Τα ύψη των κτιρίων είναι ανομοιογενή. Η πυκνότητα των χρηστών δεν παρουσιάζει ομοιογένεια. Η κακή ποιότητα του σήματος οφείλεται σε βουνά που περικλείουν την πόλη, περιοχές νερού που βρίσκονται μεταξύ των κτιρίων ή υψηλούς ουρανοξύστες.

- C4

Εδώ έχουμε μεταφορά από εξωτερικό σε εσωτερικό περιβάλλον, δηλαδή μεταφορά από C2 προς A1.

- D1

Το περιβάλλον αυτό είναι επαρχιακό που χρησιμοποιεί μακροκυψέλες. Η ακτίνα

φτάνει μέχρι 10km και έχουμε περισσότερο συνθήκες οπτικής επαφής.

- D2a

Το περιβάλλον αυτό περιλαμβάνει ένα χρήστη που βρίσκεται σε κίνηση. Θεωρούμε πως δεν υπάρχουν σήραγγες. Το ύψος του τρένου είναι 2.5m και η ταχύτητά του φτάνει τα 350km/h. Οι σταθμοί βάσης βρίσκονται 50m ή 2m μακριά από τα βαγόνια.

- D2b

Εδώ βρισκόμαστε μέσα στο βαγόνι κινούμενου τρένου. Οι συνθήκες που επικρατούν είναι μη οπτικής επαφής. Θεωρούμε πως τα τζάμια του τρένου είναι τέτοια ώστε να απομονώνουν τη θερμοκρασία.

#### ***4.2.35 ScenParTables.m***

Η συνάρτηση αυτή δίνει όλες τις παραμέτρους των σεναρίων σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 [WIN4].

#### ***4.2.36 StationDirectionXY.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει τις γωνίες που σχηματίζουν δύο σταθμοί [WIN4]. Η γωνία αυτή υπολογίζεται όπως φαίνεται από τον πρώτο σταθμό [WIN4].

#### ***4.2.37 StationDistXY.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει την απόσταση μεταξύ των σταθμών [WIN4]. Οι σταθμοί μπορεί να έχουν το ίδιο μέγεθος ή οποιοδήποτε μέγεθος [WIN4].

#### ***4.2.38 StationNumElements.m***

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει τον αριθμό των στοιχείων του πίνακα [WIN4].



#### 4.2.39 *Station VelocityXY.m*

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το πλάτος και τη γωνία του διανύσματος της ταχύτητας του κινητού σταθμού [WIN4].

#### 4.2.40 *struct\_generation.m*

Η συνάρτηση αυτή χειρίζεται τη δομή που περιέχει όλα τα στοιχεία των παραμέτρων που παράγει η `generate_bulk_par` [WIN4].

#### 4.2.41 *unrotate\_vector.m*

Στη συνάρτηση αυτή γίνεται η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία από τη συνάρτηση `rotate_vector` [WIN4]. Ένα διάνυσμα που έχει περιστραφεί γυρνάει στην αρχική του θέση πριν την περιστροφή [WIN4]. Η επιλογή της σειράς των υπολογισμών γίνεται με τρόπο που εξασφαλίζει τη μειωμένη πολυπλοκότητα των υπολογισμών [WIN4].

#### 4.2.42 *vel\_vector.m*

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το διάνυσμα της ταχύτητας του κινητού σταθμού [WIN4].

#### 4.2.43 *wim.m*

```
function [H, delays, full_output]=wim(wimpar,layoutpar,initvalues)
%WIM WINNER Phase II Channel Model (WIM2)
%      H=WIM(WIMPAR,LINKPAR,ANTPAR) is a 5D-array of channel
coefficients. For
%      explanation of the input parameter structs, see WIMPARSET,
LAYOUT2LINK, LAYOUTPARSET,
%      and ANTPARSET. H is a cell array of size K (number of links.
%      SIZE(H{i})=[U S N T], where U is the number of MS (RX)
%      elements, S is the number of BS (TX) elements, N is the number of
paths,
%      T is the number of time samples
%
%      [H DELAYS]=WIM(...) outputs also a [KxN] matrix of path delays
(in seconds).
%
%      [H DELAYS BULKPAR]=WIM(...) outputs also the struct BULKPAR,
```

```

whose fields
%   are as follows:
%
%   With NLOS propagation condition:
%
%   delays           - path delays in seconds [KxN]
%   path_powers     - relative path powers [KxN]
%   aods             - angles of departure in degrees over (-180,180)
[KxNxM]
%   aoas            - angles of arrival in degrees over (-180,180)
[KxNxM]
%   subpath_phases  - final phases for subpaths in degrees over
(0,360) [KxNxM]
%   path_losses     - path losses in linear scale [Kx1]
%   MsBsDistance    - distances between MSs and BSs in meters [1xK]
%   shadow_fading   - shadow fading losses in linear scale [Kx1]
%   delta_t         - time sampling intervals for all links [Kx1]
%
%   In addition, when LOS condition (in addition to the above):
%
%   K_factors       - K factors for all links [Kx1]
%   Phi_LOS         - final phases for LOS paths in degrees over (-
180,180) [Kx1]
%
%   [H ...]=WIM(...,INIT_VALUES) uses initial values given in the
struct
%   INIT_VALUES, instead of random parameter generation. INIT_VALUES
has
%   the same format as BULKPAR, except that SUBPATH_PHASES are now
the
%   initial phases. Also, time sampling intervals (delta_t) are not
used
%   (they are recalculated for every call of WIM).
%
%   Ref. [1]: D1.1.2 V1.2, "WINNER II channel models"
%   [2]: 3GPP TR 25.996 v6.1.0 (2003-09)
%
%   See also WIMPARSET, LAYOUT2LINK, LAYOUTPARSET and ANTPARSET

%   Authors: Jari Salo (HUT), Giovanni Del Galdo (TUI), Pekka Kyösti
(EBIT),
%   Daniela Laselva (EBIT), Marko Milojevic (TUI), Christian
Schneider (TUI)
%   Lassi Hentilä (EBIT), Mikko Alatossava (CWC/UOULU), Martin Köske
(TUI)

% Note: all units are in degrees, meters, Hertz (1/s) and
meters/second (m/s)

ni=nargin;
if (ni<2 || ni>3)
    error('WIM requires two or three input arguments !')
end

linkpar=layout2link(layoutpar);

```

```

% Read fixed scenario dependent parameters from a table
fixpar = ScenParTables(linkpar.StreetWidth(1)); %same street width
for all links

% WIM parameters, common to all links
SampleDensity=wimpar.SampleDensity;
NumTimeSamples=wimpar.NumTimeSamples;
%N=wimpar.NumPaths;
M=wimpar.NumSubPathsPerPath;
CenterFrequency=wimpar.CenterFrequency;
DelaySamplingInterval=wimpar.DelaySamplingInterval;
PathLossModel=wimpar.PathLossModel;
RandomSeed=wimpar.RandomSeed;
UniformTimeSampling=wimpar.UniformTimeSampling;
PathLossModelUsed=wimpar.PathLossModelUsed;
ShadowingModelUsed=wimpar.ShadowingModelUsed;
FixedPdpUsed = wimpar.FixedPdpUsed;
FixedAnglesUsed = wimpar.FixedAnglesUsed;
PolarisedArrays = wimpar.PolarisedArrays;

% link parameters
ScenarioVector = linkpar.ScenarioVector;
PropagConditionVector = linkpar.PropagConditionVector;
MsBsDistance=linkpar.MsBsDistance;
ThetaBs=linkpar.ThetaBs;
ThetaMs=linkpar.ThetaMs;
MsVelocity=linkpar.MsVelocity;
MsDirection=linkpar.MsDirection;
StreetWidth=linkpar.StreetWidth;
NumFloors = linkpar.NumFloors;
Dist1=linkpar.Dist1;
if(isfield(linkpar,'Stations'))
    Stations=linkpar.Stations;
end;
if(isfield(linkpar,'Pairing'))
    Pairing=linkpar.Pairing;
end;

% extract the number of links
NumLinks=length(MsBsDistance);

% Check that the struct linkpar has the same number of parameters in
% each of its fields. This is also the number of links/users.
if (    NumLinks ~= length(ThetaBs)      ||...
        NumLinks ~= length(ThetaMs)     ||...
        NumLinks ~= length(MsVelocity)  ||...
        NumLinks ~= length(MsDirection) ||...
        NumLinks ~= length(StreetWidth) ||...
        NumLinks ~= length(NumFloors)   ||...
        NumLinks ~= length(Dist1))

    error('All fields in input struct LINKPAR must be of same size!')
end

% Set random seeds if given
if (isempty(RandomSeed)==0)
    rand('state',RandomSeed);
    randn('state',RandomSeed);
else

```

```

    rand('state',sum(100*clock));
    randn('state',sum(101*clock));
end

% GENERATION OF RANDOM "BULK" PARAMETERS FOR ALL LINKS
switch (ni)

    case (2)    % do the basic thing

        % generate bulk parameters for all links
        %bulkpar=generate_bulk_par_polarised(wimpar,linkpar,antpar,fixpar);
        bulkpar=generate_bulk_par(wimpar,linkpar,fixpar);

        % get number of clusters from bulk parameters (located here
because
        % for the case of FixedPdpUsed
        N = size(bulkpar.delays,2);

        % for interpolation
        aods=bulkpar.aods;
        aoas=bulkpar.aoas;

    case (3)    % do not generate random link parameters, use initial
values

        % take bulk parameters from input struct
        bulkpar=initvalues;

        % This IF is added to remove intra cluster delay spread
effects from
        % initial values (spread takes effect in wim_core.m)
        if strcmp(wimpar.IntraClusterDsUsed,'yes')
            for k=1:NumLinks
                % Remove intra cluster delay values from initial
values
                tmp = initvalues.delays(k,:);

                tmp([initvalues.IndexOfDividedClust(k,1)+[1:2],initvalues.IndexOfDivi
dedClust(k,2)+2+[1:2]]) = [];
                tmpDelay(k,:) = tmp;
                % Remove intra cluster power values from initial
values
                tmp = initvalues.path_powers(k,:);

                tmp([initvalues.IndexOfDividedClust(k,1)+[1:2],initvalues.IndexOfDivi
dedClust(k,2)+2+[1:2]]) = [];
                tmpPower(k,:) = tmp;
            end
            bulkpar.delays = tmpDelay;
            bulkpar.path_powers = tmpPower;
        end

        % get number of clusters from bulk parameters (located here
because
        % for the case of FixedPdpUsed

```

```

N = size(bulkpar.delays,2);

% for interpolation
aods=bulkpar.aods;
aoas=bulkpar.aoas;

end

% ANTENNA FIELD PATTERN INTERPOLATION
% Interpolation is computationally intensive, so avoid it if possible.
% Since elevation will not be supported, dismiss the elevation
dimension (for now)
% NOTE: aods/aoas should be given in degrees.
BsGainIsScalar=0;
MsGainIsScalar=0;

% {NumLinks}[NumElems 3(Pol+Phase) N M]
BsGainPatternInterpolated=AntennaResponse(Stations(Pairing(1,:)),
pi/2-aods*pi/180);
MsGainPatternInterpolated=AntennaResponse(Stations(Pairing(2,:)),
pi/2-aoas*pi/180);

%% Do antenna field pattern interpolation for the LOS path
% Polarised arrays case added 19.12.2005, PekKy
BsGain_Theta_BS=AntennaResponse(Stations(Pairing(1,:)), pi/2-
ThetaBs(:)*pi/180);
MsGain_Theta_MS=AntennaResponse(Stations(Pairing(2,:)), pi/2-
ThetaMs(:)*pi/180);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Channel Matrix Generation %%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
H=cell(NumLinks,1);
if ~strcmpi(wimpar.TimeEvolution,'yes') % NO time evolution

    %%% Separate processing for LOS and NLOS scenarios %%%
    %
    if sum(bulkpar.propag_condition)>0 % LOS links

        PCind = find(bulkpar.propag_condition); % Propagation
condition index, LOS

        % CHANNEL MATRIX GENERATION
        [Htmp delta_t FinalPhases FinalPhases_LOS] =
wim_core( wimpar,...
linkpar,...
bulkpar,...
BsGainPatternInterpolated,...
BsGain_Theta_BS,... % gain of LOS path
MsGainPatternInterpolated,...
MsGain_Theta_MS,... % gain of LOS path
0,... % offset time (not used
typically)
BsGainIsScalar,...
MsGainIsScalar,...

```

```

        PCind);

    H(PCind) = Htmp;

    % final phases
    bulkpar.subpath_phases(PCind, :, :, :) = FinalPhases;
    % time sampling grid
    bulkpar.delta_t(PCind) = delta_t;
end

if (length(bulkpar.propag_condition) -
sum(bulkpar.propag_condition)) > 0 % NLOS links

    PCind = find(bulkpar.propag_condition == 0); % Propagation
condition index, NLOS

    % CHANNEL MATRIX GENERATION
    [Htmp delta_t FinalPhases] = wim_core(wimpar, ...
        linkpar, ...
        bulkpar, ...
        BsGainPatternInterpolated, ...
        BsGain_Theta_BS, ... % gain of LOS path
        MsGainPatternInterpolated, ...
        MsGain_Theta_MS, ... % gain of LOS path
        0, ... % offset time (not used
typically)
        BsGainIsScalar, ...
        MsGainIsScalar, ...
        PCind);

    H(PCind) = Htmp;

    % final phases
    bulkpar.subpath_phases(PCind, :, :, :) = FinalPhases;
    % time sampling grid
    bulkpar.delta_t(PCind) = delta_t;
end

else % YES time evolution

    %% Time evolution is not finalized yet...
    error('In current version of WIM2 time evolution is not
supported!')

    % Check parameters
    if sum(ScenarioVector(1) ~= ScenarioVector) > 0
        error('With time evolution option all Scenarios must be
same!')
    end
    if sum(PropagConditionVector(1) ~= PropagConditionVector) > 0
        error('With time evolution option all PropagConditions must
be same (LOS/NLOS)!')
    end
    if length(ScenarioVector) < 2
        error('With time evolution option number of links must
be >1 !')
    end
    if strcmpi(wimpar.FixedPdpUsed, 'yes')
        error('With time evolution option FixedPdp is not feasible!')
    end
end

```

```

end
if (linkpar.ScenarioVector(1)>=7 & linkpar.ScenarioVector(1)<=9)
    error('With time evolution option B5 scenarios are not
feasible!')
end
if nargin>3
    warning('Initial values as an input parameter not supported
with time evolution option!')
end

NofC = size(bulkpar.delays,2);           % Number of clusters
NofDr = length(ScenarioVector);        % Number of drops (links)
[tmp,Pind] = sort(bulkpar.path_powers'); % Indices to power
sorted clusters
Pind = flipud(Pind);
Pind = Pind + (ones(NofC,1)*[1:NofC:NofDr*NofC]-1);

NofSeg = NofC*NofDr-NofC;             % Number of evolution segments

for k=1:NofSeg
    [c,r] = ind2sub(size(bulkpar.delays'),Pind(k:k+NofC)); %
Note! c,r order is not a mistake
    IndSeg = sub2ind(size(bulkpar.delays),r,c);           % index to
clusters of current evolution segment

    bulkpar_evo.delays(k,:) = bulkpar.delays(IndSeg);
    bulkpar_evo.path_powers(k,:) =
bulkpar.path_powers(IndSeg);
    tmp = permute(bulkpar.aods,[3 1 2]); tmp = tmp(:,:,);
    bulkpar_evo.aods(k,:,:) = permute(tmp(:,IndSeg),[2
1]);
    tmp = permute(bulkpar.aoads,[3 1 2]); tmp = tmp(:,:,);
    bulkpar_evo.aoads(k,:,:) = permute(tmp(:,IndSeg),[2
1]);
    bulkpar_evo.propag_condition =
repmat(bulkpar.propag_condition(1),NofSeg,1);

    % Note! this is not correct
    tmp = permute(bulkpar.subpath_phases,[3 1 2]); tmp = tmp(:,:,);
    bulkpar_evo.subpath_phases(k,:,:) = permute(tmp(:,IndSeg),[2
1]);
end

% interpolate path loss, K-factor and shadowing to evolution
segments
for k = 1:NofDr-1
    bulkpar_evo.path_losses((k-1)*NofC+1 : k*NofC,1) =...
linspace(bulkpar.path_losses(k),bulkpar.path_losses(k+1),NofC)';
    bulkpar_evo.Kcluster((k-1)*NofC+1 : k*NofC,1) =...
linspace(bulkpar.Kcluster(k),bulkpar.Kcluster(k+1),NofC)';
    bulkpar_evo.shadow_fading((k-1)*NofC+1 : k*NofC,1) =...
linspace(bulkpar.shadow_fading(k),bulkpar.shadow_fading(k+1),NofC)';
    bulkpar_evo.MsBsDistance((k-1)*NofC+1 : k*NofC,1) =...
linspace(bulkpar.MsBsDistance(k),bulkpar.MsBsDistance(k+1),NofC)';
end

% Note, not correct!

```

```

bulkpar_evo.Phi_LOS = bulkpar.Phi_LOS(1);

%% Call for channel matrix generation
for k=1:NofSeg
    PCind = ones(1,NofSeg); % Propagation condition index, all
ones

    % CHANNEL MATRIX GENERATION
    [Htmp delta_t FinalPhases] = wim_core( wimpar,...
        linkpar,...
        bulkpar,...
        BsGainPatternInterpolated,...
        BsGain_Theta_BS,... % gain of LOS path
        MsGainPatternInterpolated,...
        MsGain_Theta_MS,... % gain of LOS path
        0,... % offset time (not used
typically)
        BsGainIsScalar,...
        MsGainIsScalar,...
        PCind);

    H(PCind) = Htmp;

    % final phases
    bulkpar.subpath_phases(PCind, :, :, :) = FinalPhases;
    % time sampling grid
    bulkpar.delta_t(PCind) = delta_t;
end

end % end IF time evolution

% If path loss and shadowing are to be multiplied into the output
if(strcmpi(PathLossModelUsed, 'yes'))

H=cellfun(@(x,y) (x*y), H, num2cell(sqrt(bulkpar.path_losses)), 'UniformO
utput', false);
end;
if(strcmpi(ShadowingModelUsed, 'yes'))

H=cellfun(@(x,y) (x*y), H, num2cell(sqrt(bulkpar.shadow_fading)), 'Unifor
mOutput', false);
end;

% GENERATE OUTPUT
no=nargout;

if strcmpi(wimpar.IntraClusterDsUsed, 'yes')
    bulks = bulkpar;
    bulkpar.delays =
repmat(NaN, size(bulks.delays, 1), size(bulks.delays, 2) + 4);
    bulkpar.path_powers =
repmat(NaN, size(bulks.delays, 1), size(bulks.delays, 2) + 4);
    for link = 1:NumLinks
        B5ind = find((linkpar.ScenarioVector >= 7
linkpar.ScenarioVector <= 9));
        if link == B5ind

```



```

        bulkpar.delays(link,1:length(bulks.delays(link,:))) =
bulks.delays(link,:);
        bulkpar.path_powers(link,1:length(bulks.delays(link,:)))
= bulks.path_powers(link,:);
        else
            P = bulks.path_powers(link,:); P(isnan(P)) = -Inf;
            SortedPower = fliplr(sort(P,2)); P(isinf(P)) = NaN;
            %SubClustInd = P > SortedPower(3); % Index of the cluster
to be divided
            % Find index to the clusters to be divided
            [tmp tmpind] = sort(P); SubClustInd = tmpind(end-1:end);
            SubClustInd = zeros(1,size(P,2)); SubClustInd(tmpind(end-
1:end)) = 1;
            SubClustDelays = [0 5e-009 10e-009]';
            taus =
repmat(bulks.delays(link,:),length(SubClustDelays),1)
+
repmat(SubClustDelays,1,length(P));
            taus(2:3,~SubClustInd) = NaN;
            taus = reshape(taus,1,length(SubClustDelays)*size(P,2));
            taus(isnan(taus)) = [];
            powers =
repmat(bulks.path_powers(link,:),length(SubClustDelays),1);
            SubClustP = [10/20 6/20 4/20]';
            powers(:,find(SubClustInd==1)) =
            powers(:,find(SubClustInd==1)).*repmat(SubClustP,1,2);
            powers(2:3,~SubClustInd) = NaN;
            powers = reshape(powers,1,length(SubClustP)*size(P,2));
            powers(isnan(powers)) = [];
            IndexOfDividedClust(link,:) = find(SubClustInd==1);

            if (no>1)
                delays(link,1:length(taus)) = taus;
                if (no>2)
                    bulkpar.delays(link,1:length(taus)) = taus;
                    bulkpar.path_powers(link,1:length(taus)) = powers;
                    bulkpar.IndexOfDividedClust = IndexOfDividedClust;
                    bulkpar.aods = aods;
                    bulkpar.aoas = aoas;
                    full_output = bulkpar;
                end
            end
            clear taus powers
        end
    end
end

else
    if (no>1)
        delays = bulkpar.delays;
        if (no>2)
            if (sum(bulkpar.propag_condition)>0) % At least one
LOS links included
                bulkpar.Phi_LOS=FinalPhases_LOS;
                full_output=bulkpar;
            else % Only NLOS links included
                full_output=bulkpar;
            end
        end
    end
end
end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function that maps inputs from (-inf,inf) to (-180,180)
function y=prin_value(x)
y=mod(x,360);
y=y-360*floor(y/180);

```

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει σαν αποτέλεσμα τον πίνακα H [WIN4]. Το μέγεθος αυτού εξαρτάται από τον αριθμό των κινητών σταθμών, τον αριθμό των σταθμών βάσης, τον αριθμό των χρονικών δειγμάτων και τον αριθμό των μονοπατιών[WIN4]. Ο πίνακας αυτός επιστρέφει μια δομή που περιλαμβάνει τις γωνίες άφιξης και αναχώρησης, τις καθυστερήσεις μονοπατιών, τις σχετικές τιμές ισχύος, τις τελικές τιμές των φάσεων, τις απώλειες μονοπατιών, τις διαλείψεις λόγω σκίασης, την απόσταση μεταξύ των κινητών σταθμών και των σταθμών βάσης και τη χρονική απόσταση μεταξύ των δειγμάτων [WIN4]. Για την περίπτωση οπτικής επαφής δίνεται επιπλέον ο συντελεστής K της κατανομής Rice και οι τελικές φάσεις μονοπατιών οπτικής επαφής [WIN4]. Για την εξαγωγή αυτής της δομής γίνεται αρχικοποίηση του πίνακα με μόνη διαφορά ότι οι φάσεις είναι οι αρχικές και όχι τελικές και ότι δε λαμβάνονται οι χρονικές αποστάσεις μεταξύ δειγμάτων αλλά γίνεται ο υπολογισμός τους κάθε φορά που καλείται η συνάρτηση [WIN4].

#### 4.2.44 *wim\_core.m*

```

%WIM_CORE Channel coefficient computation for a geometric channel
model
%
% [H DELTA_T FINAL_PHASES
FINAL_PHASES_LOS]=WIM_CORE(WIMPAR, LINKPAR, BULKPAR, BSGAIN, BSGAIN_LOS, M
SGAIN, MSGAIN_LOS, OFFSET_TIME, BSGAINISSCALAR, MSGAINISSCALAR, PCind)
% This is the wim_core aka the big for loop. It implements the
formula in [2, Eq. 4.14, 4.17, 4.19].
%
% Outputs:
%

```

```

% H - cell array of size K
% H{i} - [UxSxNxT] array of channel coefficients
% DELTA_T - time sampling intervals (in seconds) for all
links
% FINAL_PHASES - final phases of all subpaths in degrees over (-
180,180)
% FINAL_PHASES_LOS- final phases for LOS paths in degrees over (-
180,180)
%
% Inputs:
%
% WIMPAR - input struct, see WIMPARSET
% LINKPAR - input struct, see LAYOUT2LINK and LAYOUTPARSET
% ANTPAR - input struct, see ANTPARSET
% BULKPAR - input BULKPAR, see GENERATE_BULK_PAR
% BSGAIN - {K}[SxNxM] cell array of interpolated antenna
field
patterns (complex)
% BSGAIN_LOS - {K}[S] cell array of interpolated antenna field
patterns
patterns (complex) for LOS paths. Only used with the LOS
option; it is set to scalar otherwise.
% MSGAIN - {K}[UxNxM] cell array of interpolated antenna
field
patterns (complex)
% MSGAIN_LOS - {K}[U] cell array of interpolated antenna field
patterns
patterns (complex) for LOS paths. Only used with the LOS
option; it is set to scalar otherwise.
% OFFSET_TIME - time offset added to the initial phase (set to
zero by default)
% BSGAINISSCALAR - this is 1 if BsGain is uniform over azimuth, 0
otherwise.
% MSGAINISSCALAR - this is 1 if MsGain is uniform over azimuth, 0
otherwise.
%
% With 'polarized' option:
%
% BSGAIN - [KxSx2xNxM] array of interpolated antenna field
patterns (complex), where the third dimension
are
the patterns for [V H] polarizations.
% MSGAIN - [KxUx2xNxM] array of interpolated antenna field
patterns (complex), where the third dimension
are
the patterns for [V H] polarizations.
%
%
% Ref. [1]: 3GPP TR 25.996 v6.1.0 (2003-09)
% [2]: D1.1.2 V1.2, "WINNER II channel models"
%
% Authors: Giovanni Del Galdo (TUI), Marko Milojevic (TUI), Jussi
Salmi (HUT),
% Christian Schneider (TUI), Jari Salo (HUT), Pekka Kyösti (EBIT),
% Daniela Laselva (EBIT), Lassi Hentilä (EBIT), Martin Köske (TUI)

% Bug fixes:
% Erroneus variable name s changed to u on line 573. Caused error
with
% asymmetric MIMO configuration (e.g.2x4) & CDL models or B5
scenario. (22.8.2006 PekKy)

```

```

% Polarised arrays, non-ANSI-C version, power scaling changed
harmonised
% with ANSI-C version on rows 419-420, 462-468. (22.8.2006 PekKy)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
function [H, delta_t, output_SubPathPhases, output_Phi_LOS] =
wim_core
(wimpar,linkpar,bulkpar,BsGain,BsGain_Theta_BS,MSGain,MSGain_Theta_MS
,offset_time, BsGainIsScalar, MsGainIsScalar,PCind)
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%
% offset_time [samples] = defines the starting point (in samples) of
the
% time axis
% Examples: you want to calculate 1000 time samples calling the
wim_core
% twice (everytime for 500 timesamples)
% H1 = wim_core (... , 0)
% H2 = wim_core (... , 500)
%

DEBUG_MODE_FLAG = 0;
PROFILE_MODE_FLAG = 0;
DISPLAY_MODE_FLAG = 0;

N = size(bulkpar.delays,2); % number of paths
T = wimpar.NumTimeSamples; % number of time samples
K = length(PCind); % number of links
M = wimpar.NumSubPathsPerPath; % number of subpaths

% AnsiC_core = wimpar.AnsiC_core;

% intra-cluster delays spread added based on the D1.1.1
if strcmpi(wimpar.IntraClusterDsUsed,'yes')
    AnsiC_core = 'no'; % NOTE! IntraClusterDsUsed forces
    AnsiC_core = 'no', change this after scm_mex_core.c is modified

    NumRaysPerSubCluster = [10,6,4];
    RayOrder = [1,2,3,4,5,6,7,8,19,20,9,10,11,12,17,18,13,14,15,16];
    P = bulkpar.path_powers; P(isnan(P))=-Inf;
    SortedPower = fliplr(sort(P,2)); P(isinf(P))=NaN;
    for xx = 1:size(P,1)
        SubClusterInd(xx,:) = P(xx,:) > SortedPower(xx,3); % Index of
the cluster to be divided
    end

else % special case, one midpath only
    LM = 1:M;
    LN=M;
    L = length(LN);
    P = bulkpar.path_powers;

```

```

        SubClusterInd = zeros(size(P));
end

% initialize H and determine number of array elements for each link
H = cell(1,K);
U=zeros(1,K); % number of Rx(Ms) elements
S=zeros(1,K); % number of Tx(Bs) elements
for k=1:K
    U(k)=size(MsGain{PCind(k)},1); S(k)=size(BsGain{PCind(k)},1);
    H{k}=zeros(U(k),S(k),N+4,T); %"+4" is due to 4 extra sub-clusters
end;

% Set internal parameters
speed_of_light=2.99792458e8;
wavelength=speed_of_light/wimpar.CenterFrequency;

% dummy
output_Phi_LOS = zeros(K,1);

% let's make the time axis - for that we need to check
UniformTimeSampling
% and the MSs' velocities
% Note: SampleDensity is samples per half wavelength.
if strcmp(wimpar.UniformTimeSampling,'yes')

    max_vel = max(linkpar.MsVelocity);
    delta_t = repmat(wavelength /
max_vel)/2/wimpar.SampleDensity,K,1);

else % 'UniformTimeSampling' is 'no'

    delta_t = (wavelength ./
linkpar.MsVelocity(PCind).')./2/wimpar.SampleDensity ;

end
t = repmat(delta_t,1,T).*repmat([0:T-1]+offset_time,K,1); % matrix
containing the time axes for all links [KxT]

% Time axis generation for fixed feeder links (B5 scenarios)
tmp = zeros(1,length(linkpar.ScenarioVector));
tmp(PCind) = 1;
B5ind = find((linkpar.ScenarioVector>=7 &
linkpar.ScenarioVector<=9).*tmp);

if length(B5ind)>0
    H = zeros(U,S,N+4,T,K); %"+4" is due to 4 extra sub-clusters
(even though not used with B5)
    SubClusterInd(B5ind,:) =
zeros(length(B5ind),size(bulkpar.delays,2));
    AnsiC_core = 'no'; % NOTE! B5 forces AnsiC_core = 'no',
change this after scm_mex_core.c is modified
    for k=1:length(B5ind)
        B5ind2(k) = find((B5ind(k)==PCind));
    end
    % not final
    wimpar.TimeVector=linspace(0,wimpar.end_time,T);
    % not final

    t(B5ind2,:) = repmat(wimpar.TimeVector,length(B5ind),1);%KTH

```

```

    linkpar.MsVelocity(B5ind)=zeros(length(B5ind),1);
    delta_t(B5ind2)= repmat(wimpar.TimeVector(2)-
wimpar.TimeVector(1),length(B5ind),1); %% Dummy value
end

k_CONST = 2*pi/wavelength;      % wave number

if ~strcmpi(wimpar.PolarisedArrays,'yes')

    if DISPLAY_MODE_FLAG
        disp('entering main loop...');
    end

    output_SubPathPhases = zeros(K,N,M);

    for kk = 1:K % cycles links
        k = PCind(kk);
        for u = 1:U(kk) % cycles (MS) antennas

            for s = 1:S(kk) % cycles Tx (BS) antennas

                LN_index = 0; %
                for n = 1:N % cycles paths

                    LM_index = 0; %

                    if SubClusterInd(kk,n)==1; L=3; LM = RayOrder; LN
= NumRaysPerSubCluster;
                        path_powers = [P(kk,n)*10/20 P(kk,n)*6/20
P(kk,n)*4/20];
                    else L=1; LN=M; LM=1:M;
                        path_powers = P(kk,n);
                    end

                    for km = 1:L % cycles subclusters

                        LN_index = LN_index+1; %Running index of the
clusters (including sub-clusters)

                        temp = zeros(M,T); % oversized, just to
keep it always the same size

                        for m=1:LN(km) % cycles rays

                            LM_index = LM_index+1; % Running index of
the rays

                            % Calculate Doppler frequency nu of
scatterer m
                            if sum(k==B5ind) % IF current link is
B5
                                nu = bulkpar.scatterer_freq(k,n,m);
                            else % IF not B5
                                nu = (linkpar.MsVelocity(k) *
cos((bulkpar.aoas(k,n,LM(LM_index))
linkpar.MsDirection(k))*pi/180))/wavelength;
                            end

```

```

                                temp(m,:) = BsGain{k}(s,1,n,LM(LM_index))
*...
                                exp(j*(...
                                k_CONST *
BsGain{k}(s,3,n,LM(LM_index)) +...
                                (bulkpar.subpath_phases(k,n,LM(LM_index))*pi/180)+...
                                k_CONST *
MsGain{k}(u,3,n,LM(LM_index)) ...
                                )) *...
                                MsGain{k}(u,1,n,LM(LM_index)) *
exp(1j*2*pi*nu * t(kk,:));

                                end % rays

                                H{kk}(u,s,LN_index,:) = sqrt(path_powers(km)
/ LN(km)) * sum(temp,1);

                                end % subclusters

                                end % paths

                                end % Tx antennas
                                end % Rx antennas
                                end % links

                                for kk = 1:K % cycles links % Of course the for loop could be
avoided.
                                k = PCind(kk);
                                for n = 1:N % cycles paths
                                for m=1:M % cycles supaths

                                % SIMPLE LOOP
                                output_SubPathPhases(kk,n,m) = k_CONST *
linkpar.MsVelocity(k) * cos(bulkpar.aoas(k,n,m) -
linkpar.MsDirection(k))*pi/180) * (delta_t(kk)*T);

                                end % subpaths
                                end % paths
                                end % links

                                output_SubPathPhases = prin_value((output_SubPathPhases*180/pi +
bulkpar.subpath_phases(PCind, :, :)));

else % it's polarized!
if DISPLAY_MODE_FLAG
disp('entering polarized option...');
end

output_SubPathPhases = zeros(K,4,N,M);

% Set polarisation matrix powers according to XPRs
% Assume Pvv+Pvh=Phh+Phv=1. In this case
% Pvv = bulkpar.xprV./(1+bulkpar.xprV);

```

```

%          Pvh = 1-bulkpar.xprV./(1+bulkpar.xprV);
%          Phh = bulkpar.xprH./(1+bulkpar.xprH);
%          Phv = 1-bulkpar.xprH./(1+bulkpar.xprH);
% Pxy replaced by R_ni (8.5.2006 PekKy)
r_n1 = 1 ./ bulkpar.xpr;
r_n2 = r_n1; % D1.1.2 definition
%r_n2 = 1 ./ bulkpar.xprH;

% BsGain has must have size: [K x S x 2 x N x M]
% the first dimension in the polarization must be vertical
%
% MsGain has must have size: [K x U x 2 x N x M]
% the first dimension in the polarization must be vertical
%
% subpath_phases has size: [K x 4 x N x M]
% bulkpar.xpd has size: [K,2,N]
temp = zeros(M,T);
for kk = 1:K % cycles links
    k = PCind(kk);
    for u = 1:U(kk) % cycles (MS) antennas

        for s = 1:S(kk) % cycles Tx (BS) antennas

            LN_index = 0; %
            for n = 1:N % cycles paths

                LM_index = 0; %

                if SubClusterInd(kk,n)==1; L=3; LM = RayOrder; LN
= NumRaysPerSubCluster;
                    path_powers = [P(kk,n)*10/20 P(kk,n)*6/20
P(kk,n)*4/20];
                else L=1; LN=M; LM=1:M;
                    path_powers = P(kk,n);
                end

                for km = 1:L % cycles midpaths

                    LN_index = LN_index+1; %Running index of the
clusters (including sub-clusters)

                    temp = zeros(M,T); % oversized, just to
keep it always the same size

                    for m=1:LN(km) % cycles subpaths

                        LM_index = LM_index+1;

                                %
                                %
Assume Pvv+Pvh=Phh+Phv=1. In this case % Commented 22.8.2006,
PekKy
                                %
                                %
Pvv=xprV/(1+xprV) and Pvh=1-xprV/(1+xprV),
                                %
                                %
Phh=xprH/(1+xprH) and Phv=1-xprH/(1+xprH)
                                %
                                %
temp(m,:) = [BsGain(k,s,1,n,LM(LM_index))
BsGain(k,s,2,n,LM(LM_index))] * ...

```



```

                                %
[                                sqrt(Pvv(k,n,m))                                *
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,1,n,LM(LM_index))*pi/180),                    *
sqrt(Pvh(k,n,m))                                                            *
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,2,n,LM(LM_index))*pi/180);...                %
sqrt(Phv(k,n,m))                                                            *
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,3,n,LM(LM_index))*pi/180),                    *
sqrt(Phh(k,n,m))                                                            *
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,4,n,LM(LM_index))*pi/180)] *...              %
[MsGain(k,u,1,n,LM(LM_index)); MsGain(k,u,2,n,LM(LM_index))] * ...          %
exp(j * (k_CONST * ds * sin((bulkpar.aods(k,n,LM(LM_index)))*pi/180)))      *
* ...
                                %
exp(j * (k_CONST * du * sin((bulkpar.aoads(k,n,LM(LM_index)))*pi/180)))    *
* ...
                                %
exp(j * k_CONST * linkpar.MsVelocity(k) *                                  *
cos((bulkpar.aoads(k,n,LM(LM_index)) - linkpar.MsDirection(k))*pi/180)    *
* t(k,:));
                                % Calculate Doppler frequency nu of
scatterer m
                                if sum(k==B5ind) % IF current link is
B5
                                nu = bulkpar.scatterer_freq(k,n,m);
                                else % IF not B5
                                nu = (linkpar.MsVelocity(k) *
cos((bulkpar.aoads(k,n,LM(LM_index)) -
linkpar.MsDirection(k))*pi/180))/wavelength;
                                end
                                temp(m,:) =
[BsGain{k}(s,1,n,LM(LM_index)) BsGain{k}(s,2,n,LM(LM_index))] * ...
[ exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,1,n,LM(LM_index))*pi/180) ,
sqrt(r_n1(k,n,m)) *
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,2,n,LM(LM_index))*pi/180);...
sqrt(r_n2(k,n,m)) *
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,3,n,LM(LM_index))*pi/180) ,
exp(j*bulkpar.subpath_phases(k,4,n,LM(LM_index))*pi/180)] *...
[MsGain{k}(u,1,n,LM(LM_index));
MsGain{k}(u,2,n,LM(LM_index))] * ...
BsGain{k}(s,3,n,LM(LM_index))) * ...
exp(j * (k_CONST *
MsGain{k}(u,3,n,LM(LM_index))) * ...
exp(j * (k_CONST *
exp(1j*2*pi*nu * t(kk,:)) );

                                end % rays

                                H{kk}(u,s,LN_index,:) = sqrt(path_powers(km)
/ LN(km)) * sum(temp,1);

                                end % subclusters
                                end % paths
                                end % Tx antennas

```

```

        end % Rx antennas
    end % links

    %           for k = 1:K % cycles links % Of course the for loop
could be avoided.
    %           for n = 1:N % cycles paths
    %           for m=1:M % cycles supaths
    %
    %
    %           output_SubPathPhases(k,:,n,m) = (k_CONST *
linkpar.MsVelocity(k) * cos((bulkpar.aoas(k,n,m) -
linkpar.MsDirection(k))*pi/180) * (t(k,end)+delta_t(k)) * ones(1,4);
    %
    %           end % subpaths
    %           end % paths
    %           end % links
    %
    %
    %           output_SubPathPhases =
prin_value((output_SubPathPhases*180/pi + bulkpar.subpath_phases));

    for kk = 1:K % cycles links % Of course the for loop could be
avoided.
        k = PCind(kk);
        for n = 1:N % cycles paths
            for m=1:M % cycles supaths

                % SIMPLE LOOP
                output_SubPathPhases(kk,:,n,m) = (k_CONST *
linkpar.MsVelocity(k) * cos((bulkpar.aoas(k,n,m) -
linkpar.MsDirection(k))*pi/180) * (delta_t(kk)*T)) * ones(1,4);

                end % subpaths
            end % paths
        end % links

        output_SubPathPhases = prin_value((output_SubPathPhases*180/pi +
bulkpar.subpath_phases(PCind, :, :, :)));

end % is it polarized?

%%% LOS OPTION %%%

% index to LOS but not B5 links
LosNonB5ind =
find(bulkpar.propag_condition'.*(linkpar.ScenarioVector<7
|
linkpar.ScenarioVector>9));

% If LOS, but not B5 link and not 'FixedPDP'
if (bulkpar.propag_condition(PCind(1))==1) & length(LosNonB5ind)>0

    % Take the values of K factors
    K_factors = bulkpar.Kcluster; %%K_factors;

```

```

ThetaBs      = linkpar.ThetaBs; ThetaBs=ThetaBs(:).';
ThetaMs      = linkpar.ThetaMs; ThetaMs=ThetaMs(:).';

output_Phi_LOS      = zeros(length(linkpar.ScenarioVector),1);

for kk = 1:length(LosNonB5ind) % cycles links
    k = LosNonB5ind(kk);
    k_ind = find(k==PCind); % index to current LOS/NLOS links
which are LOS but not B5
    output_Phi_LOS(k,1) = k_CONST * linkpar.MsVelocity(k) *
cos((ThetaMs(k) - linkpar.MsDirection(k))*pi/180) *
(t(k_ind,end)+delta_t(k_ind));
    for u = 1:U(kk) % cycles (MS) antennas

        for s = 1:S(kk) % cycles (BS) antennas

            temp = BsGain_Theta_BS{k}(s,1) * exp(j * k_CONST *
BsGain_Theta_BS{k}(s,3)).* ...
            MsGain_Theta_MS{k}(u,1) * exp(j * (k_CONST *
MsGain_Theta_MS{k}(u,3) + bulkpar.Phi_LOS(k,1) * pi/180)) * ...
            exp(j * k_CONST * linkpar.MsVelocity(k) *
cos((ThetaMs(k) - linkpar.MsDirection(k))*pi/180) *
t(find(k==PCind),:));

            H{k_ind}(u,s,1,:) = (sqrt(1/(K_factors(k)+1))) *
squeeze(H{k_ind}(u,s,1,:)) + sqrt(K_factors(k)/(K_factors(k)+1)) *
temp.').';
        end % Rx antennas

    end % Tx antennas

    H{k_ind}(:, :, 2:end, :) = sqrt(1/(K_factors(k)+1)) *
H{k_ind}(:, :, 2:end, :);
end % links

    output_Phi_LOS      = prin_value((output_Phi_LOS*180/pi +
bulkpar.Phi_LOS));
end % if 'LOS' propagation condition

%% B5 links %%
% direct rays are added and cluster powers adjusted
% according to cluster-wise K-factors given in [2, tables 7.17-24]
%
% index to links which are LOS and B5
LosB5ind = find(bulkpar.propag_condition'.*(linkpar.ScenarioVector>=7
& linkpar.ScenarioVector<=9));

if (bulkpar.propag_condition(PCind(1))==1) & length(LosB5ind)>0

    Kcluster = bulkpar.Kcluster; % read cluster-wise K-
factors

    % output_Phi_LOS      = zeros(K,1);

    for kk = 1:length(LosB5ind) % cycles links

```

```

        k = LosB5ind(kk);
        k_ind = find(k==PCind);      % index to current LOS/NLOS links
which are LOS and B5
        for u = 1:U % cycles (MS) antennas
            du = antpar.MsElementPosition(u)*wavelength;
            for s = 1:S % cycles (BS) atennas

                n = 1;      % index to cluster with a direct ray, in
WIM2 always 1st cluster
                ds = antpar.BsElementPosition(s)*wavelength;

                aod_direct      =      bulkpar.aods(k,n,1)-
bulkpar.aods(k,n,2);      % AoD for the direct ray (middle)
                aoa_direct      =      bulkpar.aoas(k,n,1)-
bulkpar.aoas(k,n,2);      % AoA for the direct ray (middle)

                % antenna gain of direct ray is approximated by
linear interpolation
                BsGain_direct = mean(BsGain(k,s,n,1:2));
                MsGain_direct = mean(MsGain(k,u,n,1:2));      %
22.8.2006 PekKy, index s corrected to u

                nu = 0;      % LOS ray has always 0 Hz Doppler in B5
scenarios

                temp = BsGain_direct * exp(j * k_CONST * ds *
sin( aod_direct*pi/180)) * ...
                    MsGain_direct * exp(j * (k_CONST * du *
sin( aoa_direct*pi/180 ) + bulkpar.Phi_LOS(k,1) * pi/180 )) * ...
                    exp(1j*2*pi*nu * t(k_ind,:) );

                H(u,s,n,:,k_ind) = (sqrt(1/(Kcluster(k,1)+1)) *
squeeze(H(u,s,n,:,k_ind)) + sqrt(Kcluster(k,1)/(Kcluster(k,1)+1)) *
temp.').';

                output_Phi_LOS(k_ind,n) = 0;

            end % Rx antennas
        end % Tx antennas

    end % links

    output_Phi_LOS(k_ind,:) =
prin_value((output_Phi_LOS(k_ind, :))*180/pi +
bulkpar.Phi_LOS(k_ind, :));

end % end of B5 part

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%      That's all folks !!!
%%
%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% A function that maps inputs from (-inf,inf) to (-180,180)

```

```
function y=prin_value(x)
y=mod(x,360);
y=y-360*floor(y/180);
```

Η συνάρτηση αυτή επιστρέφει το αποτέλεσμα των τύπων 4.18, 4.21, 4.25. Επιστρέφει λοιπόν τον πίνακα και τις τελικές φάσεις [WIN4]. Οι εισοδοί της συνάρτησης προέρχονται από τα αποτελέσματα άλλων συναρτήσεων και τα κέρδη των κεραιών των σταθμών βάσης και των τελικών σταθμών σε συνθήκες οπτικής και μη οπτικής επαφής [WIN4].

#### **4.2.45 *wimparset.m***

Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται για να ορίσει κάποιες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται σε συναρτήσεις του μοντέλου WINNER [WIN4]. Οι παράμετροι αυτοί είναι το είδος του σεναρίου, το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται στην περίπτωση B5, οι συνθήκες οπτικής ή μη οπτικής επαφής, ο αριθμός των δειγμάτων (100), ο αριθμός των δειγμάτων ανά μήκος κύματος  $\lambda/2$ , η ομοιομορφία των δειγμάτων, ο αριθμός των υπομονοπατιών ανά μονοπάτι (θεωρούνται 10 χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής), η τυχαιότητα των τιμών γωνιών άφιξης και αναχώρησης, οι τιμές ισχύος και οι καθυστερήσεις, η κεντρική συχνότητα, οι αποστάσεις μεταξύ των καθυστερήσεων, το μοντέλο απωλειών διάδοσης, το μοντέλο σκίασης, η χρήση των πινάκων πόλωσης και η χρονική εξέλιξη της προσομοίωσης [WIN4].

#### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

[3GPP1] 3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network, *Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (Release 6)*, 2003

[ITU1]ITU-R, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced, 2009

[WIN1]Pekka Kyösti, Juha Meinilä, Lassi Hentilä, Xiongwen Zhao, Tommi Jämsä, Christian Schneider, Milan Narandžić, Marco Milojević, Alhua Hong, Juha Ylitalo, Veli-Matti Holappa, Mikko Alatosava, Robert Bultitude, Yvo de Jong, Terhi Rautiainen, WINNER II Channel Models, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

[WIN3] Milan Narandžić, Pekka Kyösti, Lassi Hentilä, Martin Käske, Matlab SW documentation of WIM2 model, WINNER II, Information Society Technologies, 2008

[WIN4] WINNER Phase II Channel Model Implementation version 0.64, 2008

## **5.Αποτελέσματα μοντέλων απωλειών διάδοσης μεγάλης κλίμακας**

### **5.1 Εισαγωγή**

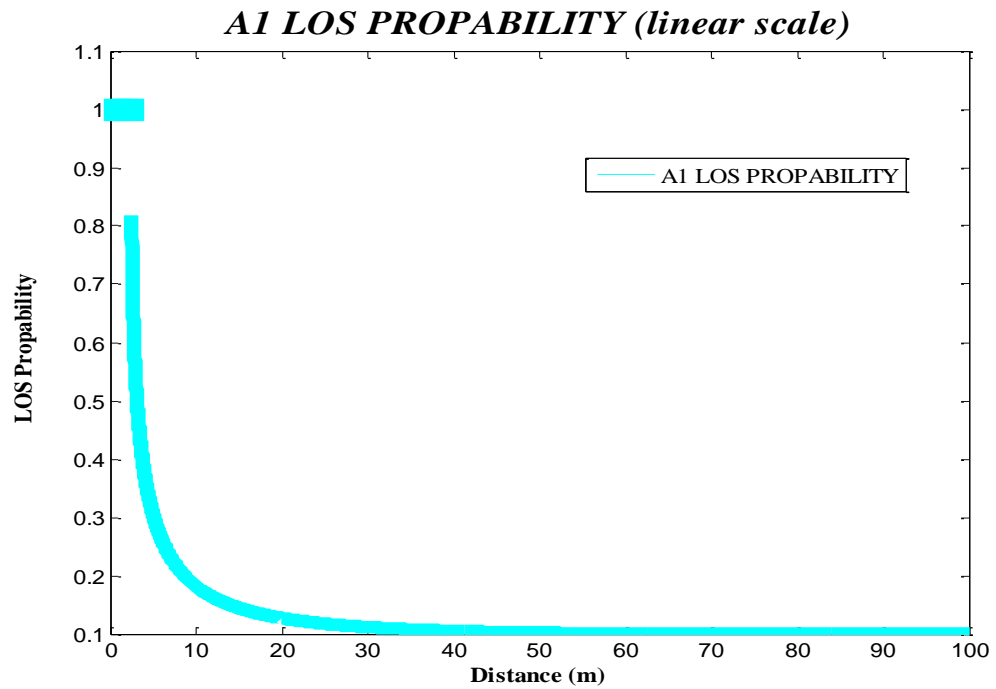
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι προσομοιώσεις για τα μοντέλα απωλειών διάδοσης μεγάλης κλίμακας. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν την πιθανότητα οπτικής επαφής μεταξύ κεραίας και τερματικού χρήστη συναρτήσει της μεταξύ τους απόστασης. Παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα όπως προέκυψαν από το MATLAB. Ένα ακόμη μοντέλο είναι οι απώλειες διάδοσης για διάφορα σενάρια προσομοίωσης συναρτήσει της απόστασης μεταξύ τους. Τέλος, εξάγονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από κάθε διάγραμμα που προκύπτει από τις προσομοιώσεις.

### **5.2 Πιθανότητα LOS**

Οι πιθανότητες για την περίπτωση που βρισκόμαστε σε οπτική επαφή δηλαδή δεν περιλαμβάνεται τίποτα μεταξύ πομπού και δέκτη, βρίσκεται από τον Πίνακα 4.2 [WIN1]. Οι γραφικές παραστάσεις δίνονται συναρτήσει της απόστασης μεταξύ πομπού και δέκτη [WIN1].

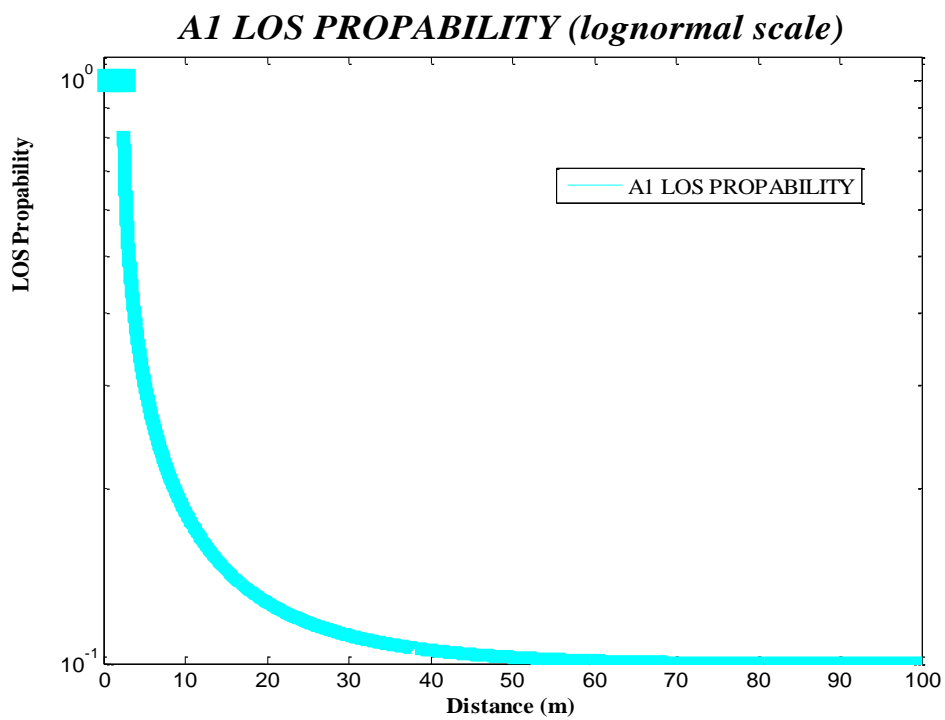
#### **5.2.1 Σενάριο A1**

Στο σενάριο αυτό βρισκόμαστε σε εσωτερικό χώρο δηλαδή εντός κτιρίων συγκεκριμένα σε γραφείο, οπότε οι αποστάσεις κάλυψης είναι μικρές [WIN1]. Πραγματοποιούμε την προσομοίωση για απόσταση μέχρι 100m για να καλύψουμε το μήκος όλου του διαδρόμου όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στο Σχήμα 5.1 όπως και στον τύπο, όπου μέχρι τα 2.5m η πιθανότητα είναι 1 και μετά μειώνεται. Είναι αναμενόμενο πως με την αύξηση της απόστασης η πιθανότητα να βρισκόμαστε σε συνθήκες οπτικής επαφής γίνεται ολοένα και μικρότερη, φτάνοντας πολύ κοντά στο μηδέν μετά τα 50m.



***Σχήμα 5.1*** Πιθανότητα οπτικής επαφής στο A1 σενάριο

Στη συνέχεια για το ίδιο περιβάλλον παίρνουμε τη λογαριθμοκανονική κλίμακα για τον άξονα των πιθανοτήτων και προκύπτει το Σχήμα 5.2.

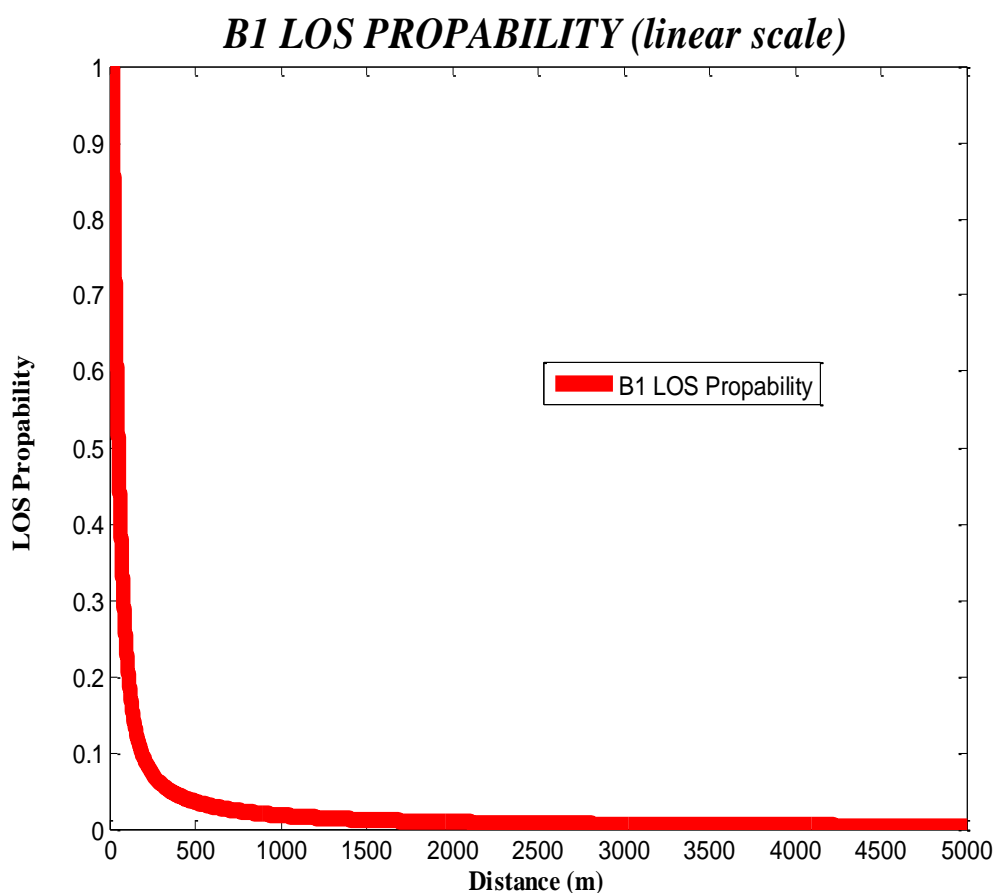


***Σχήμα 5.2*** Πιθανότητα οπτικής επαφής στο A1 σενάριο με λογαριθμοκανονική κλίμακα

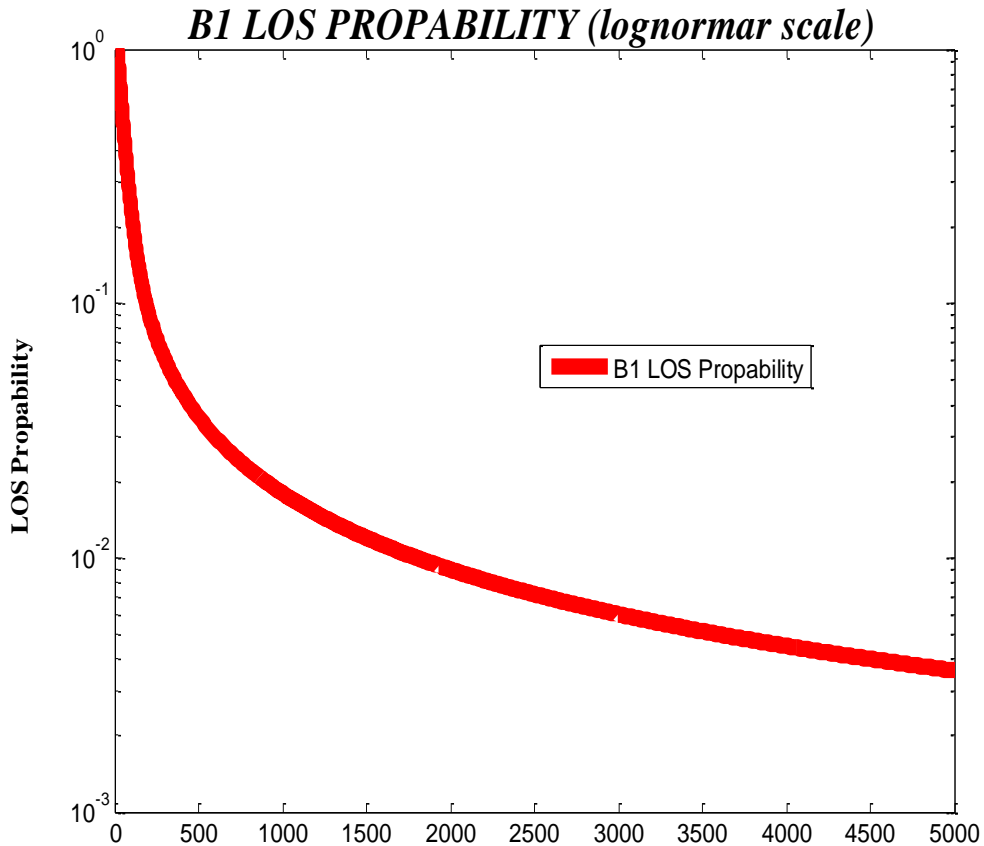


### 5.2.2 Σενάρια B1&B3

Στο σενάριο B1 βρισκόμαστε σε ένα αστικό περιβάλλον που χρησιμοποιεί μικροκυψέλες [WIN1]. Στο περιβάλλον αυτό οι κεραιές πομπού και δέκτη βρίσκονται κάτω από την οροφή των κτιρίων [WIN1]. Η οπτική επαφή διακόπτεται από φορτηγά ή λεωφορεία δηλαδή από την κίνηση στους δρόμους [WIN1]. Στο σενάριο B3 βρισκόμαστε σε αστικό περιβάλλον όπου χρησιμοποιείται hotspot εσωτερικού χώρου [WIN1]. Ο χώρος όπου εφαρμόζεται η προσομοίωση είναι ευρύς και ανοιχτός [WIN1]. Το μήκος μπορεί να φτάνει μέχρι τα 100m ενώ το πλάτος μέχρι 20m [WIN1]. Στο Σχήμα 5.3 φαίνεται η πιθανότητα να βρισκόμαστε σε οπτική επαφή για τις διάφορες αποστάσεις. Στη συνέχεια παίρνουμε από το περιβάλλον MATLAB τη λογαριθμοκανονική κλίμακα της πιθανότητας.



Σχήμα 5.3 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B1

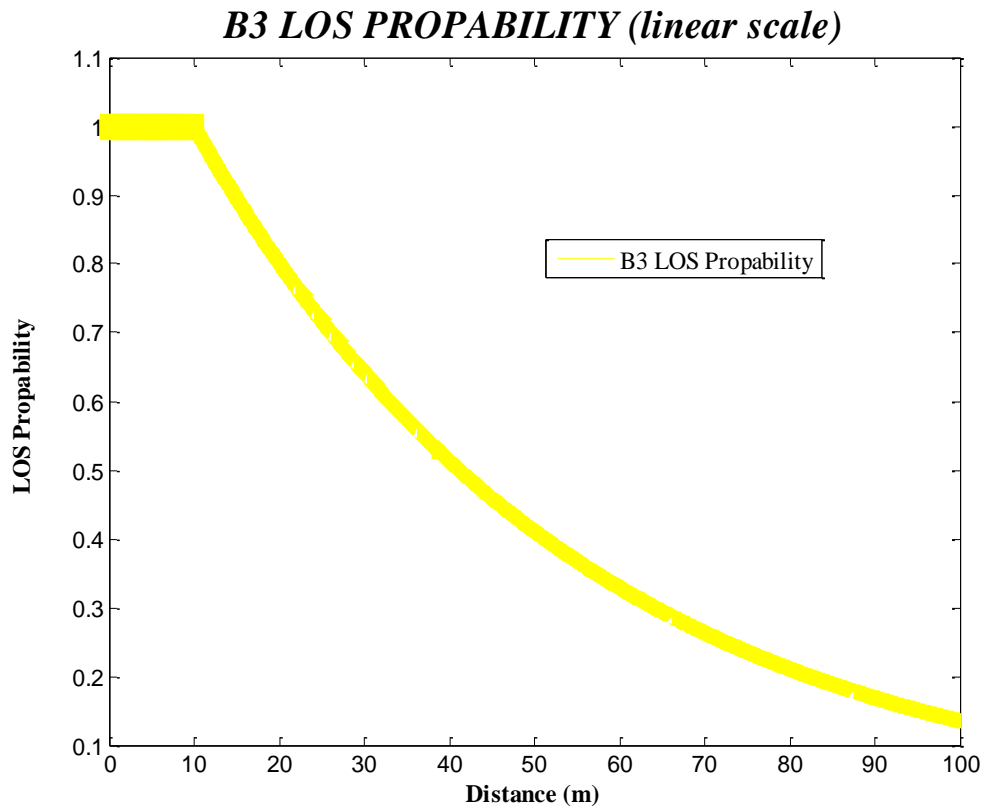


**Σχήμα 5.4** Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B1

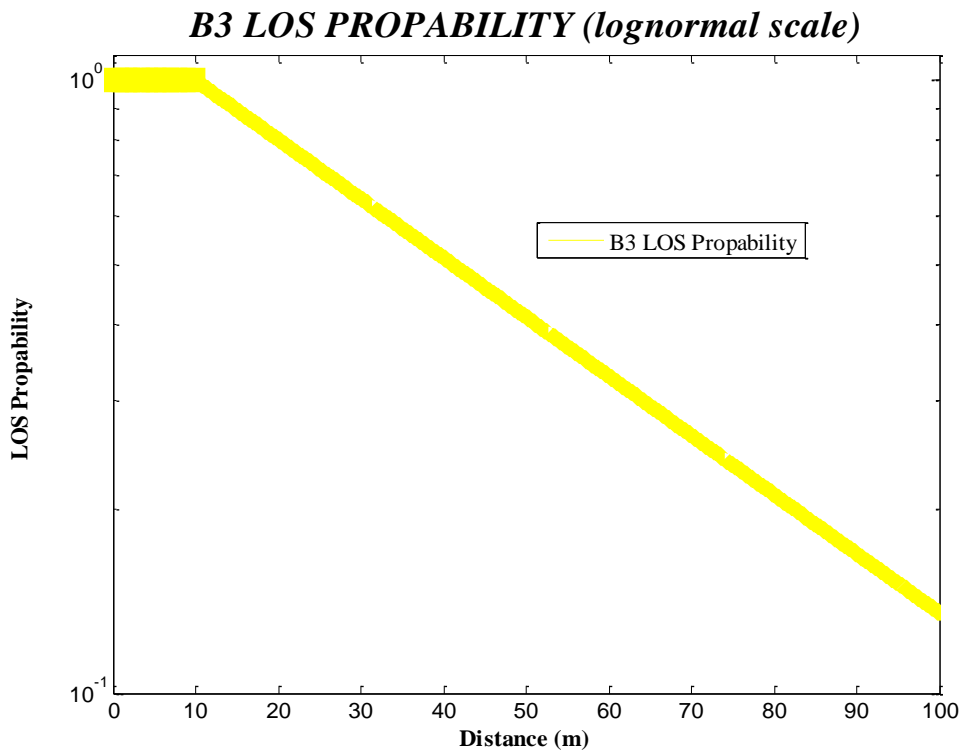
Πραγματοποιούμε προσομοιώσεις για την περίπτωση του σεναρίου B3. Στο Σχήμα 5.5 βλέπουμε την πιθανότητα οπτικής επαφής και στο Σχήμα 5.6 τη λογαριθμοκανονική κλίμακα της.

Στο περιβάλλον B1 ορίζουμε την απαιτούμενη απόσταση μέχρι 5km ενώ στο B3 μέχρι 100m [ITU1]. Είναι φανερό από το Σχήμα 5.2 πως ήδη μετά τα 500m, η πιθανότητα οπτικής επαφής είναι πάρα πολύ μικρή ενώ μετά τα 2km αγγίζει το μηδέν.

Στη συνέχεια συγκρίνουμε τις πιθανότητες οπτικές επαφής για τα σενάρια B1 και B3. Η σύγκριση δεν μπορεί να γίνει σωστά και να φανεί ξεκάθαρο το αποτέλεσμα αφού το σενάριο B1 εφαρμόζεται για απόσταση 5 km, ενώ το σενάριο B3 εφαρμόζεται για μόνο 100m. Αυτό το συμπέρασμα βγαίνει από το Σχήμα 5.7, όπου γίνεται η σύγκριση για τα σενάρια B1 και B3 για την γραφική της πιθανότητας LOS .

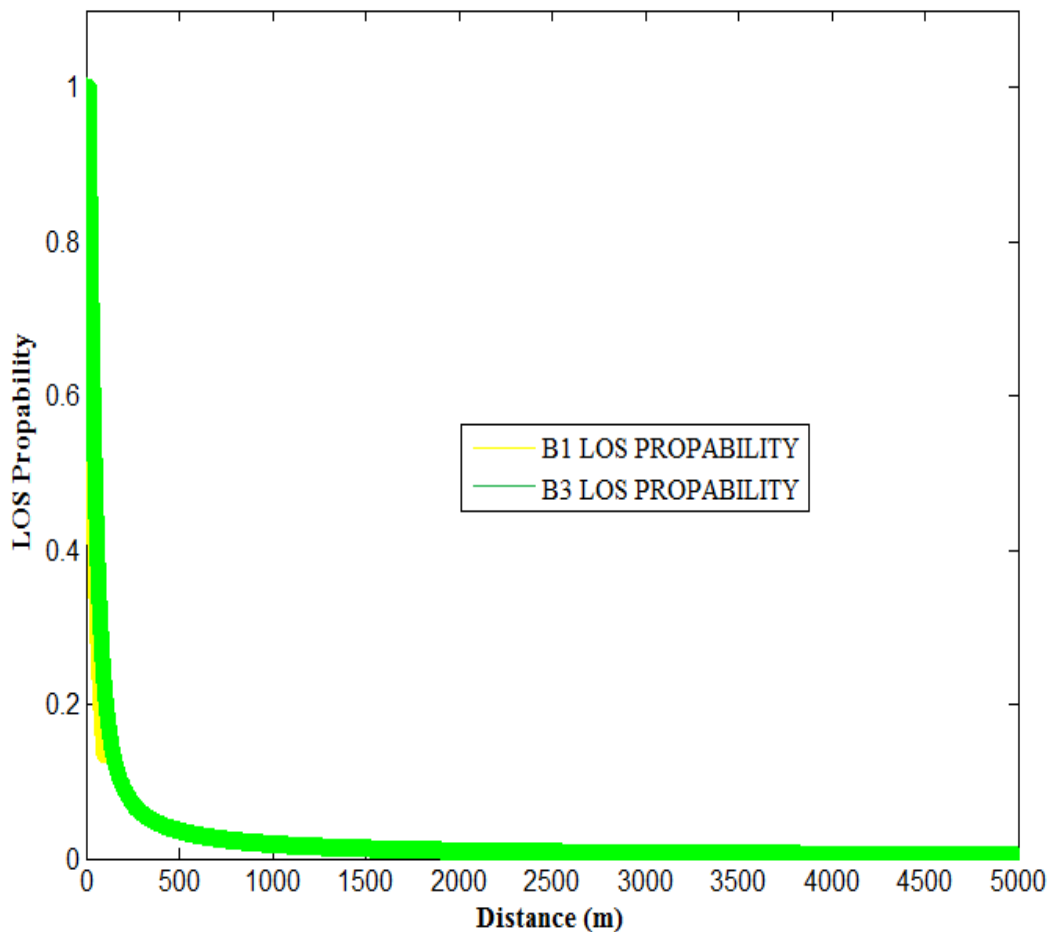


*Σχήμα 5.5* Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B3



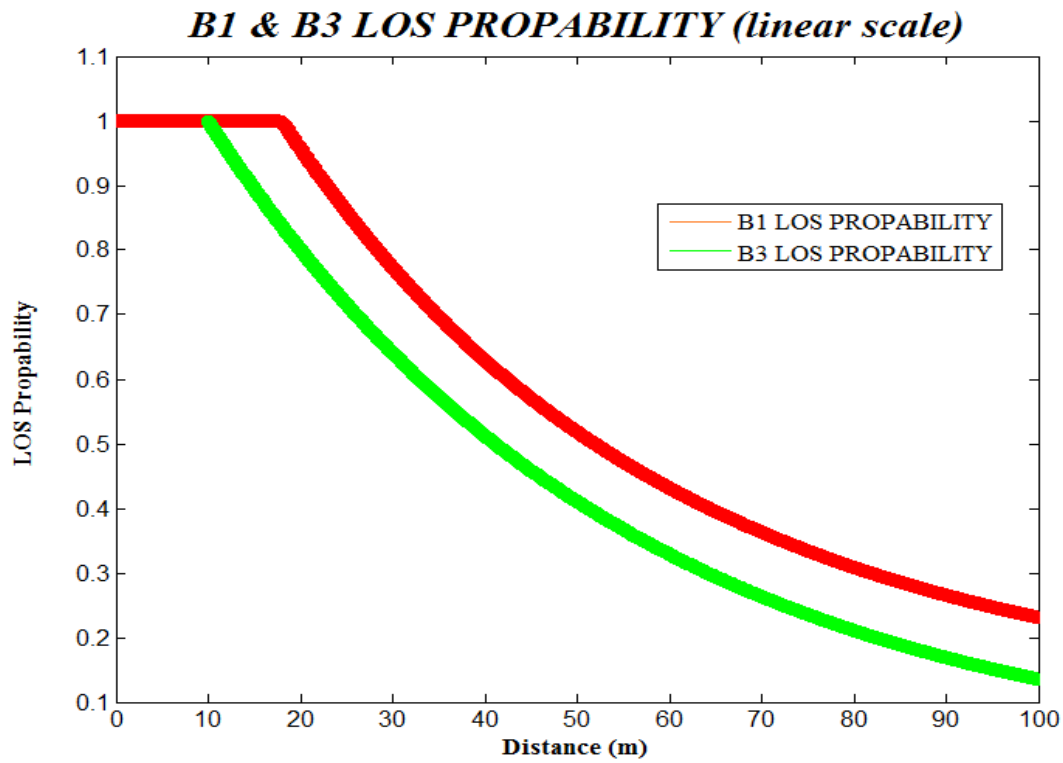
*Σχήμα 5.6* Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο B3  
Λογαριθμοκανονική κλίμακα

### ***B1 vs B3 LOS PROPABILITY***

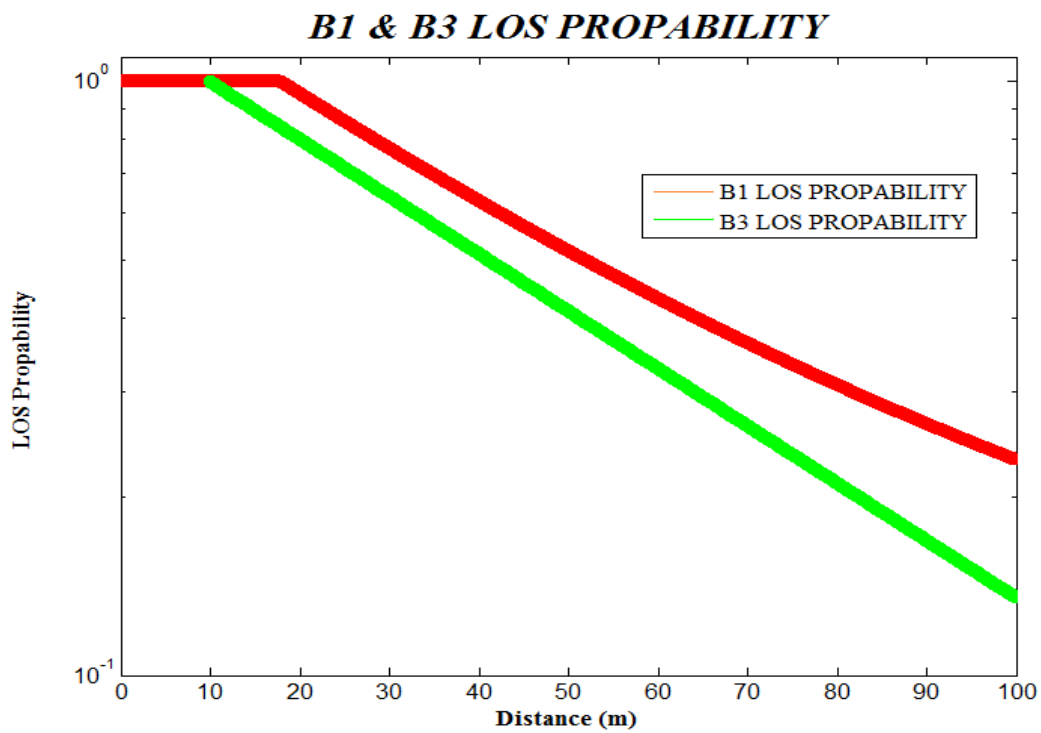


***Σχήμα 5.7 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια B1 και B3***

Κάνουμε τις προσομοιώσεις για απόσταση 100m, για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε καλύτερα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8. Η πιθανότητα να βρισκόμαστε σε οπτική επαφή με την κεραία είναι μεγαλύτερη για το σενάριο B1 από το σενάριο B3. Ενώ στο σενάριο B3 ο χώρος είναι κλειστός και ανοικτός, η πιθανότητα οπτικής επαφής είναι λίγο μικρότερη. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι στο σενάριο B1 η κεραία εκπομπός βρίσκεται ακριβώς κάτω από την οροφή των κτιρίων. Έτσι το μόνο εμπόδιο είναι τα μεγάλα οχήματα. Στο σενάριο B3 όμως το γεγονός ότι βρισκόμαστε σε ένα κλειστό χώρο με πολυκοσμία και πολλά αντικείμενα. Έτσι είναι πιο εύκολο να μπει ένα εμπόδιο ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Η σύγκριση γίνεται και στη λογαριθμοκανονική κλίμακα στο Σχήμα 5.9

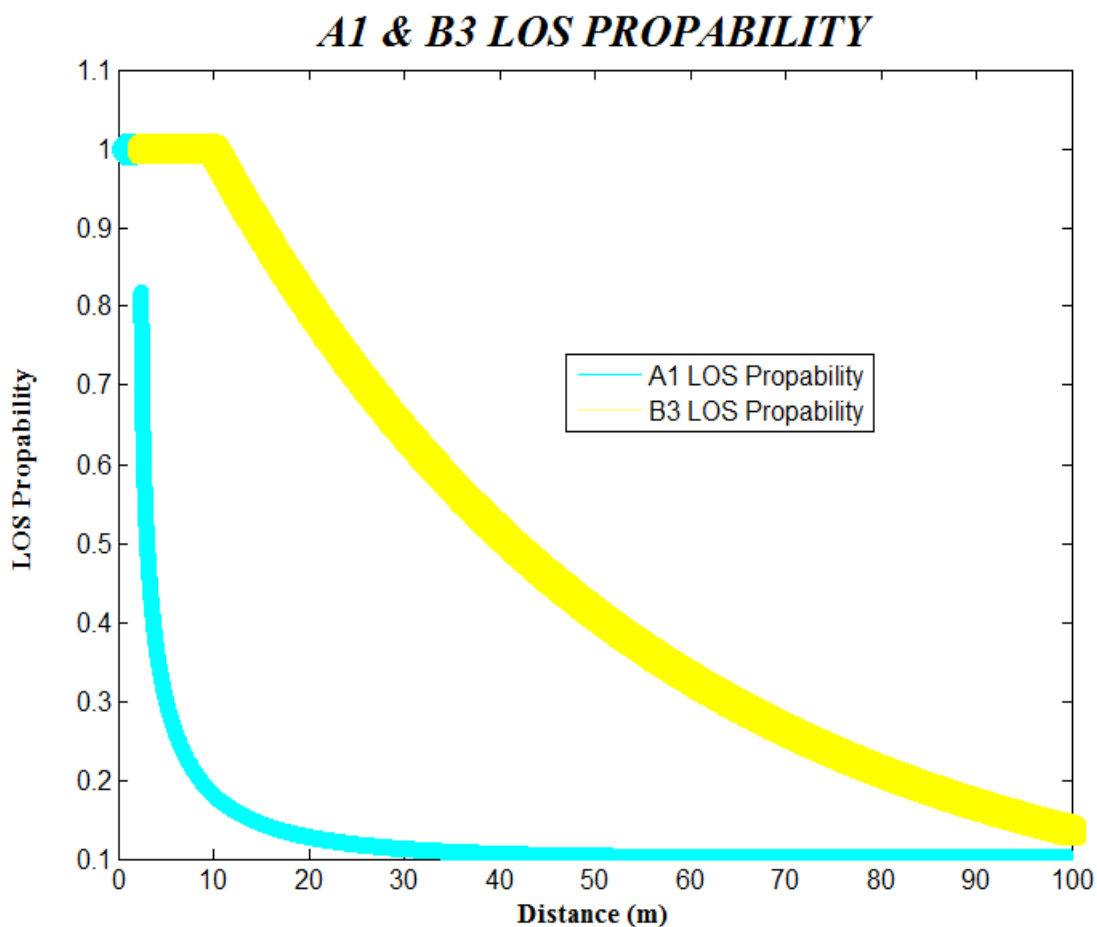


*Σχήμα 5.8* Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια B1 και B3 για απόσταση 100m

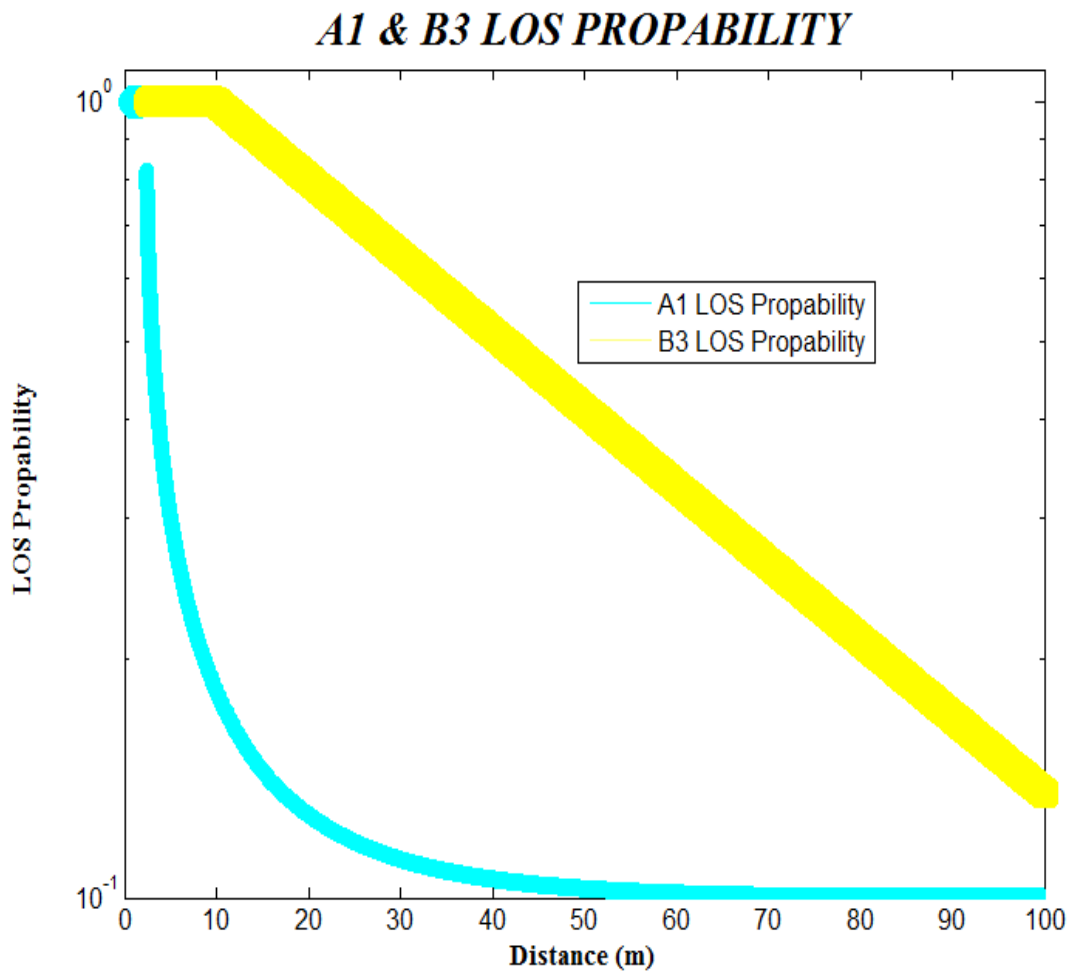


*Σχήμα 5.9* Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια B1 και B3 Λογαριθμοκανονική κλίμακα στα 100m

Στη συνέχεια μπορούμε να συγκρίνουμε τις δύο περιπτώσεις κλειστών χώρων, δηλαδή τα σενάρια A1 και B3. Για να δούμε καλύτερα την πορεία της πιθανότητας όταν βρισκόμαστε σε εσωτερικούς χώρους και έχουμε τα ίδια όρια απόστασης. Στο Σχήμα 5.10 φαίνεται η σύγκριση των δύο σεναρίων. Μέχρι τα 2.5m η πιθανότητα είναι 1 για το σενάριο A1 ενώ για το B3 η πιθανότητα αυτή συνεχίζεται μέχρι τα 10m. Από εκεί και πέρα η πιθανότητα να βρισκόμαστε σε οπτική επαφή είναι πολύ μεγαλύτερη στο σενάριο B3. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι βρισκόμαστε σε πιο ανοικτό χώρο στο σενάριο B3, ενώ στο σενάριο A1 έχουμε περισσότερους τοίχους να παρεμβάλλονται και να εμποδίζουν την οπτική επαφή. Ακόμη τα εμπόδια στο σενάριο B3 προέρχονται από αντικείμενα και από τον κόσμο που συνωστίζεται στο χώρο, ενώ στο σενάριο A1 παρεμβάλλονται τοίχοι που κάνουν την οπτική επαφή να έχει λιγότερες πιθανότητες. Ακολουθεί η σύγκριση των λογαριθμοκανονικών κατανομών στο Σχήμα 5.11.



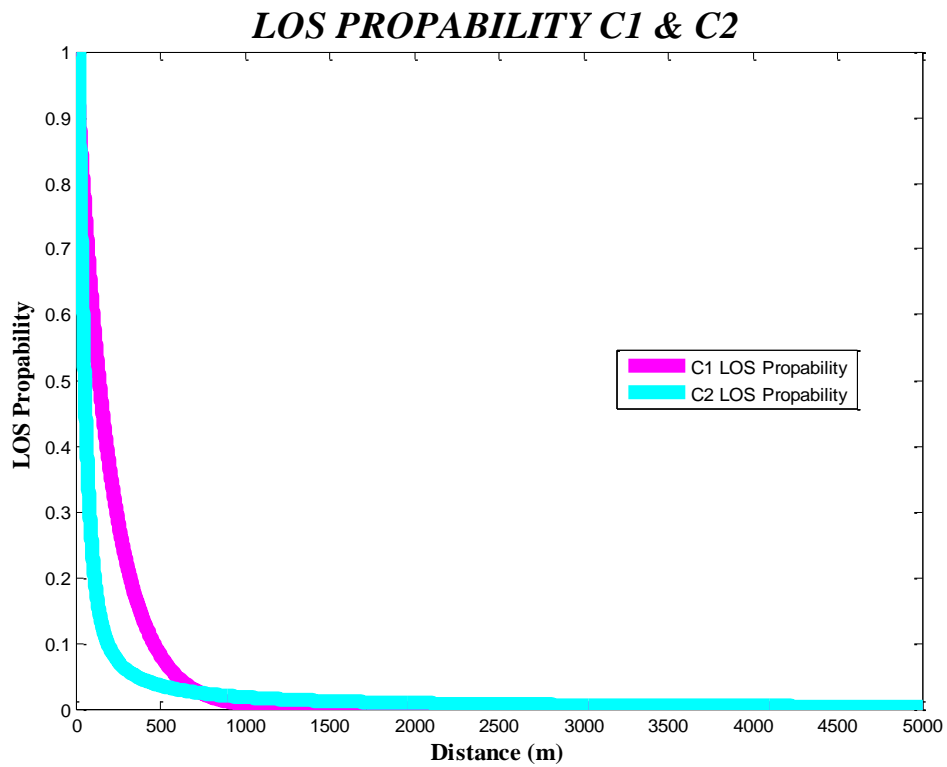
**Σχήμα 5.10 Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια A1 και B3**



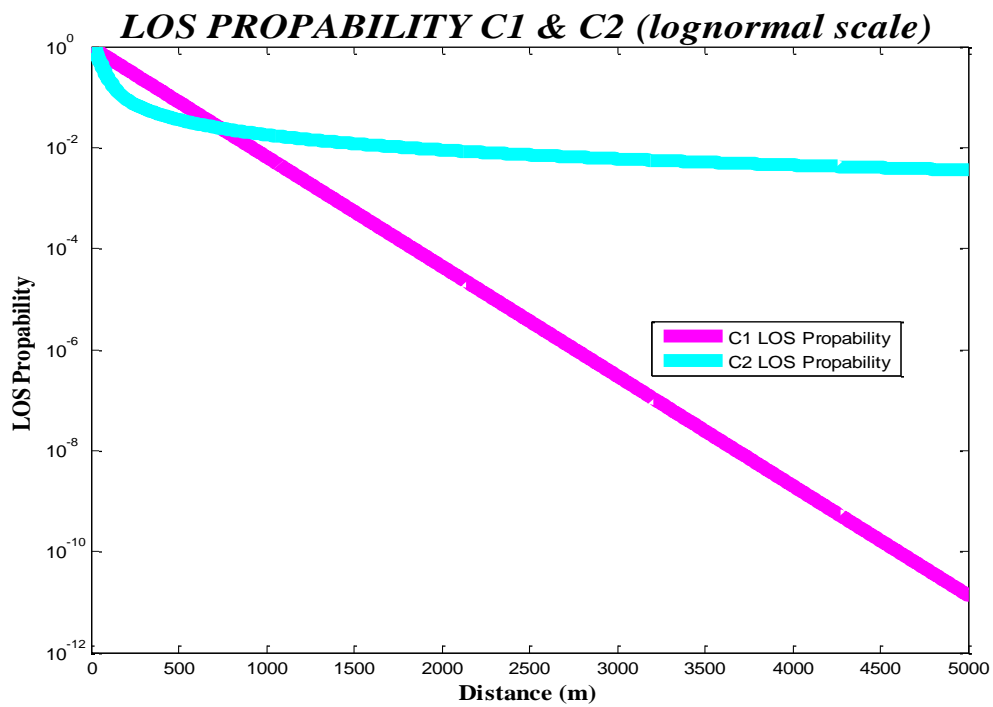
*Σχήμα 5.11 Πιθανότητα οπτικής επαφής λογαριθμοκανονική στα σενάρια A1 και B3*

### **5.2.3 Σενάριο C1 & C2**

Στα σενάρια C1 και C2 έχουμε χρήση μακροκυψελών [WIN1]. Στο σενάριο C1 έχουμε προαστιακό περιβάλλον σε ευρεία περιοχή, με την πλειοψηφία των τερματικών χρηστών να βρίσκονται στο επίπεδο του δρόμου [WIN1]. Στο περιβάλλον C1 ο χώρος είναι ανοιχτός και μπορεί να αποτελείται και από περιοχές όπως παιδικές χαρές και πάρκα [WIN1]. Τα κτίρια είναι το πολύ 2 ορόφων [WIN1]. Στο σενάριο C2 βρισκόμαστε σε αστικό περιβάλλον με μέσο ύψος κτιρίων τουλάχιστον 4 ορόφων [WIN1]. Στο C2 η περίπτωση να βρισκόμαστε σε μη οπτική επαφή είναι πολύ συνηθισμένη [WIN1]. Στο Σχήμα 5.12 φαίνεται η σύγκριση των 2 κατανομών.



*Σχήμα 5.12* Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια C1 και C2



*Σχήμα 5.13* Λογαριθμοκανονική Πιθανότητα οπτικής επαφής στα σενάρια C1 και C2

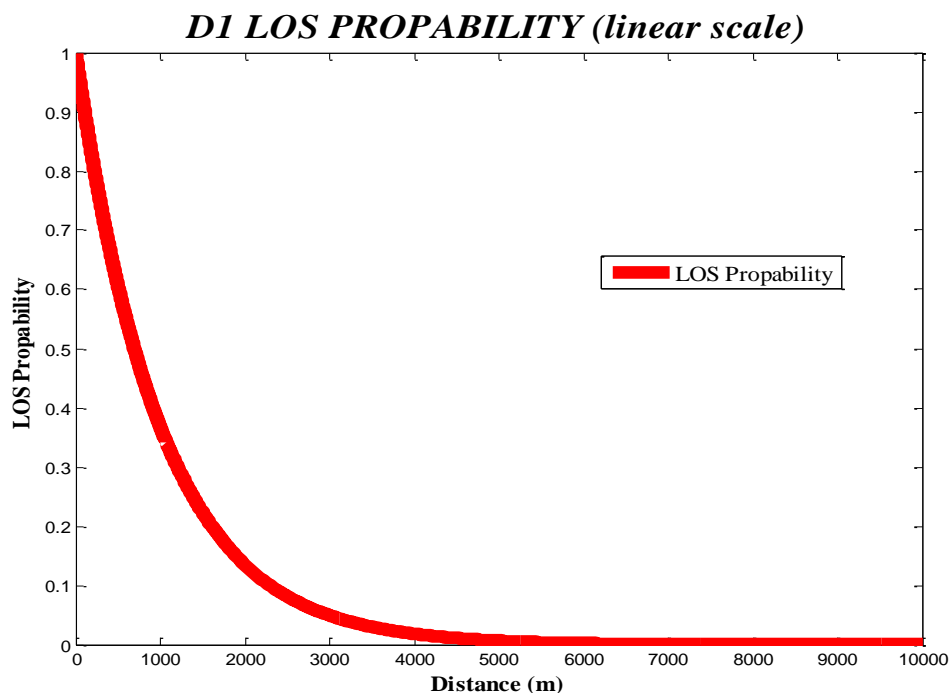


Στο σχήμα 5.12 φαίνεται πως και στα δύο περιβάλλοντα η πιθανότητα οπτικής επαφής γίνεται πάρα πολύ μικρή μετά τα 500m απόστασης. Όπως φαίνεται η πιθανότητα οπτικής επαφής μέχρι περίπου τα 800m είναι πολύ μικρότερη στην περίπτωση του περιβάλλοντος C2 από το περιβάλλον C1. Από εκεί και πέρα οι πιθανότητες βρίσκονται πολύ κοντά στο μηδέν και για τα δύο περιβάλλοντα, με την πιθανότητα του C2 να γίνεται λίγο μεγαλύτερη από αυτή του C1. Μετά τα 3.5km η πιθανότητα γίνεται μηδενική και για τα δύο περιβάλλοντα προσομοίωσης.

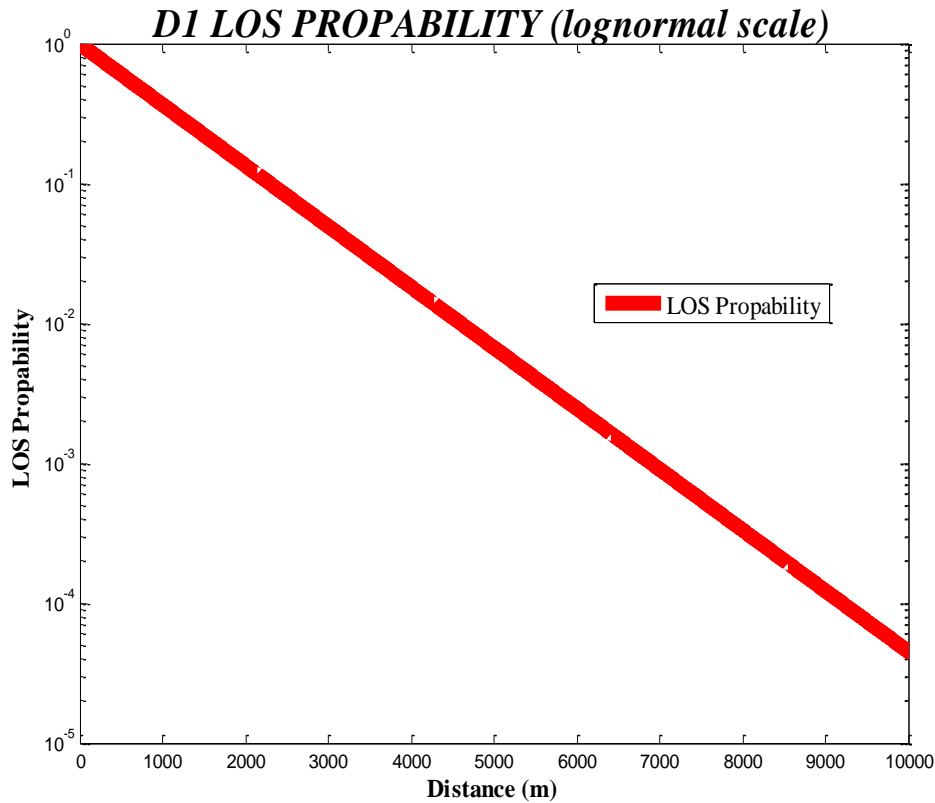
### 5.2.4 Σενάριο D1

Στο σενάριο D1 βρισκόμαστε σε ένα επαρχιακό περιβάλλον με τις κεραιές εκπομπού να βρίσκονται πολύ υψηλότερα από το ύψος των κτιρίων [WIN1]. Η πιθανότητα οπτικής επαφής είναι πολύ υψηλότερη από άλλες περιοχές λόγω του μεγάλου ύψους που βρίσκονται οι κεραιές και της ανοιχτής περιοχής [WIN1].

Η προσομοίωση σε αυτό το σενάριο φτάνει τα 10km με την πιθανότητα οπτικής επαφής να μηδενίζεται μετά τα 6km, δηλαδή η διπλάσια απόσταση σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.14.



Σχήμα 5.14 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο D1



*Σχήμα 5.15 Πιθανότητα οπτικής επαφής στο σενάριο D1*

### 5.3 Απώλειες Διάδοσης

Οι απώλειες διάδοσης για κάθε σενάριο δίνονται από τον Πίνακα 4.3. Ακολουθούν προσομοιώσεις στο περιβάλλον του MATLAB με γραφικές παραστάσεις συναρτήσεως της απόστασης  $d$ . Τα ύψη κεραιών εκπομπού και δέκτη είναι αυτά που περιγράφονται στον Πίνακα 4.3. Οι κεντρικές συχνότητες είναι αυτές που έχουν δοθεί από την ITU [ITU1] με μόνη εξαίρεση αυτή του σεναρίου A1. Τα όρια προσομοίωσης είναι ίδια με αυτά των προσομοιώσεων για την πιθανότητα οπτικής επαφής. Σε όλα τα σενάρια είναι φανερό πως οι απώλειες διάδοσης αυξάνονται με την αύξηση της απόστασης.

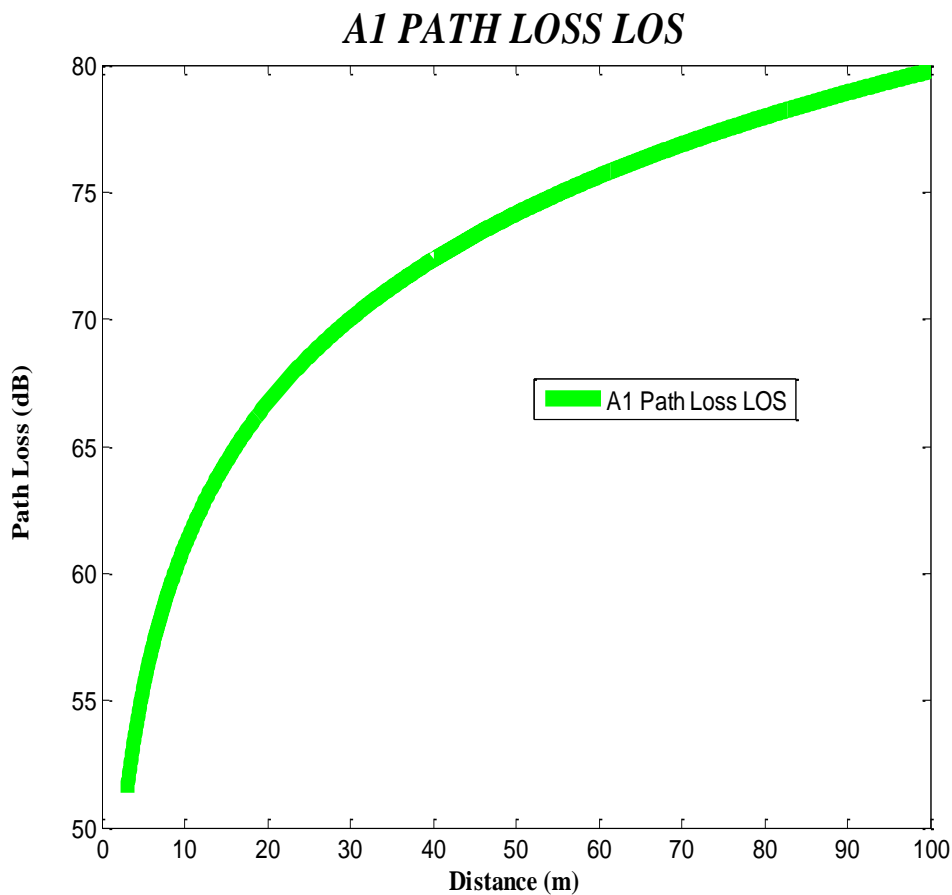
#### 5.3.1 Σενάριο A1

Στο σενάριο A1 μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κεντρική συχνότητα στο διάστημα 2-6GHz και για αποστάσεις από 3 ως 100m [WIN1]. Εμείς επιλέγουμε τη

συχνότητα των 3GHz και για τις δύο περιπτώσεις οπτικής και μη οπτικής επαφής, που βρίσκεται στη μέση του διαστήματος. Είναι αναμενόμενο η αύξηση της συχνότητας να αυξάνει τις απώλειες.

### 5.3.1.1 LOS

Η προσομοίωση για συνθήκες οπτικής επαφής είναι το Σχήμα 5.16 και δείχνει την αύξηση των απωλειών διάδοσης όταν αυξάνεται η απόσταση. Σε συνθήκες οπτικής επαφής θεωρούμε πως το τερματικό χρήστη βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το σταθμό βάσης.



*Σχήμα 5.16 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες οπτικής επαφής*

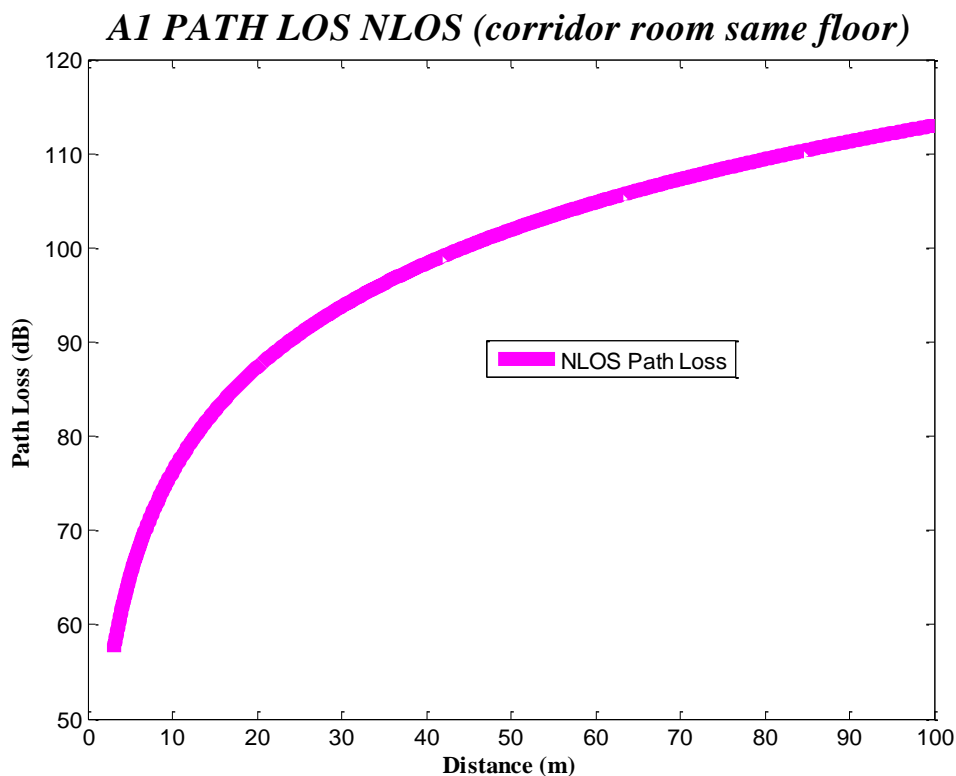
### 5.3.1.2 NLOS

Οι συνθήκες μη οπτικής επαφής περιλαμβάνουν δύο περιπτώσεις [WIN1]:

- Ο σταθμός βάσης βρίσκεται στο διάδρομο και το τερματικό χρήστη στο δωμάτιο.
- Ο σταθμός βάσης και το τερματικό χρήστη βρίσκονται σε διαφορετικά δωμάτια και ανάμεσά τους παρεμβάλλεται τοίχος.

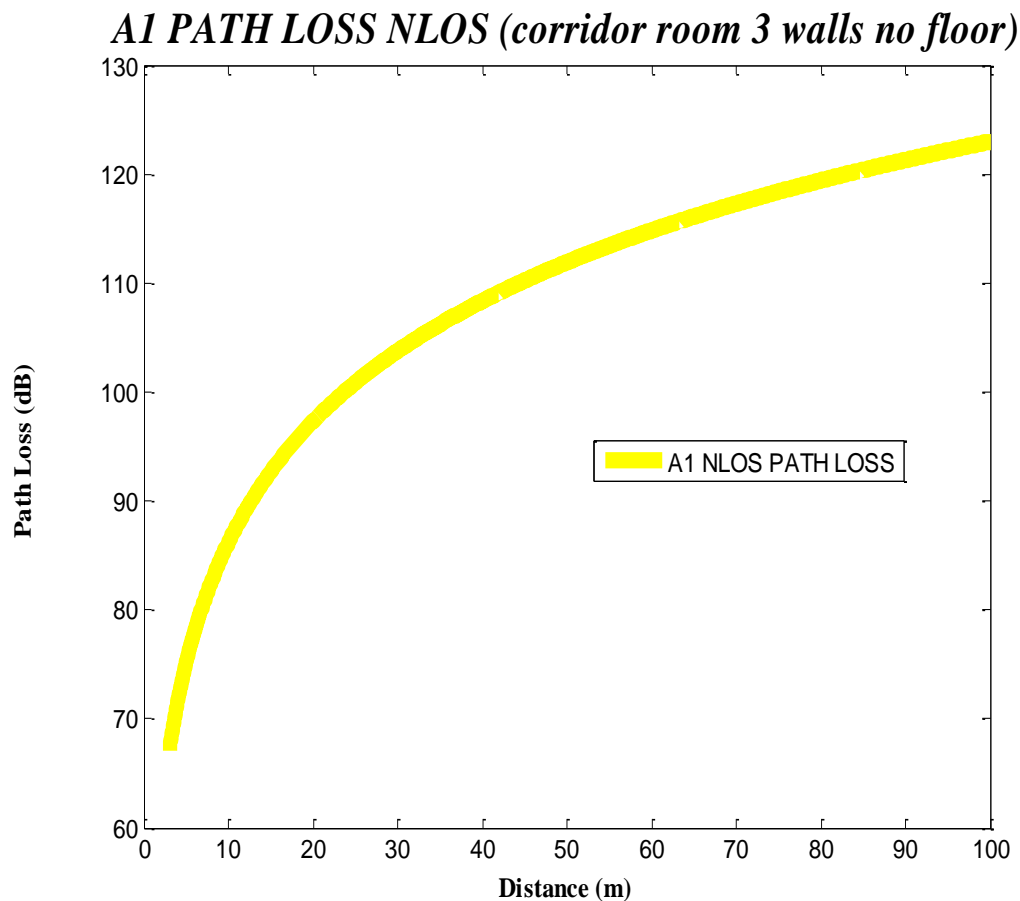
Θεωρούμε πως οι τοίχοι μπορεί να είναι λεπτοί ή χοντροί και παίρνουμε διάφορες περιπτώσεις για τον αριθμό τους [WIN1]. Ακόμη αρχικά ο σταθμός βάσης και το τερματικό χρήστη βρίσκονται στον ίδιο όροφο ενώ λαμβάνεται και η περίπτωση να παρεμβάλλεται όροφος μεταξύ τους και να προστίθεται απώλεια λόγω της ύπαρξης ορόφου που προστίθεται στις απώλειες διάδοσης [WIN1].

Στο σχήμα 5.17 φαίνεται η περίπτωση μη οπτικής επαφής στην περίπτωση διαδρόμου-δωματίου όπου δεν περιλαμβάνεται τοίχος.



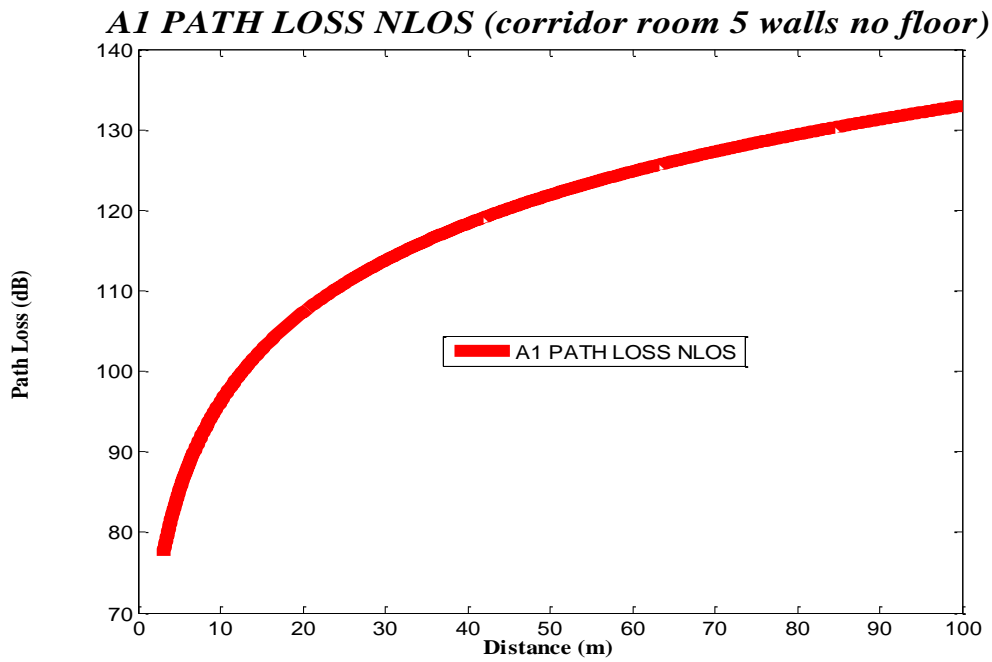
***Σχήμα 5.17*** *Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν δεν παρεμβάλλεται κανένας όροφος*  
***Διάδρομος-Δωμάτιο***

Στο σχήμα 5.18 παίρνουμε την περίπτωση που έχουμε 3 λεπτούς τοίχους να παρεμβάλλονται μεταξύ σταθμού βάσης και τερματικού χρήστη.

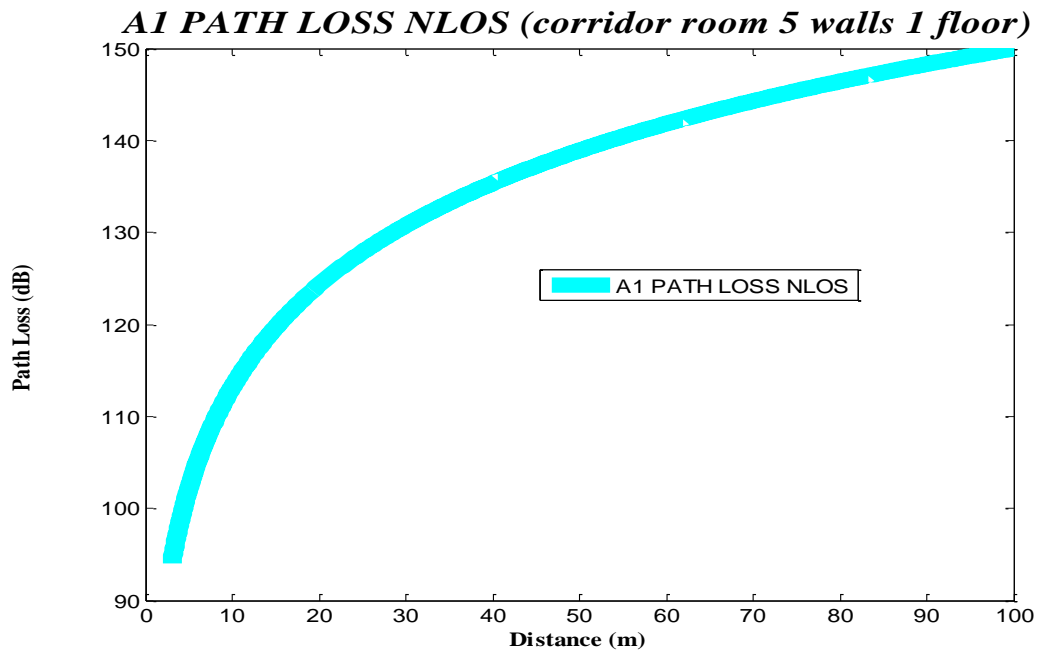


***Σχήμα 5.18 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 3 τοίχοι και κανένας όροφος  
Διάδρομος-Δωμάτιο***

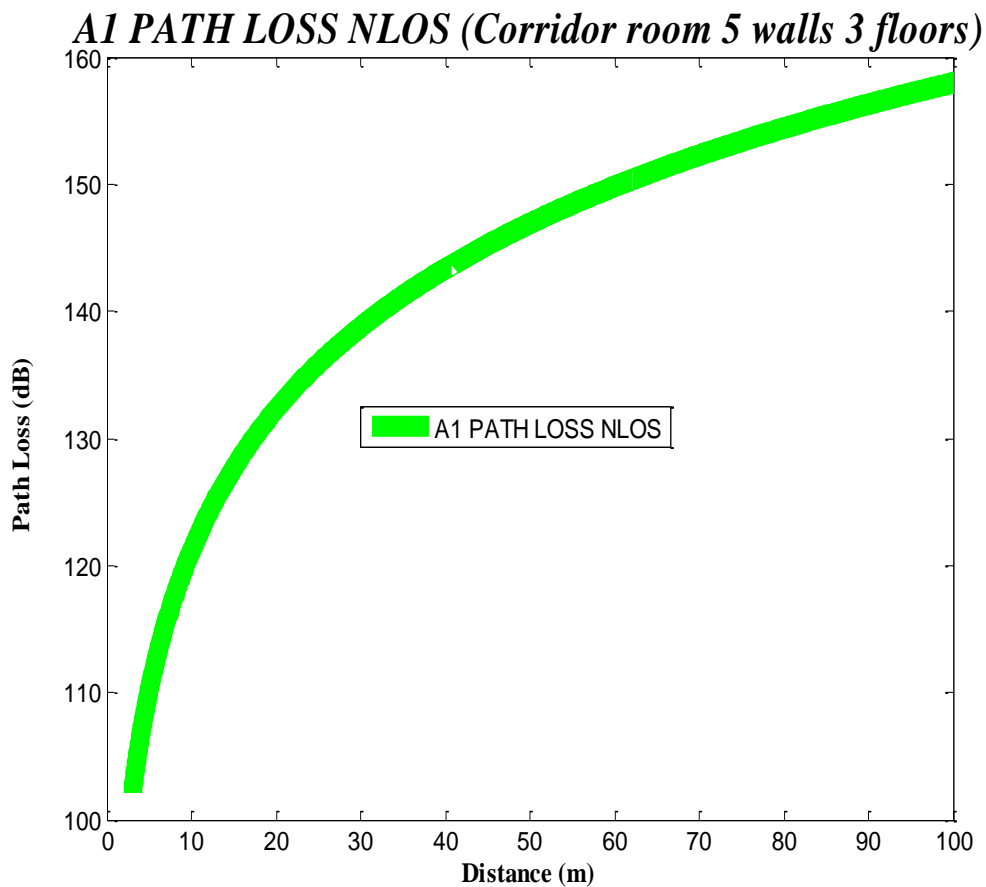
Στο σχήμα 5.19 παρεμβάλλονται 5 λεπτοί τοίχοι μεταξύ σταθμού βάσης και τερματικού χρήστη. Οι απώλειες διάδοσης είναι κατά πολύ αυξημένες σε σχέση με την περίπτωση του 1 παρεμβαλλόμενου τοίχου. Στα σχήματα 5.20 και 5.21 παρεμβάλλονται 5 λεπτοί τοίχοι και ένας όροφος και 5 λεπτοί τοίχοι και 3 όροφοι αντίστοιχα. Ο όροφος αυξάνει κατά πολύ τις απώλειες διάδοσης αφού προστίθεται ένας επιπλέον συντελεστής στους υπολογισμούς.



*Σχήμα 5.19 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 5 τοίχοι και κανένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο*

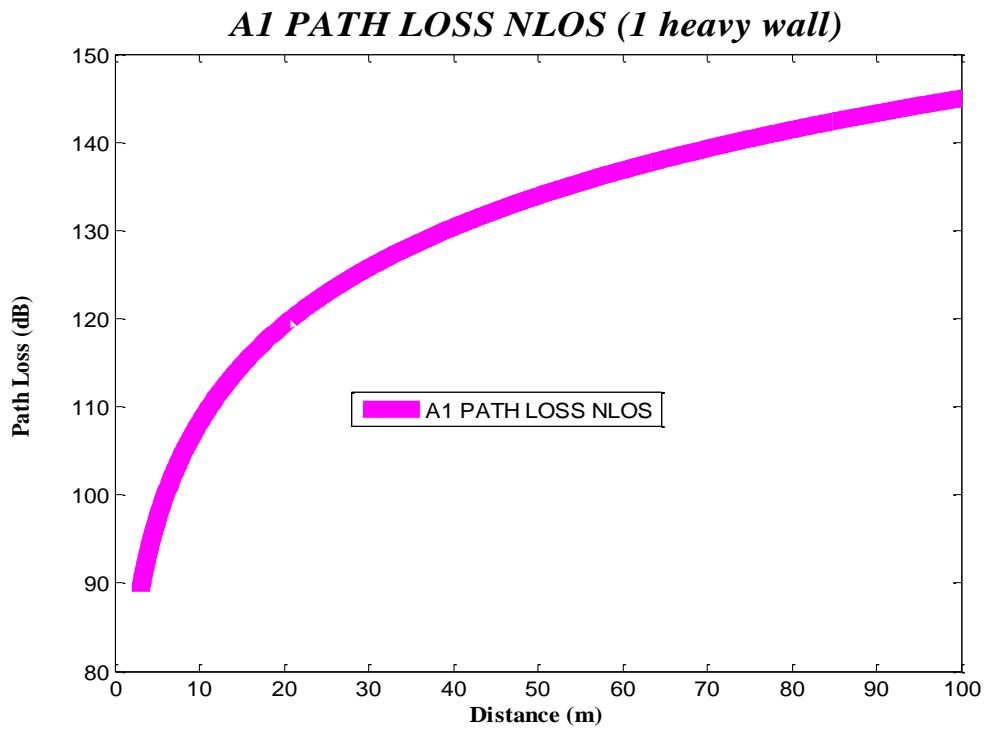


*Σχήμα 5.20 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 5 τοίχοι και ένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο*

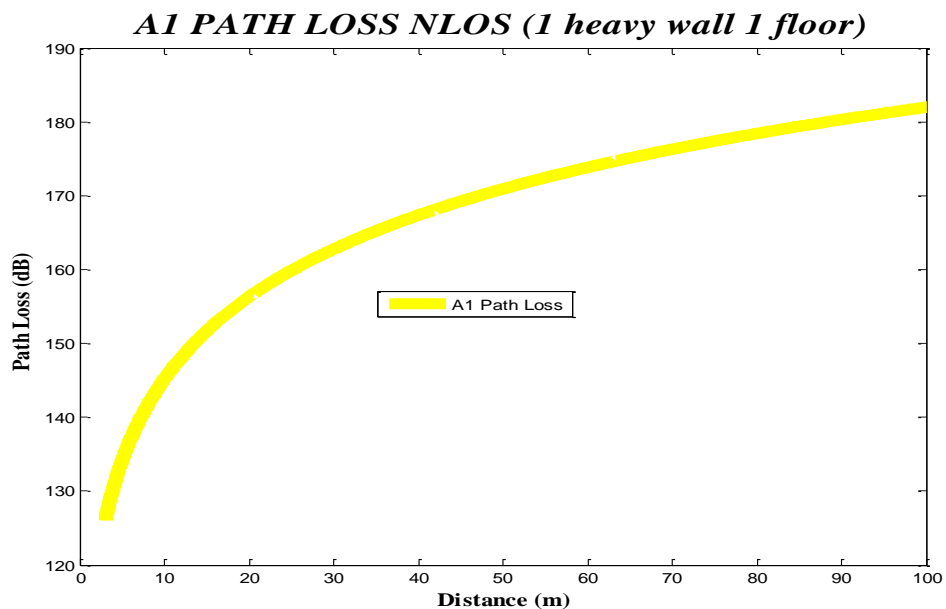


***Σχήμα 5.21 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλονται 5 τοίχοι και τρεις όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο***

Αυτό που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον είναι πως στην περίπτωση του χοντρού τοίχου του Σχήματος 5.22 οι απώλειες είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από την περίπτωση του λεπτού τοίχου. Οι απώλειες αυτές είναι συγκρίσιμες με τις απώλειες 3 λεπτών τοίχων. Ακόμα πιο εντυπωσιακό είναι το Σχήμα 5.23 το οποίο δείχνει πως στην περίπτωση ενός χοντρού τοίχου και ενός ορόφου οι απώλειες είναι πολύ συγκρίσιμες με αυτές των 5 λεπτών τοίχων και 1 ορόφου όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.24.



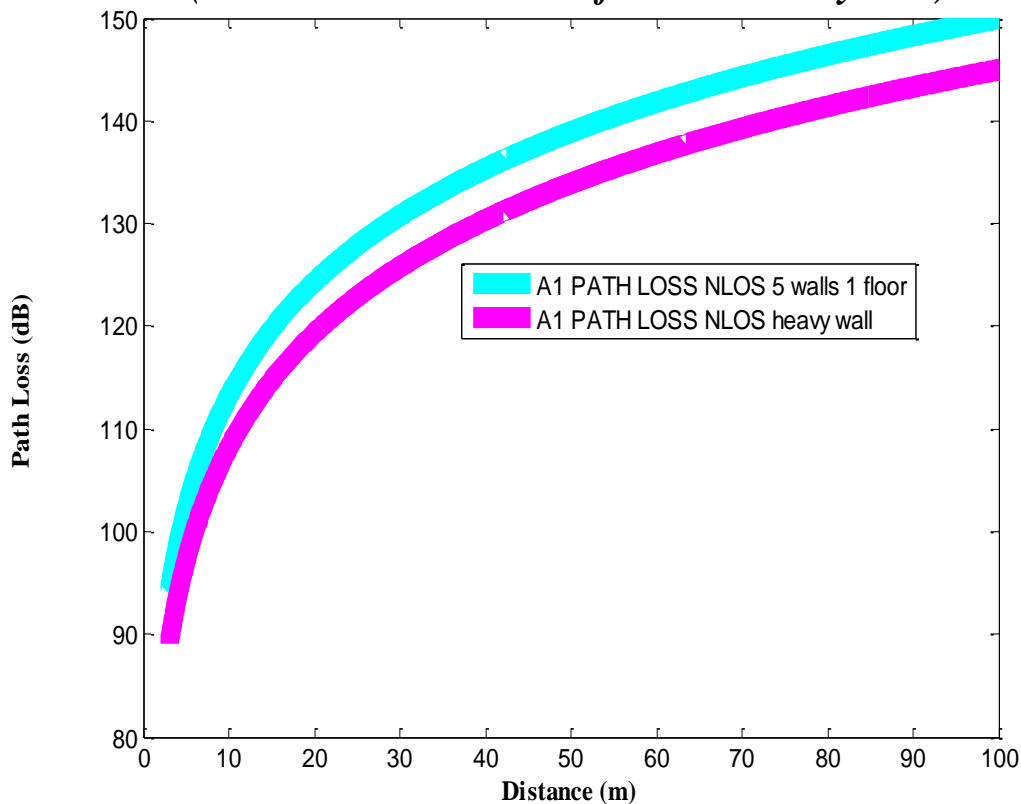
*Σχήμα 5.22 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 χοντρός τοίχος Διάδρομος-Δωμάτιο*



*Σχήμα 5.23 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 χοντρός τοίχος και ένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο*



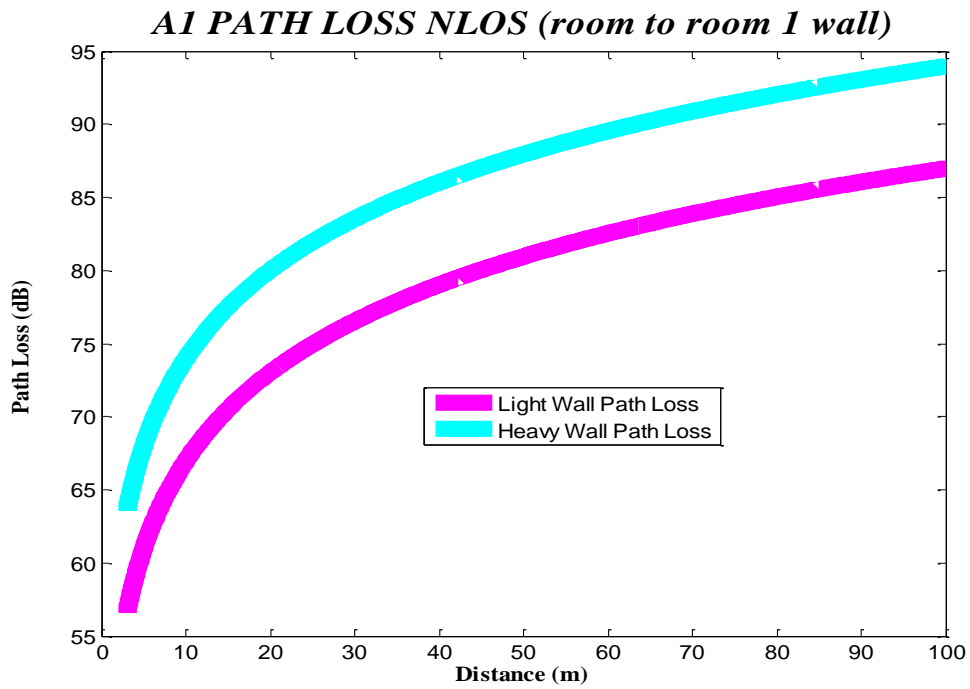
### ***A1 PATH LOSS NLOS (corridor room 5 walls 1 floor vs 1 heavy wall)***



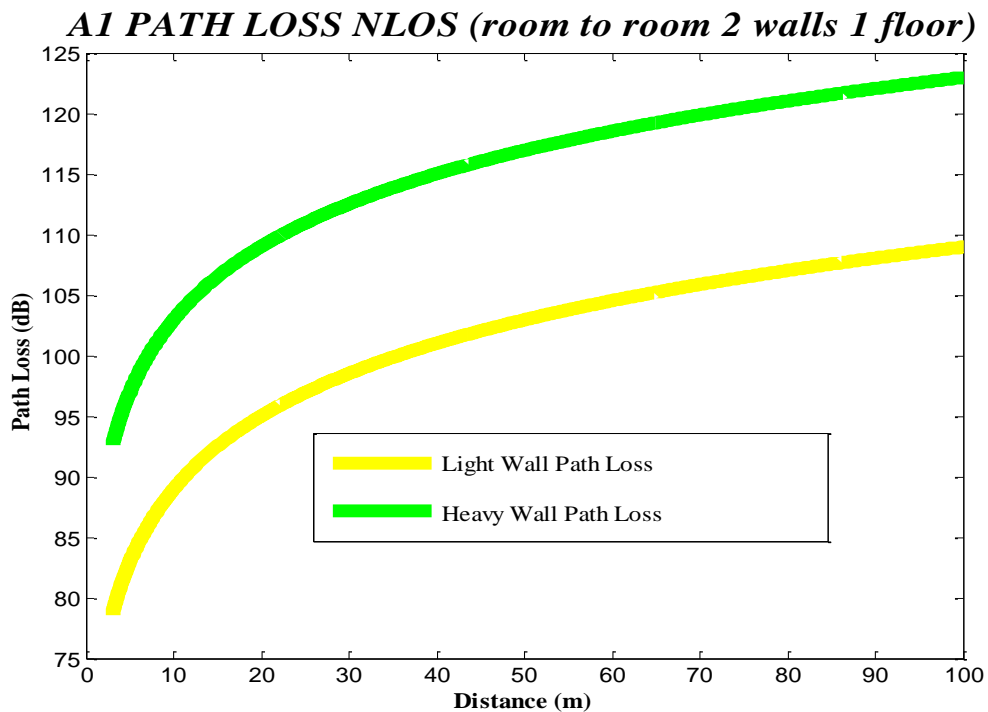
***Σχήμα 5.24 Σύγκριση απωλειών διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 χοντρός τοίχος και 5 τοίχοι και ένας όροφος Διάδρομος-Δωμάτιο***

Στα επόμενα διαγράμματα φαίνονται οι περιπτώσεις όπου οι σταθμοί βάσης και τα τερματικά χρήστη βρίσκονται σε δωμάτια. Στο Σχήμα 5.25 φαίνεται η περίπτωση όπου παρεμβάλλεται ένας λεπτός και ένας χοντρός τοίχος. Το συμπέρασμα είναι το ίδιο με παραπάνω, δηλαδή οι απώλειες που προκαλούνται από την παρεμβολή ενός χοντρού τοίχου είναι μεγαλύτερες από αυτές ενός λεπτού τοίχου.

Η διαφορά αυτή φαίνεται ακόμα περισσότερο στην περίπτωση 2 τοίχων και 1 ορόφου στο σχήμα 5.26.



*Σχήμα 5.25 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 1 τοίχος Δωμάτιο-Δωμάτιο*

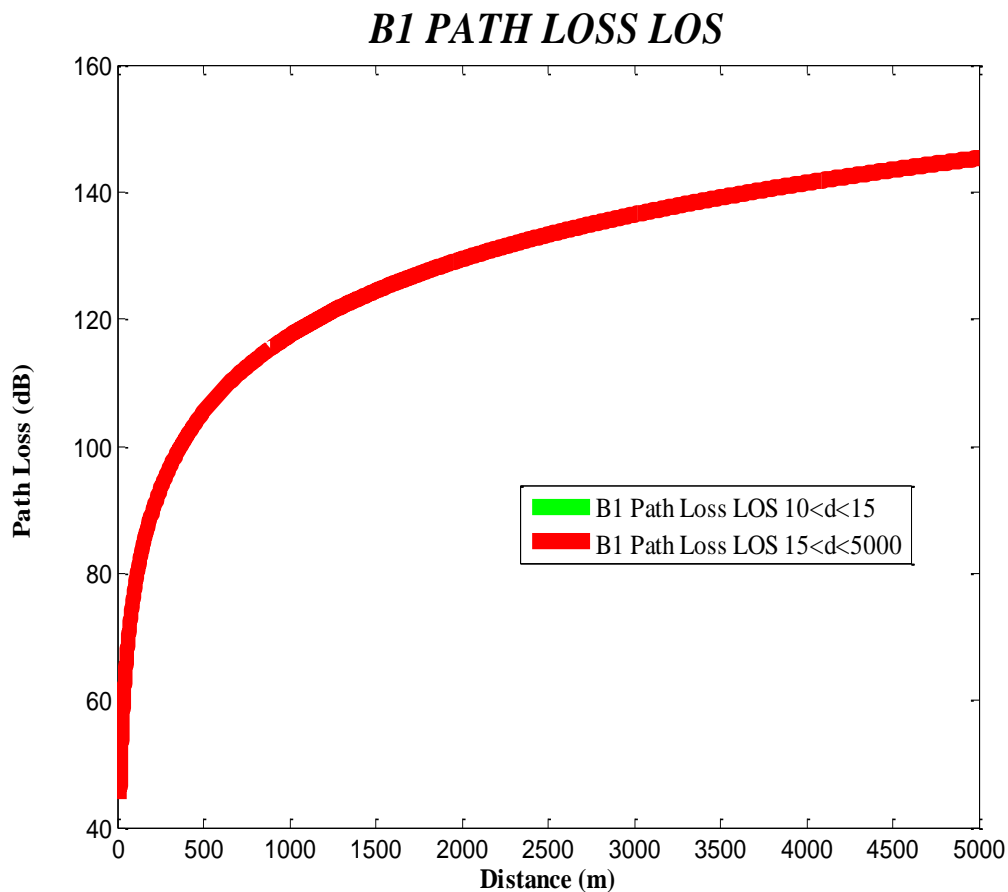


*Σχήμα 5.26 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον A1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής όταν παρεμβάλλεται 2 τοίχοι και ένας όροφος Δωμάτιο-Δωμάτιο*

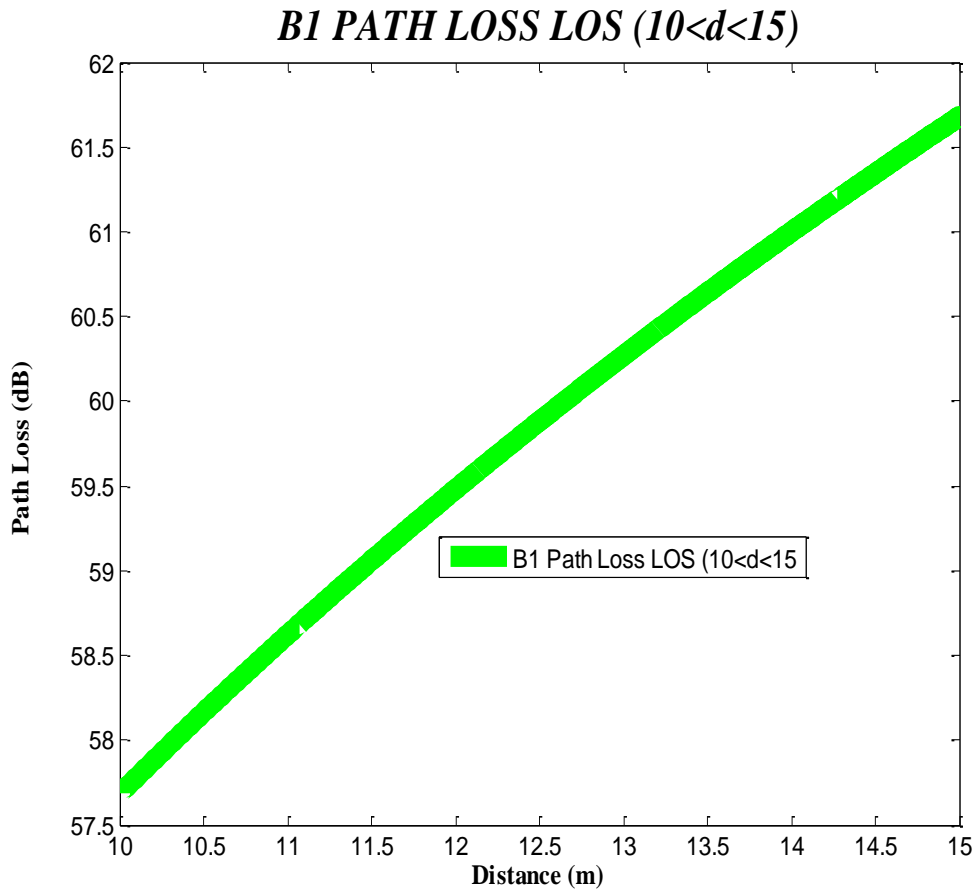
### 5.3.2 Σενάριο B1

Για το σενάριο B1 οι απώλειες δίνονται στα ζεύγη σχημάτων 5.27 και 5.28 και 5.29 και 5.30 για τις περιπτώσεις οπτικής και μη οπτικής επαφής αντίστοιχα. Τα Σχήματα 5.28 και 5.30 δίνουν τις απώλειες μέχρι μια συγκεκριμένη απόσταση σε μεγαλύτερη κλίμακα Η κεντρική συχνότητα είναι 2.5GHz [ITU1].

#### 5.3.2.1 LOS



*Σχήμα 5.27* Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες οπτικής επαφής

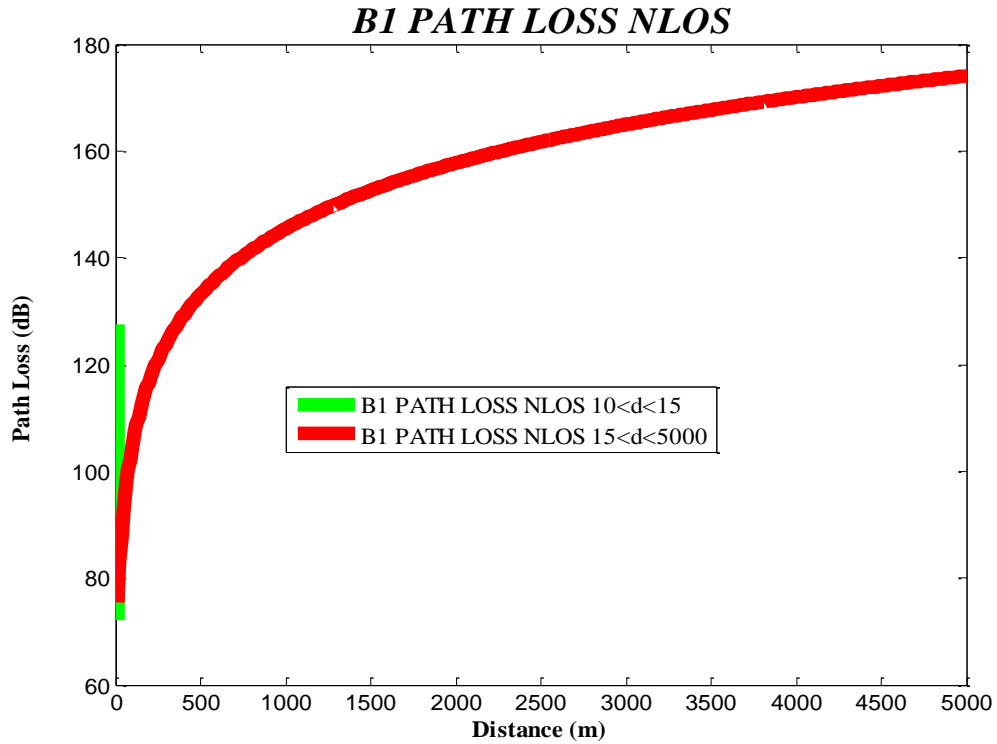


***Σχήμα 5. 28 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες οπτικής επαφής***

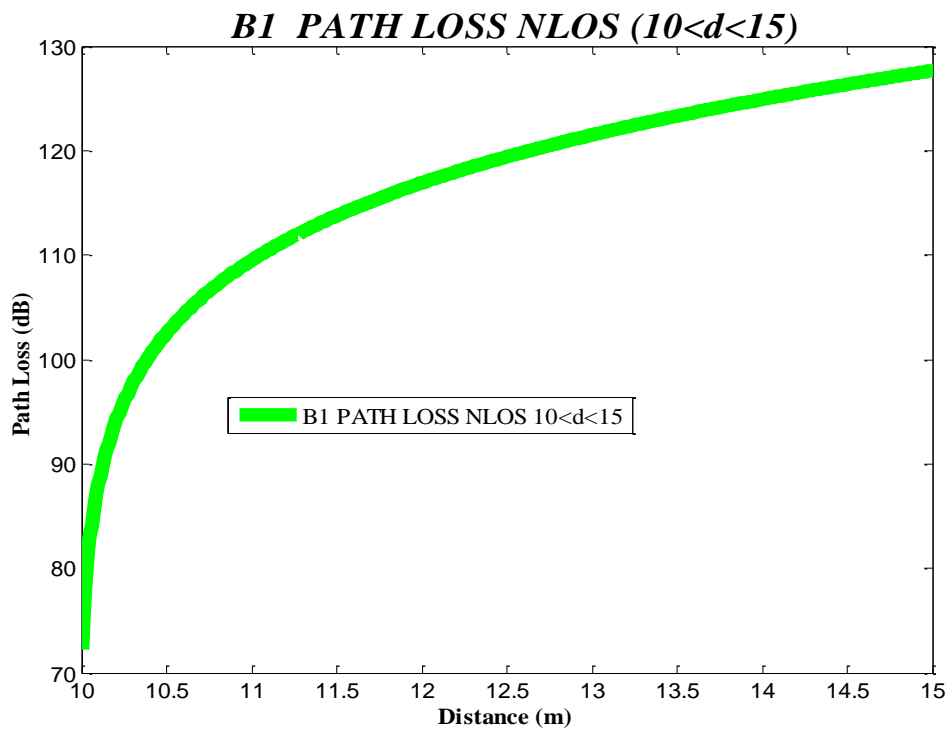
Σε κάθε περίπτωση λόγω της αλλαγής του τύπου στο ενεργό μήκος κεραίας του εκπομπού βάσης, για να φανούν και σε μικρότερη κλίμακα οι απώλειες πραγματοποιείται και μια προσομοίωση μέχρι αυτή την απόσταση. Παρατηρούμε πως μετά τα 3500m οι απώλειες αυξάνονται με πολύ μικρότερο ρυθμό σε σχέση με μικρότερες αποστάσεις. Εκεί είναι το σημείο που αρχίζουν οι απώλειες να φαίνονται σχεδόν σταθερές. Στο Σχήμα 5.28 φαίνεται πως η σχέση μεταξύ απωλειών διάδοσης και απόστασης έχει γραμμική μορφή στις μικρότερες αποστάσεις.

### **5.3.2.2 NLOS**

Ακολουθούν τα διαγράμματα για συνθήκες μη οπτικής επαφής.



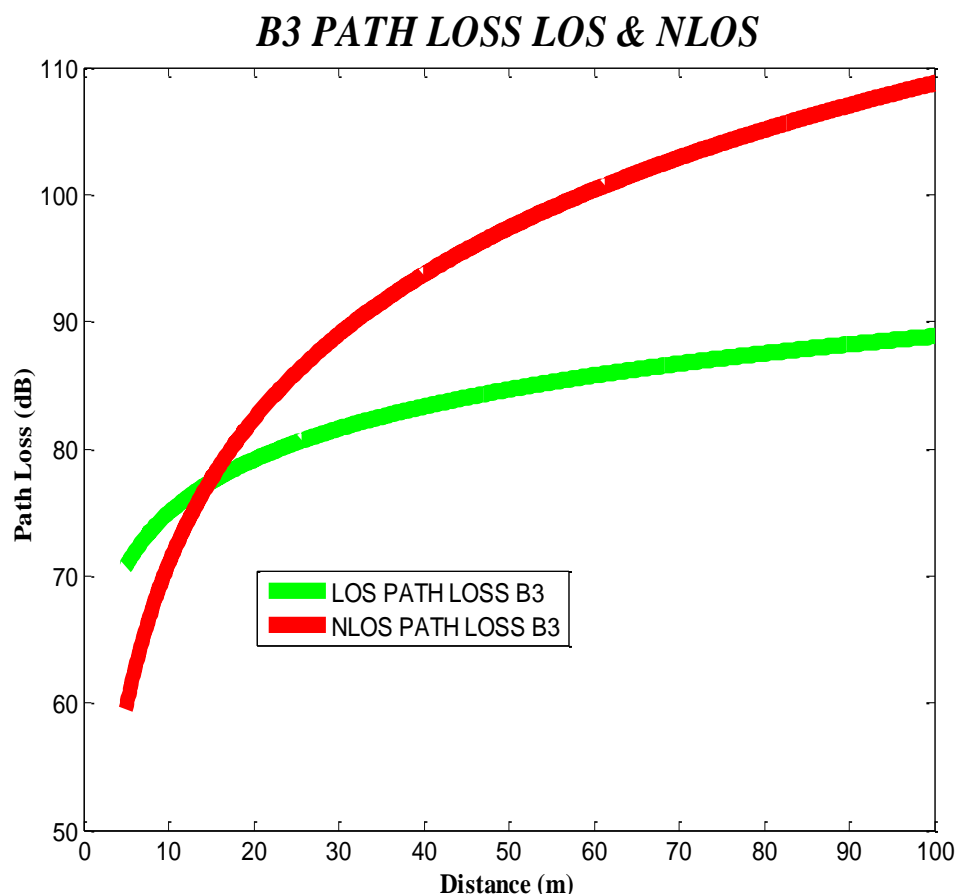
*Σχήμα 5.29* Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής



*Σχήμα 5.30* Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής

### 5.3.3 Σενάριο B3

Στο σενάριο αυτό έχουμε την περίπτωση Hotspot εσωτερικού χώρου. Η κεντρική συχνότητα είναι 3.4GHz. Παρατηρούμε πως οι απώλειες αυξάνονται με την απόσταση όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.31.



*Σχήμα 5.31* Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B3 για συνθήκες οπτικής και μη οπτικής επαφής

Είναι φανερό πως για μικρές αποστάσεις οι απώλειες στην περίπτωση οπτικής επαφής είναι μεγαλύτερες από αυτές στην περίπτωση μη οπτικής επαφής. Μετά από αυτό το σημείο οι απώλειες μη οπτικής επαφής αυξάνονται με μεγαλύτερο ρυθμό και υπερνικούν τη διαφορά.

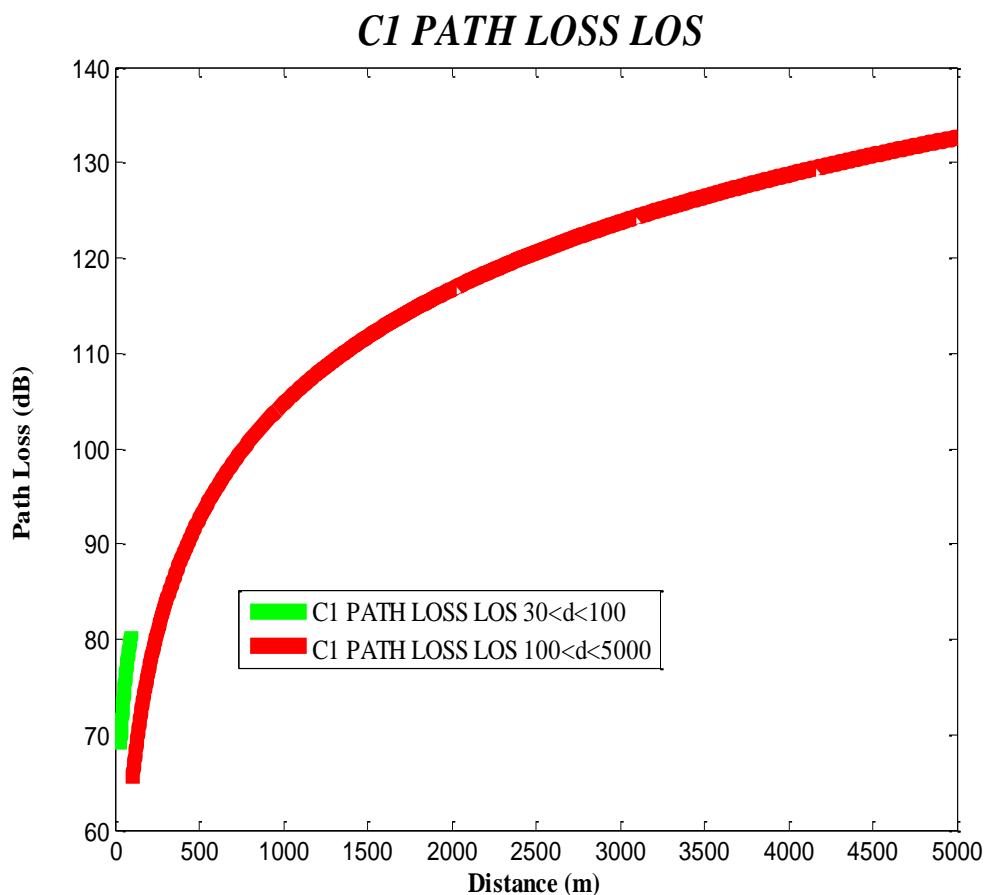
Για την περίπτωση οπτικής επαφής ήδη μετά τα 50m οι απώλειες διάδοσης έχουν αρχίσει να είναι σταθερές. Στην περίπτωση μη οπτικής επαφής συνεχίζουν να αυξάνονται με μεγάλο ρυθμό.

### 5.3.4 Σενάριο C1

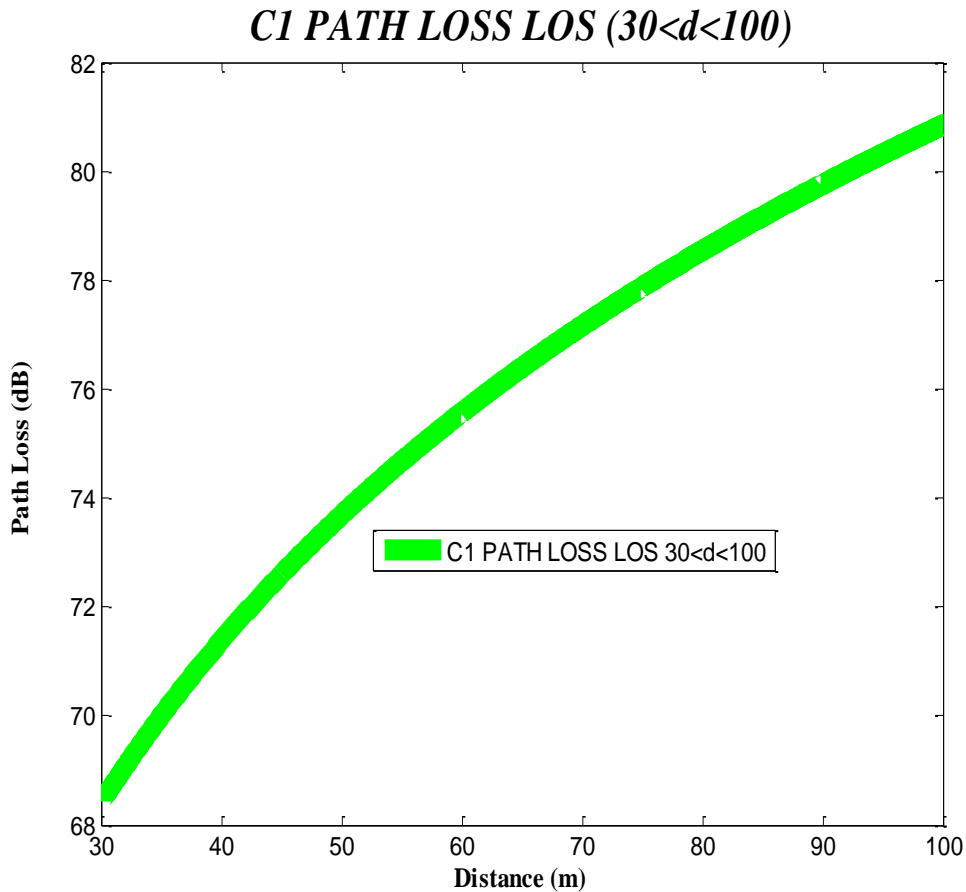
Στο σενάριο αυτό μελετάμε τις απώλειες σε ένα προαστιακό περιβάλλον με ελεύθερους χώρους, χαμηλά κτίρια και αραιή βλάστηση που χρησιμοποιούνται μακροκυψέλες [WIN1]. Η κεντρική συχνότητα είναι 2GHz [ITU1].

#### 5.3.4.1 LOS

Οι απώλειες φαίνονται στο Σχήμα 5.32. Λόγω της αλλαγής στον τύπο οι απώλειες στις μικρές αποστάσεις παρουσιάζουν μια λιγότερο λογαριθμική καμπύλη που τείνει στη γραμμική.



Σχήμα 5.32 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C1 για συνθήκες οπτικής επαφής



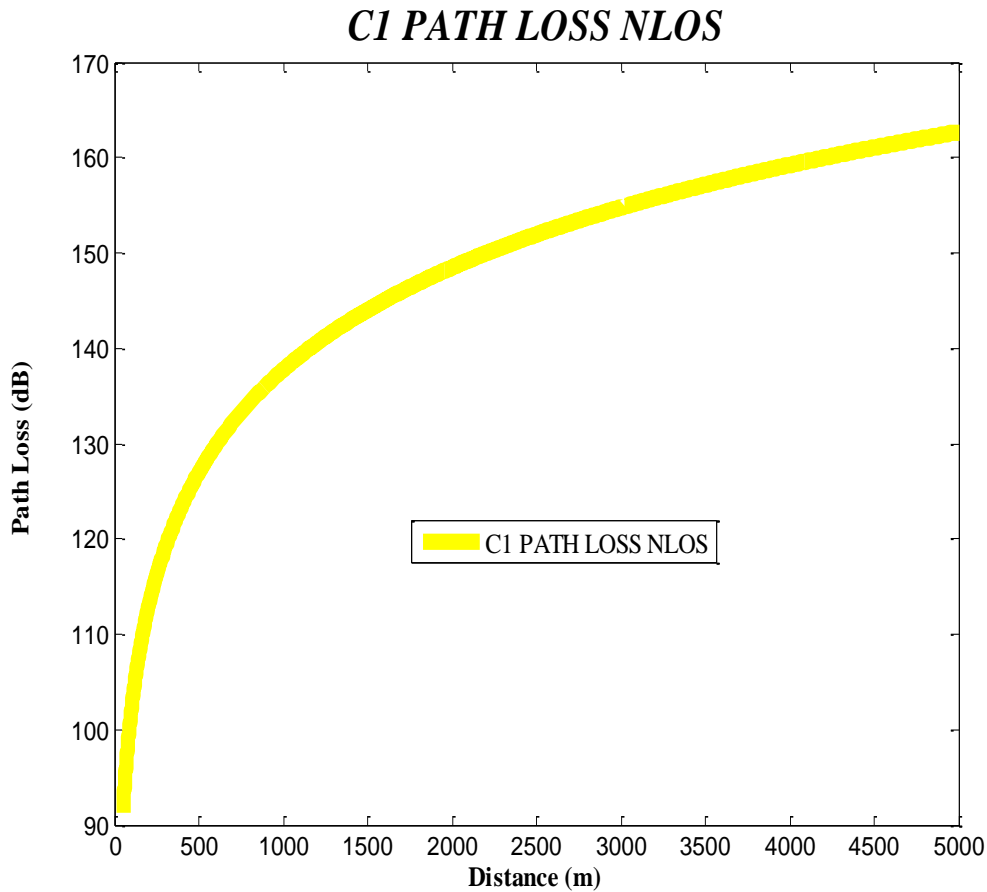
***Σχήμα 5.33 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C1 για συνθήκες οπτικής επαφής***

Στις μικρές αποστάσεις βλέπουμε πως ο ρυθμός αύξησης πλησιάζει το γραμμικό και οι ρυθμοί αύξησης των απωλειών διάδοσης είναι πολύ μεγαλύτεροι. Σε αποστάσεις μετά τα 4.5km αρχίζει να σταθεροποιείται η γραμμή των απωλειών διάδοσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.33.

#### **5.3.4.2 NLOS**

Στην περίπτωση μη οπτικής επαφής οι απώλειες δίνονται από το Σχήμα 5.34. Παρουσιάζονται αυξημένες σε σχέση με το σενάριο C2 που ακολουθεί. Ο ρυθμός αύξησης των ρυθμών διάδοσης είναι πολύ μεγαλύτερος στις μικρές αποστάσεις και γίνεται σχεδόν σταθερός για αποστάσεις μεγαλύτερες των 4500m.





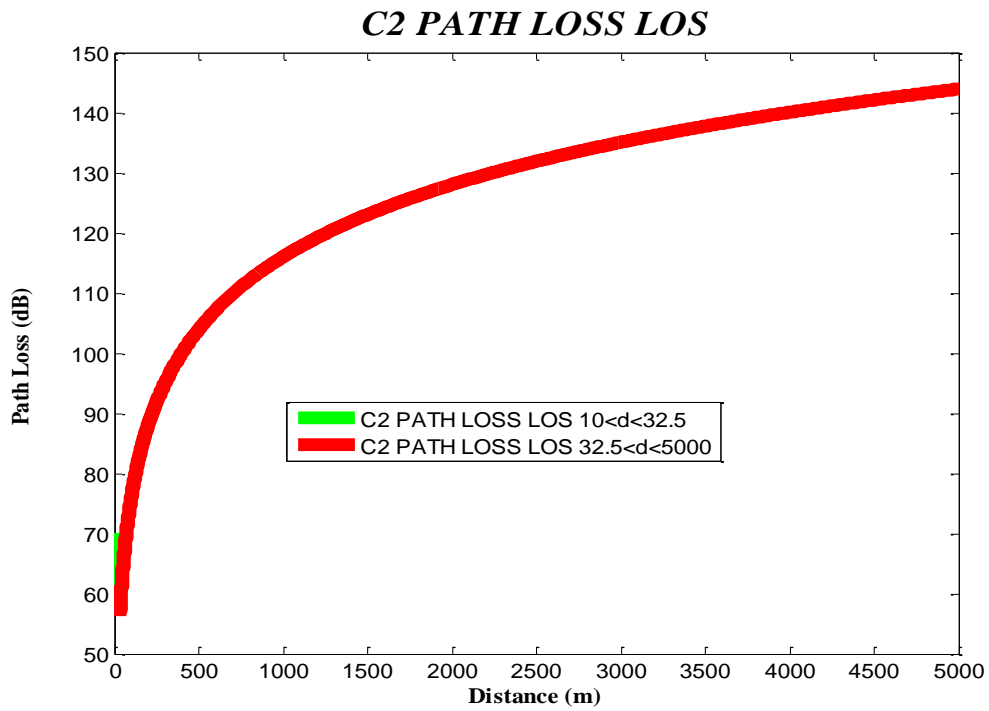
***Σχήμα 5.34 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής***

### ***5.3.5 Σενάριο C2***

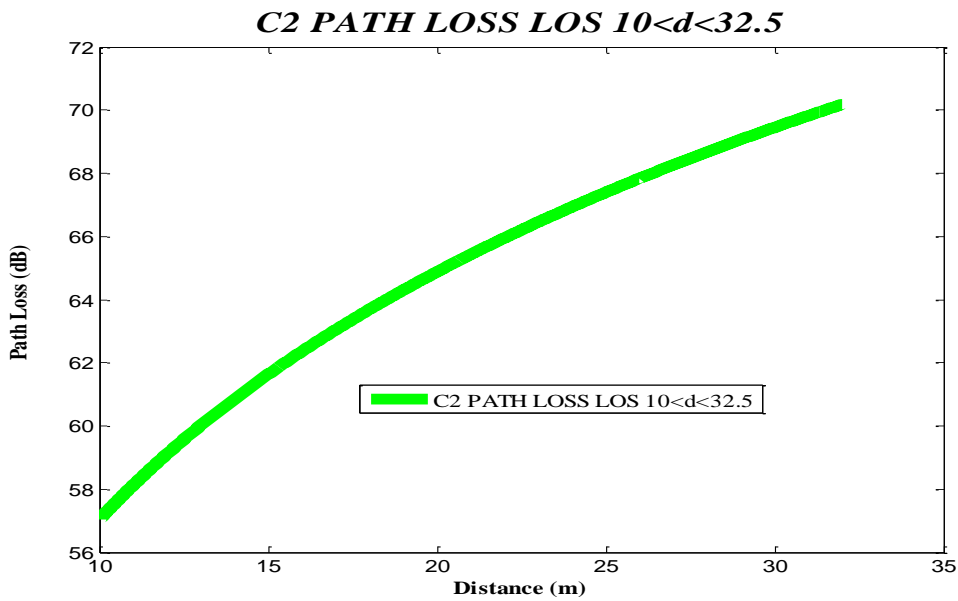
Στο σενάριο αυτό μελετάται ένα αστικό περιβάλλον που χρησιμοποιεί μακροκυβέλες. Η κεντρική συχνότητα είναι 2GHz [ITU1]. Η προσομοίωση φαίνεται στο σχήμα 5.35 όπου και πάλι φαίνεται η αύξηση των απωλειών με την αύξηση της απόστασης. Οι απώλειες διάδοσης σε σχέση με το αντίστοιχο προαστιακό περιβάλλον φαίνεται να υπερτερούν στην περίπτωση της οπτικής επαφής αλλά να είναι πολύ λιγότερες σχεδόν μισές στην περίπτωση της μη οπτικής επαφής. Ο ρυθμός αύξησης των απωλειών τείνει να γίνει γραμμικός μετά τα 4500m.

Στην περίπτωση της οπτικής επαφής υπάρχει και το σχήμα 5.36 για να δείχνει τις απώλειες διάδοσης των μικρότερων αποστάσεων σε μεγαλύτερη κλίμακα.

### 5.3.5.1 LOS



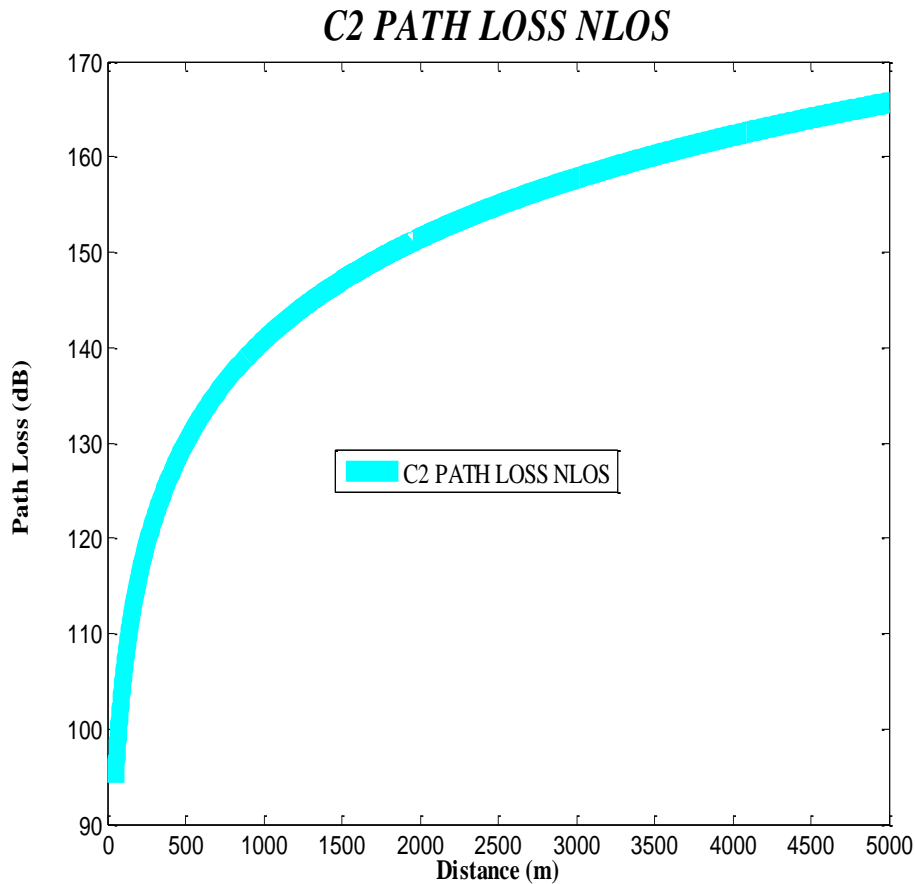
Σχήμα 5.35 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C2 για συνθήκες οπτικής επαφής



Σχήμα 5.36 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C2 για συνθήκες οπτικής επαφής  $10 < d < 32.5$

### 5.3.5.2 NLOS

Για την περίπτωση μη οπτικής επαφής τις απώλειες διάδοσης μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 5.37.



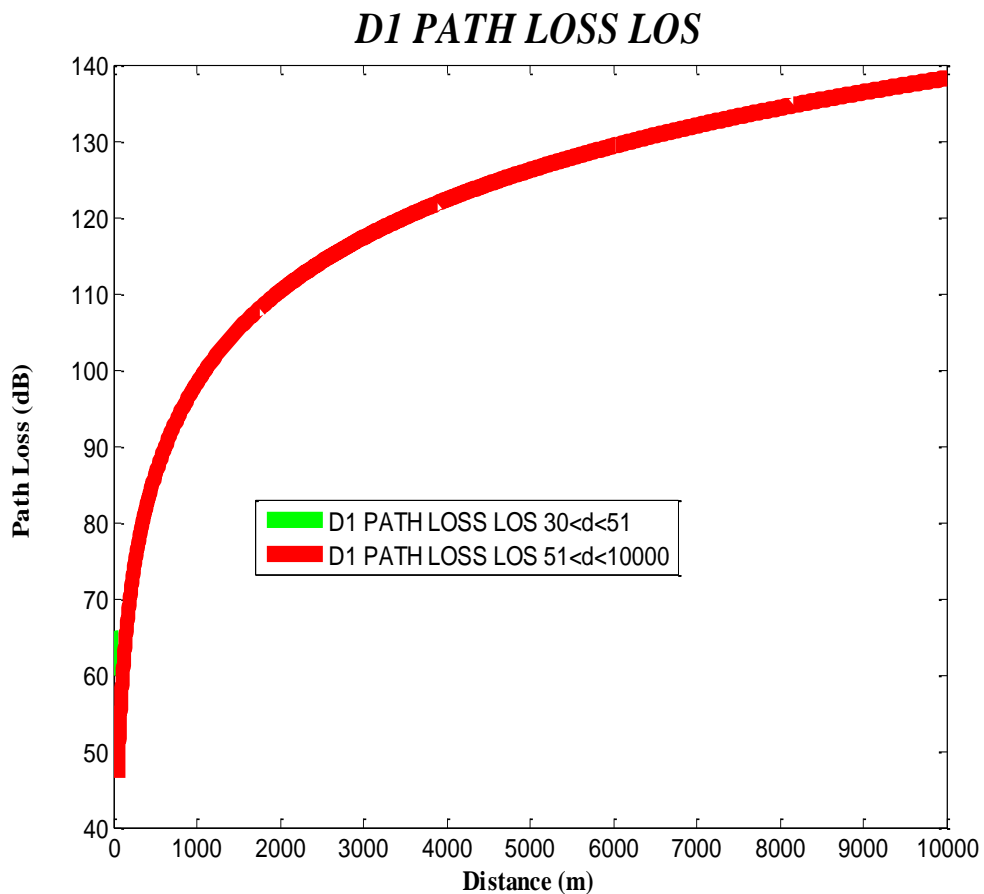
*Σχήμα 5.37* Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον C2 για συνθήκες μη οπτικής επαφής

### 5.3.6 Σενάριο D1

Η τελευταία προσομοίωση πραγματοποιείται για το επαρχιακό περιβάλλον. Η κεντρική συχνότητα είναι 800MHz. Στην περίπτωση οπτικής επαφής πραγματοποιείται μια ακόμη προσομοίωση για αποστάσεις μικρότερες του μήκους κεραίας σταθμού βάσης. Η σχέση που φαίνεται να υπάρχει σε αυτή την περίπτωση είναι σχεδόν γραμμική όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.38. Οι απώλειες σε κάθε

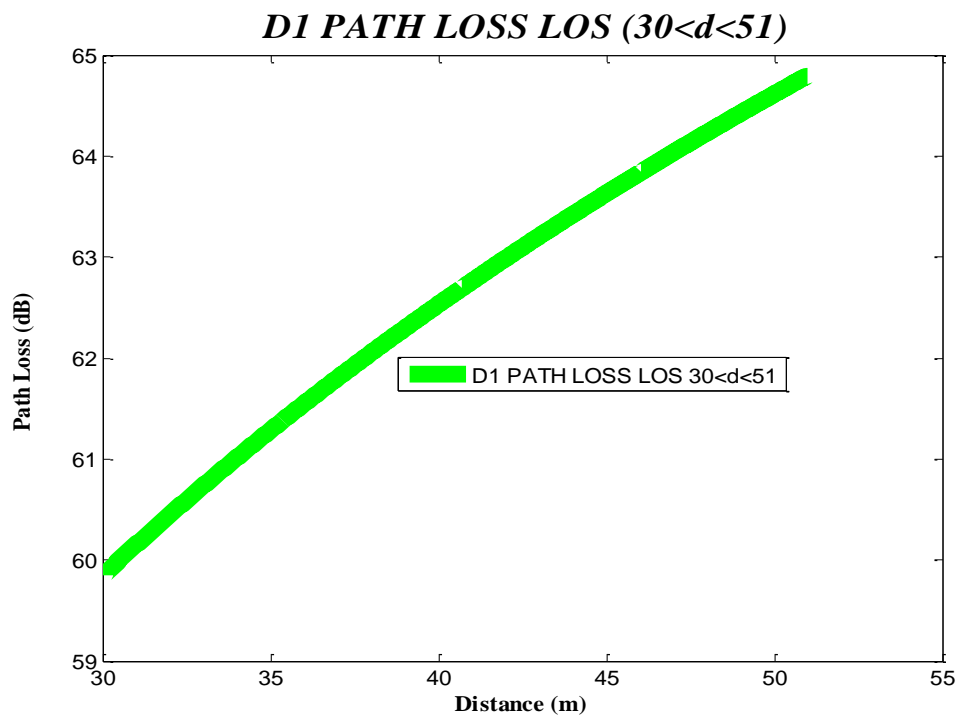
περίπτωση φαίνονται να αυξάνονται με την αύξηση της απόστασης με τους ρυθμούς αύξησης να είναι πολύ μεγαλύτεροι μέχρι τα 5 km και να τείνουν προς τη γραμμικότητα για αποστάσεις μεγαλύτερες των 9km.

### 5.3.6.1 LOS



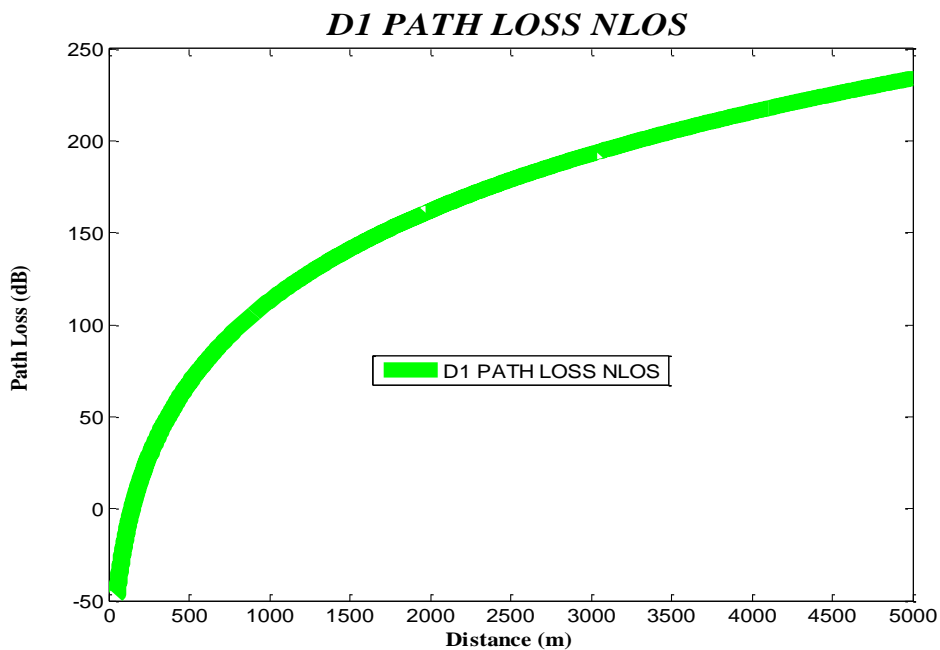
***Σχήμα 5.38 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον D1 για συνθήκες οπτικής επαφής***

Στην περίπτωση όπου δεν έχουμε οπτική επαφή μεταξύ κεραίας πομπού και δέκτη οι απώλειες του σεναρίου D1 φαίνεται να βγάζει παρόμοια αποτελέσματα με την περίπτωση του αστικού περιβάλλοντος που κάνει χρήση μακροκυψελών C2. Ακολουθούν τα σχήματα των προσομοιώσεων.



*Σχήμα 5.39 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον D1 για συνθήκες οπτικής επαφής*

### 5.3.6.2 NLOS



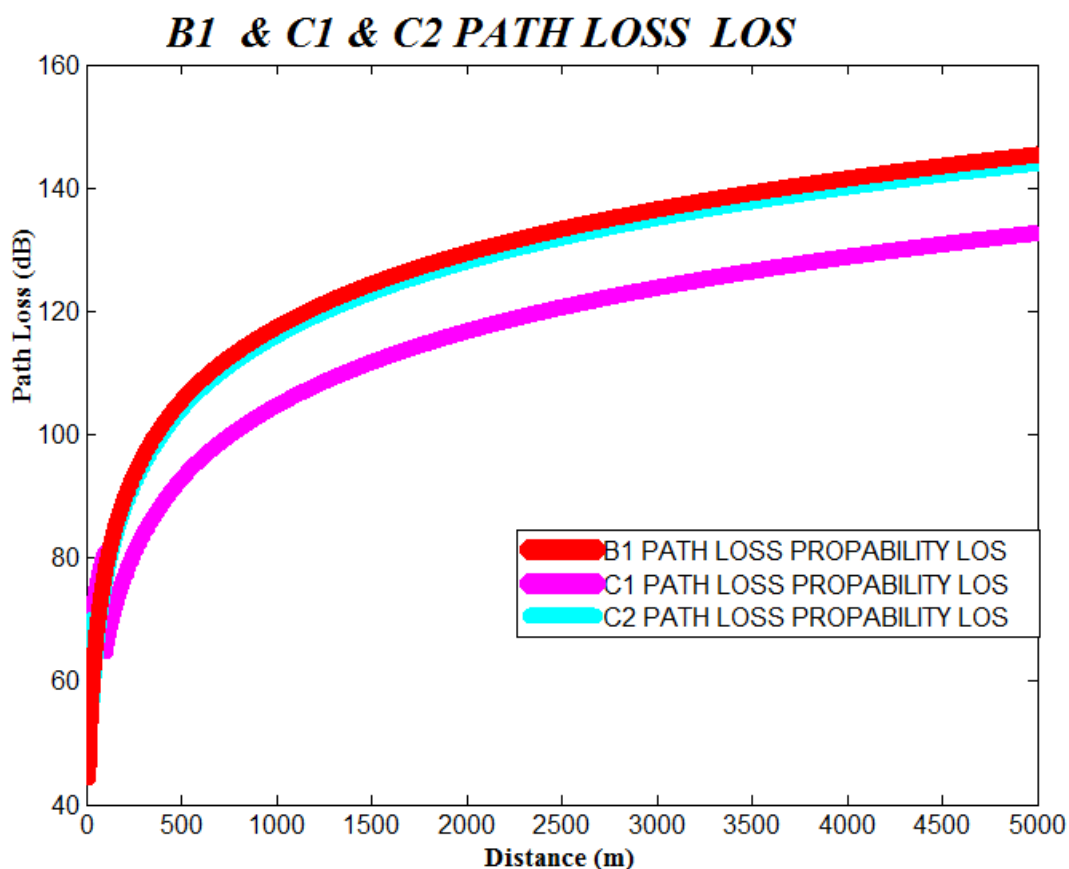
*Σχήμα 5.40 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον D1 για συνθήκες μη οπτικής επαφής*

### 5.3.7 Σύγκριση Σεναρίων B1 & C1 & C2

Τα τρία αυτά σενάρια B1, C1 και C2 μπορούν να προσομοιωθούν στις ίδιες αποστάσεις. Έτσι συγκρίνουμε τα διαγράμματα των σεναρίων για την περίπτωση οπτικής και μη οπτικής επαφής.

#### 5.3.7.1 LOS

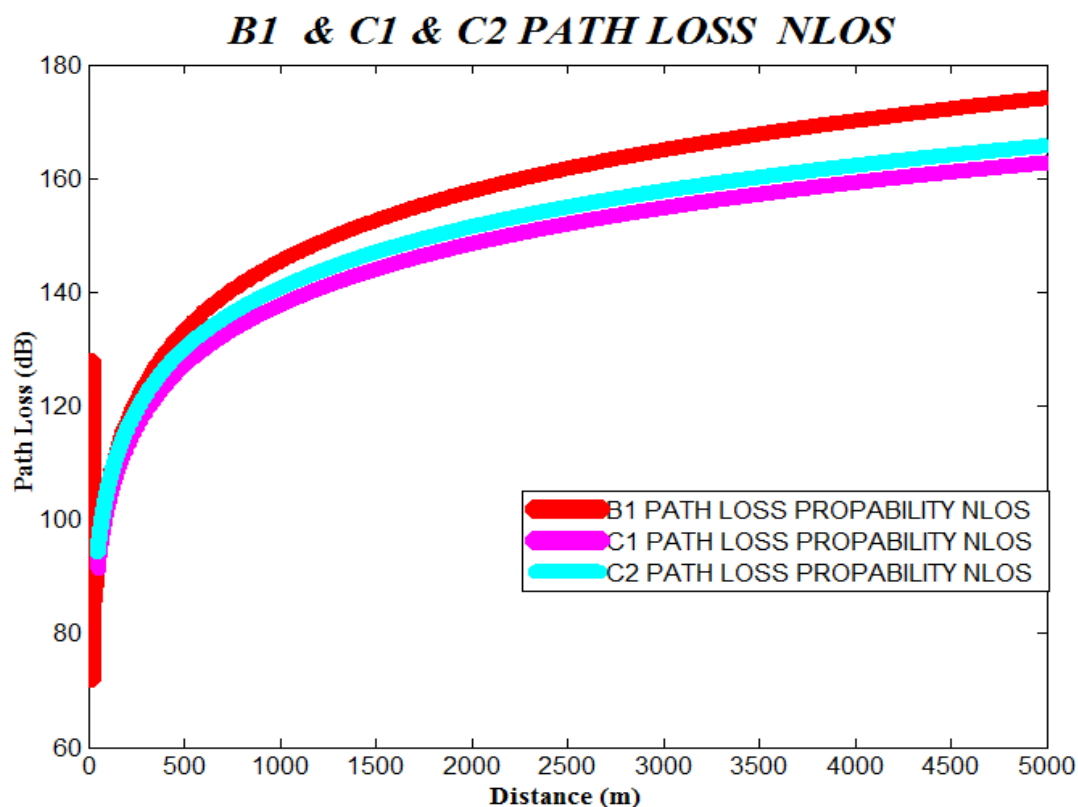
Στο Σχήμα 5.41 φαίνονται τα διαγράμματα των τριών σεναρίων. Παρατηρούμε πως οι απώλειες διάδοσης είναι μεγαλύτερες στην περίπτωση του σεναρίου B1. Οι απώλειες του σεναρίου C2 είναι συγκρίσιμες με το σενάριο B1, δηλαδή είναι αρκετά πιο πάνω από αυτές του C1. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε σχέση με το B1 οι κεραιές βρίσκονται πάνω από την οροφή των κτιρίων. Ακόμη, το περιβάλλον είναι προαστιακό με περισσότερο ανοικτούς χώρους, οπότε είναι λογικό να έχει τις λιγότερες απώλειες διάδοσης σε συνθήκες οπτικής επαφής.



Σχήμα 5.41 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1, C1, C2 για συνθήκες οπτικής επαφής

### 5.3.7.2 NLOS

Σε συνθήκες μη οπτικής επαφής οι λιγότερες απώλειες είναι στο σενάριο C1, ενώ και στις δύο περιπτώσεις το B1 είναι αυτό που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες απώλειες. Παρά τις διαφορές που μπορεί να παρουσιάζουν οι τιμές των απωλειών και των τριών περιπτώσεων βρίσκονται κοντά.



*Σχήμα 5.42 Απώλειες διάδοσης στο περιβάλλον B1, C1, C2 για συνθήκες μη οπτικής επαφής*

#### ***ΑΝΑΦΟΡΕΣ***

[ITU1]ITU-R, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced, 2009

[WIN1]Pekka Kyösti, Juha Meinilä, Lassi Hentilä, Xiongwen Zhao, Tommi Jämsä, Christian Schneider, Milan Narandžić, Marco Milojević, Alhua Hong, Juha Ylitalo, Veli-Matti Holappa, Mikko Alatossava, Robert Bultitude, Yvo de Jong, Terhi Rautiainen, WINNER II Channel Models, WINNER II, Information Society

Technologies, 2007



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3GPP] <http://www.3gpp.org>
- [3GPP1] 3GPP, Technical Specification Group Radio Access Network, *Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (Release 6)*, 2003
- [ΘΕΟ] Μ.Ε.Θεολόγου, *Δίκτυα Κινητών & Προσωπικών Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2007
- [KAN] Αθανάσιος Κανατάς, Κωνσταντίνου Φίλιππος, *Συστήματα Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών*, Εργαστήριο Κινητών Ραδιοεπικοινωνιών, 2001
- [ΣΤΡΑ] Δημήτριος Γ.Στρατογιάννης, *Θέματα Διαχείρισης Πόρων, Έλεγχος Αποδοχής Κλήσεων και Αξιολόγηση Επίδοσης σε Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα Επικοινωνιών*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών, Ε.Μ.Π, 2010
- [AMP] <http://www.amphenol-jaybeam.com>
- [ART] [http://www.artizanetworks.com/lte\\_tut\\_han\\_pro.html](http://www.artizanetworks.com/lte_tut_han_pro.html)
- [BAL] Constantine A.Balanis, *Κεραίες Ανάλυση & Σχεδίαση*, Εκδόσεις Ίων, 2005
- [DÖT] Martin Döttling, Werner Mohr, Afif Osseiran, *Radio Technologies and Concepts for IMT-Advanced*, Wiley, 2009
- [ENG] <http://engineermahmoud.blogspot.com>
- [FRI] <http://withfriendship.com>
- [FRE] <http://www.freewimaxinfo.com/>
- [HAR] <http://harriscommunications.net>
- [ITU] <http://www.itu.int>
- [ITU1] ITU-R, *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced*, 2009
- [ITU2] ITU-R, *Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)*, 2008
- [ITU3] ITU-R, *Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-Advanced*, 2008
- [ITU4] ITU-R, *Framework for services supported by IMT*, 2007
- [KAI] <http://vswww.kaist.ac.kr>
- [MIK] <http://www.mikrotik.com>
- [OKT] <http://octoscope.com/blog/>
- [QUA] [www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com)

[ROH] Rohde & Schwarz, *LTE Advanced Technology Introduction 2 White paper*, 2010

[TECH] <http://techshiv.blogspot.com/2011/05/wide-area-network.html>

[TGI] <http://blogs.sch.gr/tgiakoum>

[WIKI] <http://en.wikipedia.org>

[WIN] <http://www.ist-winner.org/>

[WIN1] Pekka Kyösti, Juha Meinilä, Lassi Hentilä, Xiongwen Zhao, Tommi Jämsä, Christian Schneider, Milan Narandžić, Marco Milojević, Alhua Hong, Juha Ylitalo, Veli-Matti Holappa, Mikko Alatossava, Robert Bultitude, Yvo de Jong, Terhi Rautiainen, *WINNER II Channel Models*, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

[WIN2] Jussi Ojala, Tim Irnich, Marja Matinmikko, Miia Mustonen, Pekka Ojanen, Claes Eriksson, *Spectrum requirements for systems beyond IMT-2000*, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

[WIN3] Ari Hulkkonen, Juha Meinilä, Marko Leinonen, *Detailed WINNER II system trial plan for Phase III trials*, WINNER II, Information Society Technologies, 2007

[WIN4] WINNER Phase II Channel Model Implementation version 0.64, 2008