



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ
ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ WINNER**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΑΨΑΛΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΙΟΣ 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ
WINNER**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΑΨΑΛΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την _____ 2013

.....
Χρήστος Καψάλης

.....
Γεώργιος Φικιώρης

.....
Αθανάσιος Παναγόπουλος

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΙΟΣ 2014

ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ

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

Copyright © Χρήστος Δ. Παπανικολόπουλος, 2014
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 τον συγγραφέα.

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

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα ειλικρινά να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Καψάλη για την εμπιστοσύνη και την αμεσότητα που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Η βοήθειά του ήταν πολύτιμη οποτεδήποτε και αν χρειάστηκε αφού δέχτηκε μέχρι και να συναντηθούμε εκτός σχολής για την επίλυση των ερωτημάτων που του έθεσα, σε περίοδο που η σχολή δε λειτουργούσε. Τον ευχαριστώ, επίσης, και για όλες τις πολύτιμες συμβουλές, προβληματισμούς και κίνητρα που μου έδωσε για την εκτέλεση της εργασίας μου, και όχι μόνο.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Ασυρμάτων και Μεγάλων Αποστάσεων, Νικόλαο Καψάλη, για τη σημαντική βοήθεια και συμβολή του, καθώς ήταν ένας από τους πρώτους ανθρώπους που με ενθάρρυναν να αρχίσω και να συνεχίσω την εργασία αυτή. Ήταν στο πλευρό μου όποτε τον χρειάστηκα δίνοντας μου υλικό από δική του μελέτη, παρά τον περιορισμένο χρόνο που είχε στη διάθεσή του. Ευχαριστώ, ακόμα, για όλες τις φορές που επικοινωνήσαμε και ήταν πάντα εκεί έτοιμος να μου απαντήσει και να με βοηθήσει με κάθε τρόπο.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου οι οποίοι με υποστήριξαν από την αρχή των σπουδών μου, ηθικά αλλά και υλικά. Η εργασία αυτή, είναι αφιερωμένη σε αυτούς, ως μια ελάχιστη ένδειξη ευγνωμοσύνης, για όσα έπραξαν, πράττουν και θα συνεχίσουν να πράττουν ανιδιοτελώς για μένα.

Χρήστος Παπανικολόπουλος, Μάϊος 2014

Περίληψη

Οι κινητές επικοινωνίες είναι ίσως η πιο κερδοφόρα και γρήγορα εξελισσόμενη βιομηχανία των ημερών μας. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η κινητή τηλεφωνία προσφέρει πλέον ένα μεγάλο και εγγυημένο πλήθος υπηρεσιών στους καταναλωτές.

Καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη αυτή έχει το πρότυπο LTE (Long Term Evolution) το οποίο χρησιμοποιείται αυτήν τη στιγμή για ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση κινητών συσκευών με υψηλές ταχύτητες. Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και έχει να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Βέβαια, σε πρακτικό επίπεδο, για την επιτυχή λειτουργία του θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι συνθήκες διάδοσης, η συμπεριφορά των χρηστών και η επιλογή των συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν. Μία εκ των προτέρων εκτίμηση λοιπόν για τη λειτουργικότητα κάθε δικτύου θα ήταν καθοριστική για την υλοποίησή του.

Οι δυνατότητες και η ευελίξια που προσφέρουν σήμερα οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, καθιστούν δυνατή την προσομοίωση τέτοιων συστημάτων. Η γνώση αυτή είναι πολύ σημαντική για το σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός δικτύου καθώς ο χρήστης μπορεί να ελέγξει πολλές παραμέτρους ώστε να καταλήξει στο καταλληλότερο για την εφαρμογή που ασχολείται.

Λέξεις-κλειδιά:

LTE, μοντέλα διάδοσης, προσομοίωση ζεύξεων, WINNER Project

Abstract

Mobile communications are maybe the most profitable and fast evolving industry of our days. Technology progress makes mobile telephony offer a large and guaranteed number of services to the users.

The key role for this situation plays the LTE (Long Term Evolution) standard which is now used for wireless communication of high speed data for mobile phones and data terminals. This standard is developed by the 3GPP (3rd Generation Partnership Project) and has many advantages to offer. In order to be successful in practice we should consider of propagation conditions, users profile and the parts which will be used. So, an “a priori” estimation of network parameters would be very important for its implementation.

The possibilities and flexibility computers have nowadays, give the opportunity to simulate such systems. This fact is much convenient for the design and the services of a network, once the user can choose between many parameters and finally keep the most suitable for the application he is working on.

Key-words:

LTE, propagation scenarios, link simulation, WINNER Project

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	14
Θεωρητικό Μέρο	15
2. Κινητές Επικοινωνίες, το πρότυπο LTE	15
2.1. Ιστορική αναδρομική.....	15
2.2. Το πρότυπο LTE	17
2.2.1. Κίνητρα χρήσης.....	18
2.2.2. Πλεονεκτήματα	18
2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	20
2.4. Αρχιτεκτονική δικτύου LTE	23
2.5. Αρχιτεκτονική στρωμάτων πρωτοκόλλων LTE	25
2.6. Το πρότυπο LTE Advanced	27
2.6.1. Περιγραφή	27
2.6.2. Ετερογενή δίκτυα.....	28
2.6.3. Πλεονεκτήματα	28
3. Μοντέλα Διάδοσης για Κινητές Ζεύξεις	30
3.1. A1- Indoor Office	30
3.2. A2-Indoor-to-Outdoor	31
3.3. B1-Urban Micro-cell.....	32
3.4. B2-Bad Urban Micro-cell	32
3.5. B3- Indoor Hotspot	32
3.6. B4-Outdoor-to-Indoor	33
3.7. B5-Stationary Feeder	33

3.7.1. B5a-St.Feeder rooftop-to-rooftop	33
3.7.2. B5b- LOS St. Feeder (street level-to-street level) ...	34
3.7.3. B5c & B5d- below rooftop-to-street level & rooftop-to-street level	35
3.7.4. B5f- LOS/NLOS stationary feeder (rooftop-to- below/above rooftop)	36
3.8. C1-Suburban Macro-cell	37
3.9. C2-Urban Macro-cell	37
3.10. C3-Bad Urban Macro-cell.....	37
3.11. C4- Urban Macro outdoor-to-indoor	38
3.12. D1-Rural Macro-cell	39
3.13. D2-Moving Networks	39
3.13.1. D2a.....	39
3.13.2. D2b.....	40
3.14. Διαδικασία Μοντελοποίησης	40
3.14.1. Παραγωγή Συντελεστών Καναλιού	41
3.14.2. Path Loss μοντέλα	47
3.14.3. Εξάρτηση του Path Loss από τη συχνότητα	48
3.14.4. Μεταβάσεις μεταξύ LOS/NLOS	48
4. Η πλατφόρμα Winner	50
4.1. Γενικά	50
4.2. Περιγραφή του WINNER	53

4.2.1. Ορισμοί και συχνότητα λειτουργίας	53
4.2.2. Παράμετροι μοντέλου	55
4.2.3. Διάταξη δικτύου	56
4.2.4. Συσχέτιση LSPs	56
4.2.5. Διαδικασία μοντελοποίησης	57
4.3. Τρόπος λειτουργίας του WINNER.....	59
4.3.1. Η συνάρτηση WIM.....	59
4.3.2. Ορίσματα εισόδου	60
4.3.3. Παράμετροι εξόδου	61
4.4. Χρήση του WINNER στη μοντελοποίηση καναλιού	61
4.4.1. Σύστημα συντεταγμένων	61
4.4.2. Διαπομπές.....	63
4.4.3. Πολλαπλή χρήση.....	65
4.4.4. Multihop και αναμετάδοση.....	65
4.4.5. Παρεμβολές.....	67
Μέρος Προσομοιώσεων	69
5. Μελέτη Ζεύξης: 1 BS – 2 MT	69
5.1. Περιγραφή της ζεύξης.....	69
5.2. Παρουσίαση του δικτύου	70
5.3. Εκτέλεση του WINNER	71
6. Μελέτη Ζεύξης: 2 BS – 5 MT	78
6.1. Περιγραφή της ζεύξης (1 ^η Περίπτωση).....	78

6.2. Παρουσίαση του δικτύου (1 ^η Περίπτωση)	79
6.3. Εκτέλεση του WINNER (1 ^η Περίπτωση).....	80
6.4. Παρουσίαση του δικτύου (2 ^η Περίπτωση)	91
6.5. Εκτέλεση του WINNER (2 ^η Περίπτωση).....	92
7. Μελέτη Ζεύξης: 3 BS – 2 MT στα 800 MHz	100
7.1. Περιγραφή της ζεύξης	100
7.2. Παρουσίαση του δικτύου	101
7.3. Εκτέλεση του WINNER	102
Βιβλιογραφία	110
Παράρτημα	111

1. Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να παρουσιάσει το πρότυπο LTE και να αναλύσει τα διάφορα μοντέλα διάδοσης για ζεύξεις κινητών επικοινωνιών. Η τελευταία ανάλυση γίνεται σε θεωρητικό επίπεδο και τα ανάλογα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται μέσω προσομοίωσης με χρήση του tool WINNER της διεθνούς ένωσης τηλεπικοινωνιών (ITU). Για τον λόγο αυτό, η εργασία χωρίζεται σε δύο μεγάλες ενότητες, μία που αφορά στη θεωρία και μία που αφορά στις προσομοιώσεις.

Στο θεωρητικό μέρος, στο 2^ο κεφάλαιο, γίνεται μία περιγραφή του προτύπου LTE, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του και τα βασικά χαρακτηριστικά του, καθώς και κάποιες εφαρμογές που αυτό συνεπάγεται. Το 3^ο κεφάλαιο αναφέρεται σε προσομοιώσεις και σε περιγραφή διαφόρων σεναρίων μετάδοσης με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός. Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η πλατφόρμα WINNER με χρήση της οποίας έχουν γίνει όλες οι προσομοιώσεις που ακολουθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Το μέρος των προσομοιώσεων αρχίζει στο 5^ο κεφάλαιο στο οποίο επιδεικνύεται η πλατφόρμα WINNER μέσω μιας ζεύξης μεταξύ ενός σταθμού βάσης και δύο κινητών τερματικών. Το 6^ο κεφάλαιο ασχολείται με ένα πιο πολύπλοκο δίκτυο που δημιουργείται από δύο σταθμούς βάσης και πέντε χρήστες. Στο κεφάλαιο αυτό, τίγονται και θέματα παρεμβολής μεταξύ των σταθμών πάνω σε συγκεκριμένα τερματικά και μελετάται ποια ζεύξη είναι περισσότερο ωφέλιμη για το τερματικό αυτό.

Θεωρητικό Μέρος

2. Κινητές Επικοινωνίες, το πρότυπο LTE

2.1. Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορική εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε 3 περιόδους:

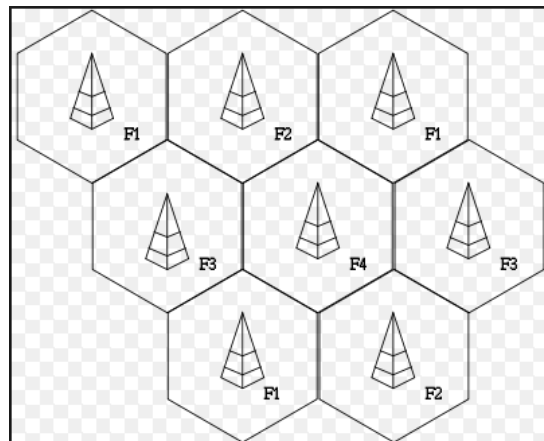
- Πρωτοποριακή εποχή (pioneer era)
- Προ κυψελών εποχή (precellular era)
- Μετά κυψελών εποχή (cellular era)

Η πρώτη περίοδος χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη και την επιβεβαίωση θεωριών που αφορούν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, και τις εφαρμογές που αυτά παρέχουν στην ασύρματη μετάδοση. Θεμελιώδης λίθος στην εξέλιξη αυτή υπήρξαν οι αναφορές του Clark Maxwell, Heinrich Rudolf Hertz και Guglielmo Marconi (πρώτη ραδιομετάδοση).

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προηγούμενες μελέτες, οδηγηθήκαμε στα προ-κυψελωτά ασύρματα δίκτυα. Σε αυτήν την εποχή, για πρώτη φορά εγκαταστάθηκε ασύρματο κινητό τηλεφωνικό σύστημα. Χαρακτηριστικό του ήταν μία υψηλά τοποθετημένη κεραία μεγάλης ισχύος η οποία κάλυπτε μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης. Η μετάδοση ήταν αναλογική με αποτέλεσμα την μη αποδοτική χρήση του φάσματος και την εξυπηρέτηση μικρού αριθμού χρηστών. Συνεπώς χρησιμοποιούνταν λίγα κανάλια και βέβαια χωρίς επαναχρησιμοποίηση. Τα συστήματα αυτά λειτουργούσαν στην περιοχή συχνοτήτων 2 MHz και βασικός παράγοντας εξέλιξής τους ήταν ο 2^{ος} παγκόσμιος πόλεμος. Έτσι, το 1969 υλοποιήθηκε κινητό αμφίδρομο σύστημα επικοινωνίας στη

μπάντα των 450 MHz στο οποίο οι ανταλλαγές των κλήσεων γίνονταν αυτόματα. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε IMTS (Improved Mobile Telephone System).

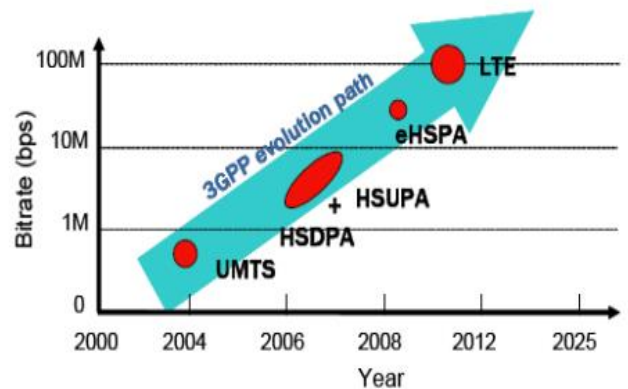
Το πρόβλημα της ανεύρεσης φάσματος οδήγησε στην ιδέα της δημιουργίας του πλέον διαδεδομένου κυψελωτού συστήματος, το οποίο φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Βασικό χαρακτηριστικό της εποχής αυτής είναι η επαναχρησιμοποίηση των ήδη υπάρχοντων συχνοτήτων με τέτοιο τρόπο και σε τέτοιες αποστάσεις ώστε να μειώνεται όσο το δυνατό περισσότερο η παρεμβολή.



Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής έχει οδηγήσει στην δημιουργία κινητών τερματικών που ανήκουν σε διαφορετικές «γενιές». Έτσι έχουμε:

- Πρώτης γενιάς - 1G: Υποστηρίζουν αναλογική μετάδοση 25 ή 30 kHz FM και χρησιμοποιούνται για επικοινωνία οχημάτων αποκλειστικά για δεδομένα φωνής
- Δεύτερης γενιάς - 2G: Χρησιμοποιούν στενής ζώνης TDMA και CDMA και υποστηρίζουν μετάδοση φωνής αλλά και δεδομένα χαμηλού ρυθμού. Εμφανίζονται και φορητές συσκευές με βασικό παράδειγμα να αποτελεί το σύστημα GSM
- 2.5G - 2.75G: Αποτελούν ενίσχυση του δικτύου 2G ώστε να παρέχονται αυξημένες δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων (π.χ. GPRS, EDGE)
- Τρίτης γενιάς - 3G: Φορητές συσκευές που χρησιμοποιούν ευρείας ζώνης d TDMA και CDMA και υποστηρίζουν μετάδοση φωνής αλλά και δεδομένα υψηλού ρυθμού. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί το σύστημα UMTS/IMT

- Τέταρτης γενιάς - 4G: Πρόκειται για τεχνολογία που αποτελείται από ετερογενή δίκτυα από διάφορα συνεργαζόμενα διαδραστικά δίκτυα, και όχι από ένα αποκλειστικό δίκτυο. Χρησιμοποιούνται τεχνικές διαφορικής λήψης, προσαρμοστικές διεπαφές αέρος και πρωτόκολλα καθώς και ανάθεση πόρων με σκοπό την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων και πολυμεσικών εφαρμογών με υψηλές χωρητικότητες. Στη γενιά αυτή ανήκει και η τεχνολογία του LTE η οποία προορίζεται να είναι «beyond 2020» και περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.



2.2. Το πρότυπο LTE

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πρότυπο LTE (Long Term Evolution) αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP και χρησιμοποιείται για ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση κινητών συσκευών με υψηλές ταχύτητες. Η λειτουργία του βασίζεται σε μία νέα τεχνολογία που ονομάζεται *Πρόσβαση Πακέτων Υψηλής Ταχύτητας UMTS/HSPA (High Speed Packet Access)* καθώς και στο γνωστό σύστημα *GSM/EDGE* χρησιμοποιώντας όμως διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης. Το πρότυπο αυτό στόχο έχει να αυξήσει την χωρητικότητα και την ταχύτητα του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ το LTE χαρακτηρίζεται ως σύστημα τέταρτης γενιάς (4G), δεν ικανοποιεί τις



απαιτήσεις που έχει θέσει η ITU, και για το λόγο αυτό το πρότυπο αυτό αναβαθμίστηκε στο LTE Advanced.

2.2.1. Κίνητρα Χρήσης του LTE

- Ανάγκη εξασφάλισης και συνέχειας της ανταγωνιστικότητας του ήδη υπάρχοντος 3G συστήματος στο μέλλον
- Συνεχώς μεγαλύτερες απαιτήσεις των χρηστών για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και QoS
- Μειωμένη καθυστέρηση round trip
- Μικρότερη πολυπλοκότητα και κόστος των συστημάτων μετάδοσης
- Απλοποιημένη αρχιτεκτονική και μικρότερος αριθμός στοιχείων του δικτύου
- Βελτιστοποιημένο σύστημα μεταγωγής πακέτου
- Καλύτερη αξιοποίηση και αποδοτικότητα του φάσματος

2.2.2. Απαιτήσεις Επίδοσης του LTE / Πλεονεκτήματα

- **Data rate:** μέγιστος ρυθμός δεδομένων στο downlink 100 Mbps σε φάσμα των 20 MHz (απόδοση φάσματος 5 bits/s/Hz)
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων στο uplink 50 Mbps σε φάσμα των 20 MHz (απόδοση φάσματος 2.5 bits/s/Hz)
- **Εύρος κυψέλης:** το βέλτιστο μέγεθος είναι 5 km. Για λογική επίδοση φτάνει τα 30 km ενώ αποδεκτή επίδοση επιτυγχάνεται με 100 km εύρος
- **Χωρητικότητα κυψέλης:** μέχρι 200 ενεργούς χρήστες εντός μιας κυψέλης με συσκευές σε συχνότητα 5 MHz
- **Κινητικότητα:** η λειτουργία βελτιστοποιείται για μικρή ταχύτητα χρηστών (0-15 km/h) αλλά υποστηρίζεται και υψηλή ταχύτητα (500 km/h)
- **Καθυστέρηση:** στο επίπεδο του χρήστη < 5 ms, στο επίπεδο του ελέγχου < 50 ms

- **Αυξημένη απόδοση φάσματος:** στενά εύρη ζώνης ώστε να μεταδίδονται περισσότερες πληροφορίες και να αυξάνονται οι χρήστες που το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει
- **Βελτιωμένη ευρυζωνική μετάδοση**
- **Βελτιστοποίηση του IP:** το IP έχει επιλεγεί ως πρωτόκολλο για όλες τις περιπτώσεις συνωστισμού χρηστών και έτσι ακόμα και δεδομένα φωνής θα παρέχονται μέσω αυτού (*VoIP- Voice Over IP*) και αποκλειστικά μεταγωγή πακέτου
- **Κλιμακούμενο εύρος λειτουργίας:** το LTE επιτυγχάνει 4 φορές περισσότερο εύρος ζώνης από το 3G γιατί εάν δεν υπάρχει διαθέσιμο εύρος 20 MHz τότε προσφέρονται κανάλια των 5 MHz σε πολλαπλάσια των 1.5 MHz. Οι τιμές του φάσματος είναι 20, 15, 10, 5, 3, 1.4 MHz
- **Αυξημένοι δείκτες ποιότητας QoS:** μειώνονται οι καθυστερήσεις διαπομπών και οι απώλειες πακέτου
- **Συνύπαρξη/συνεργασία:** με τα προηγούμενα standards

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα:

Metric	Requirement
Peak data rate	DL: 100Mbps UL: 50Mbps (for 20MHz spectrum)
Mobility support	Up to 500kmph but optimized for low speeds from 0 to 15kmph
Control plane latency (Transition time to active state)	< 100ms (for idle to active)
User plane latency	< 5ms
Control plane capacity	> 200 users per cell (for 5MHz spectrum)
Coverage (Cell sizes)	5 – 100km with slight degradation after 30km
Spectrum flexibility	1.25, 2.5, 5, 10, 15, and 20MHz

2.3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά του LTE

I. MIMO Systems

Το LTE standard χρησιμοποιεί ραδιοσυστήματα πολλών εισόδων-πολλών εξόδων (MIMO) με «έξυπνες κεραιές» (smart antennas) ώστε να ενισχυθεί η μετάδοση και η λήψη. Επίσης, υποστηρίζει *κωδικοποίηση χώρου-χρόνου (space-time coding)* για δεδομένη ροή δεδομένων με αποτέλεσμα τη βελτίωση της περιοχής κάλυψης κάθε κυψέλης. Αυτό είναι αντίθετο με την κλασική τεχνική διαφορικής λήψης-εκπομπής που χρησιμοποιεί μόνο μία κεραία μετάδοσης για την επέκταση της εκάστοτε περιοχής κάλυψης.

Το MIMO σύστημα του LTE έχει επίσης το πλεονέκτημα της *χωρικής πολυπλεξίας*. Αυτό συνεπάγεται ότι μπορούμε να μεταδώσουμε διαφορετικές ροές δεδομένων μέσω διαφορετικών κεραιών ταυτόχρονα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης από/προς τον χρήστη καθώς επίσης και η αύξηση της χωρητικότητας της κυψέλης. Ειδικά, εάν μέσω μηχανισμού ανάδρασης, υπάρχει γνώση για την κατάσταση του διαύλου τότε τα παραπάνω επιδέχονται επιπλέον αύξηση με ενεργοποίηση του συστήματος εκπομπής *πολλαπλών δεσμών (beam forming)*.

II. OFDM Modulation

Στο LTE χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multi-carrier) η οποία είναι τεχνική “*πολλών φέροντων*” (*multicarrier modulation-MCM*). Πρόκειται δηλαδή για ένα είδος διαμόρφωσης παράλληλης μετάδοσης στο οποίο ο ραδιοδιάυλος χωρίζεται σε επιμέρους φέροντα στενής ζώνης πάνω στα οποία μεταδίδονται δεδομένα ταυτόχρονα.

Γενικά το OFDM είναι κατάλληλο για μετάδοση με υψηλό ρυθμό αφού είναι αρκετά εύρωστο ενάντια στην διασπορά καθυστέρησης

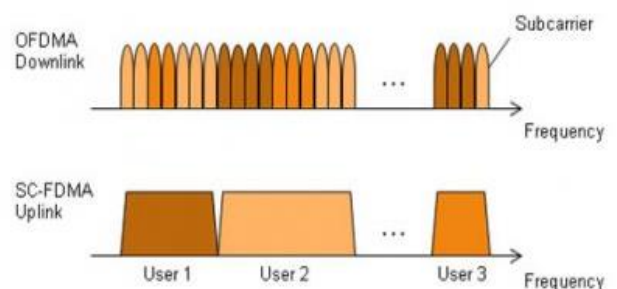
(delay spread). Κατά συνέπεια, αφού δεν χρειάζονται equalizers, είναι αρκετά απλή η εκμετάλλευση ενός συχνοεπιλεκτικού καναλιού (frequency selective channel). Λόγω αυτής της ιδιότητας λοιπόν, το OFDM παρέχει την δυνατότητα ευέλικτης και σωστής διαχείρισης του φάσματος με μικρή πολυπλοκότητα.

Περισσότερη ευνοϊκή γίνεται η λειτουργία του LTE αν χρησιμοποιηθούν «έξυπνες κεραιές» (smart antennas). Αυτές, σε συνδυασμό με την τεχνική OFDM, πετυχαίνουν κάθε υποφέρον να αντιμετωπίζεται ως *επίπεδο ως προς τις διαλείψεις (flat faded)* πράγμα που βελτιστοποιεί περισσότερο τη μετάδοση. Τέλος, το OFDM μέσω ενός κατάλληλου κυκλικού προθέματος, ενεργοποιεί ευρυζωνικές υπηρεσίες σε ένα συγχρονισμένο δίκτυο μιας συχνότητας (single frequency network-SFN). Ως αποτέλεσμα, τα αντίστοιχα σήματα συνδυάζονται στον αέρα πράγμα που αυξάνει την λαμβανόμενη ισχύ του σήματος και τον ρυθμό δεδομένων τέτοιων υπηρεσιών.

III. SC-FDMA

Η τεχνική αυτή προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων *Single-Carrier Frequency Division Multiple Access*. Επιλέχθηκε για να μειώσει το PAR (*Peak to Average Ratio*) το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο στη χρήση του OFDM, κυρίως για uplink, μιας και απαιτούνται κατάλληλοι ενισχυτές ισχύος για τις κινητές συσκευές.

Άλλο ένα κίνητρο είναι η μεγιστοποίηση της κάλυψης. Για κάθε χρονικό διάστημα, ο διαχειριστής του σταθμού βάσης εκχωρεί ένα διάστημα χρόνου/συχνότητας, στο τερματικό του χρήστη, για μετάδοση δεδομένων εξασφαλίζοντας ορθογωνιότητα εντός της κυψέλης. Για την αντιστάθμιση



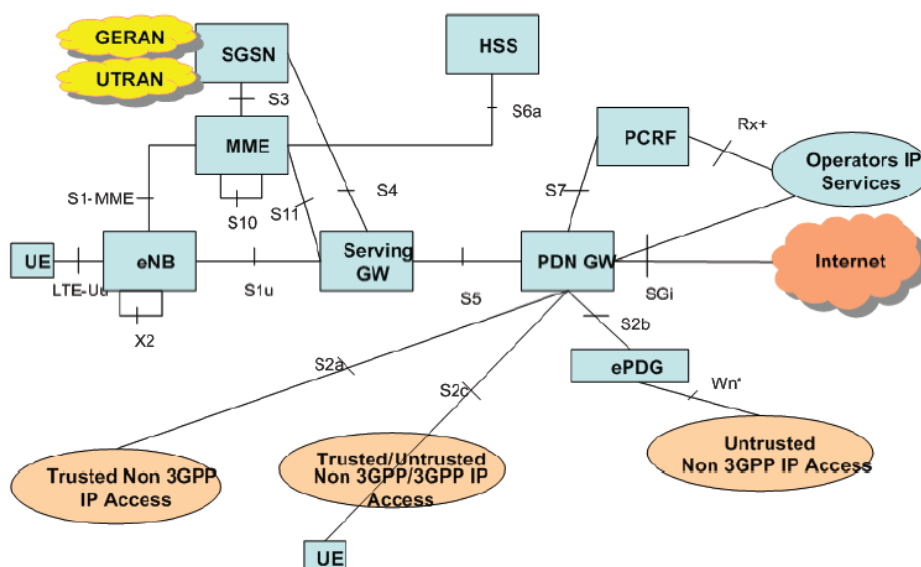
του path loss και των διαλείψεων, δε χρειάζεται γρήγορος έλεγχος ισχύος αφού λόγω της ορθογωνιότητας το φαινόμενο near-far δεν υφίσταται στη μετάδοση. Τα ίδια ισχύουν και στην περίπτωση του downlink.

Η επιλογή του SC-FDMA ως λύση βασίζεται στη δημιουργία κυκλικού προθέματος το οποίο προσφέρει υψηλή επίδοση και μικρή πολυπλοκότητα κατά την εκτέλεση στο δέκτη στο eNodeB. Με τον τρόπο αυτό, στο τερματικό εκχωρούνται συνεχόμενα block φάσματος ώστε να διατηρηθούν οι ιδιότητες του single-carrier και να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη ισχύς για τη μετάδοση. Αυτό συχνά ονομάζεται *blocked or localized SC-FDMA*.

Χάρη στα προηγούμενα χαρακτηριστικά, το πρότυπο του LTE καταφέρνει να ικανοποιήσει κάποιες αυστηρές απαιτήσεις του φυσικού στρώματος όπως η μειωμένη πολυπλοκότητα του συστήματος και του εξοπλισμού των χρηστών, η καλύτερη διαχείριση του διαθέσιμου φάσματος και η αξιοποίηση νέων συχνοτήτων στο φάσμα (white spaces).

2.4. Αρχιτεκτονική του δικτύου LTE

Το δίκτυο του LTE αποτελείται από αρκετά στοιχεία τα οποία συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα:



➤ Evolved Radio Access Network (RAN)

Το δίκτυο αυτό αποτελείται από έναν απλό κόμβο, π.χ. eNodeB, ο οποίος επικοινωνεί με τον εξοπλισμό του χρήστη. Ο κόμβος αυτός ασχολείται με το φυσικό στρώμα, με το στρώμα MAC (Medium Access Control), το στρώμα ραδιοζεύξεων (RLC) και με το στρώμα πρωτοκόλλων ελέγχου των δεδομένων των πακέτων (Packet Data Control Protocol-PDCP). Στο επίπεδο του χρήστη (user plane), εκεί γίνεται η συμπίεση και η κρυπτογράφηση ενώ στο επίπεδο του ελέγχου (control plane), εκεί γίνεται ο έλεγχος των πόρων του ραδιοδιαύλου (Radio Resource Control-RRC).

Άλλες λειτουργίες αυτού του δικτύου είναι η διαχείριση των πόρων, ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός, η επιβολή των συμφωνημένων υπηρεσιών και δεικτών QoS, οι πληροφορίες μετάδοσης των κυψελών, η συμπίεση/αποσυμπίεση και τέλος η κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση των δεδομένων.

➤ Serving GateWay (SGW)

Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό επιτυγχάνεται η δρομολόγηση και η προώθηση των πακέτων του χρήστη. Το SGW δρά και ως βαλβίδα σωτηρίας για τον χρήστη σε περίπτωση διαπομπών αλλά και για τις τεχνολογίες του LTE και 3GPP σε περίπτωση κινητικότητας. Όταν ο χρήστης βρίσκεται σε idle κατάσταση τότε το SGW τερματίζει το data path ενώ ενεργοποιεί το μηχανισμό του paging σε αντίθετη περίπτωση. Τέλος διαχειρίζεται και αποθηκεύει τα περιεχόμενα του χρήστη (όπως είναι οι IP παράμετροι του) ενώ ταυτόχρονα περιλαμβάνει και αντίγραφα του προφίλ του για περίπτωση υποκλοπών.

➤ Mobility Management Entity (MME)

Αυτό το κομμάτι έχει ρόλο-κλειδί για τον έλεγχο της πρόσβασης στο LTE δίκτυο. Είναι υπεύθυνο για idle ή μη καταστάσεις του κινητού τερματικού και εκτελεί αναμεταδόσεις. Επίσης ασχολείται με την

επιλογή του SGW για κάποιο τερματικό όταν συμβαίνει διαπομπή στο δίκτυο κορμού (Core Network-CN). Είναι υπεύθυνο για την αυθεντικότητα του χρήστη πράγμα που ελέγχεται από το HSS.

Το σήμα του τμήματος NAS (Non-Access Stratum) τεμαχίζεται στο MME και είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία και τον εντοπισμό των ταυτοτήτων των χρηστών. Επίσης, ελέγχει εάν ένα τερματικό λειτουργεί νόμιμα σε ένα δημόσια δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (Public Land Mobile Network-PLMN) και ευθύνεται για τους περιορισμούς του roaming.

Το τμήμα MME είναι το σημείο τερματισμού όσον αφορά την κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση για τα σήματα του NAS και χειρίζεται ακόμα και την γενικότερη ασφάλεια του δικτύου. Τέλος, το MME παρέχει τις λειτουργίες ελέγχου για την κινητικότητα μεταξύ των LTE και 2G/3G δικτύων όπου το S3 interface τερματίζει στο MME από το SGSN.

➤ Packet Data Network Gateway (PDN GW)

Το τμήμα αυτό παρέχει τη δυνατότητα συνδεσιμότητας του χρήστη στο δίκτυο μιας και όπως φαίνεται από το σχήμα είναι το σημείο εξόδου από το SGW και εισαγωγής του χρήστη στο επόμενο δίκτυο. Βέβαια, κάθε τερματικό μπορεί να είναι συνδεδεμένο σε πολλαπλές PDN Gateways ώστε να έχει πρόσβαση σε πολλά δίκτυα πακέτων.

Οι λειτουργίες που υποστηρίζονται στο στάδιο αυτό είναι πολιτικές ενίσχυσης, φιλτράρισμα των πακέτων, υποστήριξη σε όλο το δίκτυο και packet screening. Επίσης, και το τμήμα αυτό λειτουργεί ως «άγκυρα» για την κινητικότητα τεχνολογιών 3GPP και μη, όπως είναι το WiMax ή 3GPP2.

2.5. Αρχιτεκτονική των στρωμάτων Πρωτοκόλλων του LTE

i. Control Plane

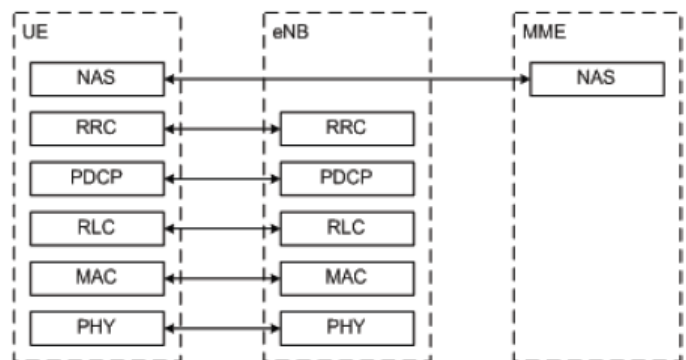
Το πρωτόκολλο NAS το οποίο λειτουργεί μεταξύ των τμημάτων MME και UE (user equipment) χρησιμοποιείται για διαδικασίες ελέγχου όπως είναι η σωστή ενοποίηση του δικτύου, η αυθεντικότητά του, η τοποθέτηση κομιστών και η διαχείριση της κινητικότητας. Όλα τα συγκεκριμένα μηνύματα κρυπτογραφούνται και η ακεραιότητά τους προστατεύεται από το MME και UE.

Το στρώμα RRC στον κόμβο eNodeB παίρνει τις αποφάσεις για τις διαπομπές μέσω

μετρήσεων σε γειτονικές κυψέλες που στέλνονται από το τερματικό του χρήστη, από σελίδες για τον χρήστη που στέλνονται μέσω του αέρα, από ευρυζωνικά συστήματα πληροφορίας και από μετρήσεις ελέγχου (όπως περιοδικότητα της ποιότητας των πληροφοριών καναλιού -CQI). Το στρώμα αυτό ευθύνεται επίσης και για την διατήρηση των κομιστών.

ii. User Plane

Το πρωτόκολλο PDCP είναι υπεύθυνο για την συμπίεση/ αποσυμπίεση των επικεφαλίδων των IP πακέτων χρησιμοποιώντας την τεχνική Robust Header Compression (ROHC). Επίσης, το στρώμα αυτό κρυπτογραφεί τα δεδομένα και για το user αλλά και για το control plane. Συνεπώς, αφού τα μηνύματα NAS έχουν ήδη κρυπτογραφηθεί, τώρα είναι περισσότερο προστατευμένα με την επιπλέον κρυπτογράφηση.



Control plane protocol stack

Το RLC στρώμα της στοίβας, έχει σκοπό τη μεταφορά της κίνησης από το τερματικό μέχρι τον κόμβο. Το στρώμα αυτό παρέχει 3 είδη αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων:

Acknowledged Mode (AM),

Unacknowledged Mode (UM) και

Transparent Mode (TM). Το πρώτο

είδος είναι κατάλληλο για non-real

time υπηρεσίες όπως είναι το file

downloading. Αντίθετα, το δεύτερο

είδος αφορά σε real-time υπηρεσίες

οι οποίες είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση (delay sensitive) και

δεν μπορούν να περιμένουν για αναμεταδόσεις. Το τελευταίο είδος,

χρησιμοποιείται όταν τα PDU (Packet Data Units) μεγέθη είναι εκ

των προτέρων γνωστά όπως είναι ένα ευρυζωνικό σύστημα

πληροφοριών. Επίσης, στόχος του στρώματος αυτού είναι η διανομή

των SDU (Services Data Units) στα ανώτερα στρώματα καθώς και η

αποφυγή δημιουργίας αντίγραφων αυτών.

Τέλος, υπάρχουν και άλλα δύο επίπεδα αναμετάδοσης που

προσδίδουν αξιοπιστία τα οποία είναι τα Hybrid Automatic Repeat

request (HARQ) στο στρώμα MAC και ένα εξωτερικό ARQ στο

στρώμα RLC. Το εξωτερικό χρησιμοποιείται για διόρθωση λαθών

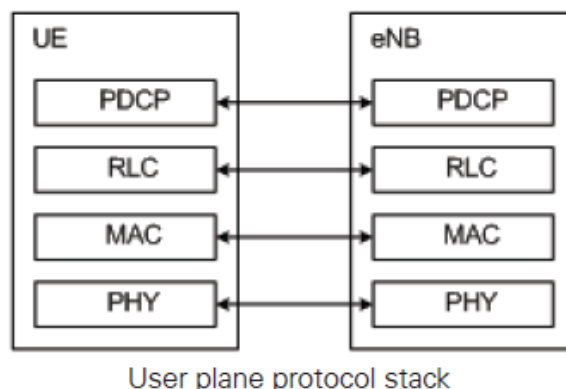
που δεν έγινε από το εσωτερικό στρώμα η οποία γίνεται με μία απλή

ανάδραση εσφαλμένων bits. Το HARQ πρωτόκολλο εφαρμόζει μία

stop-and wait διαδικασία στην οποία γίνονται ασύγχρονες

αναμεταδόσεις για download και σύγχρονες αναμεταδόσεις για

upload.

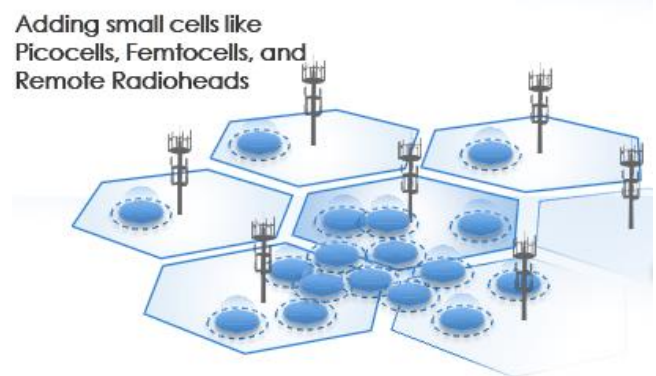


2.6. Το πρότυπο LTE Advanced

2.6.1. Περιγραφή του προτύπου

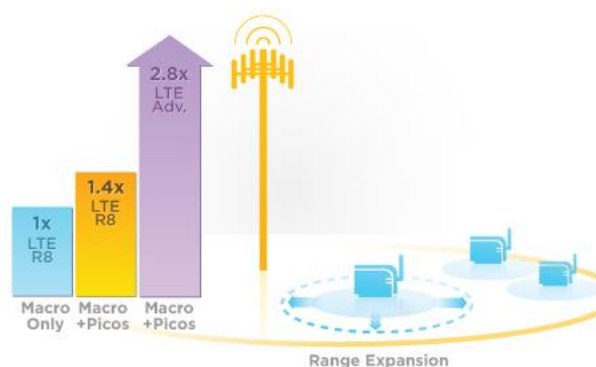
Προκειμένου να πετύχει τους στόχους επίδοσης που έχει θέσει η ITU, το πρότυπο LTE αναβαθμίστηκε στο πρότυπο LTE Advanced το οποίο αναπτύσσεται πάλι από τον οργανισμό 3GPP. Πλέον, το πρότυπο αυτό έχει καθιερωθεί για τη λειτουργία όλων των συστημάτων 4G. Εκτός από την χρήση πολλαπλών ραδιοδιαύλων και την ανάπτυξη νέων τεχνικών για τις κεραιές, το σημαντικότερο όφελος που προσφέρει το LTE Advanced είναι η βελτιστοποίηση των *ετερογενών δικτύων (Heterogeneous Networks-HetNets)* που συντελεί στην καλύτερη επίδοση των μικρών κυψελών.

Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται το LTE Advanced είναι ότι η εισαγωγή μικρών κυψελών σε ένα δίκτυο (όπως microcells, picocells, femtocells) δίνει περισσότερα πλεονεκτήματα όσον αφορά στη χωρητικότητα των χρηστών και στο ρυθμό δεδομένων που χρησιμοποιούν.



2.6.2. Ετερογενή Δίκτυα του LTE Advanced

Το άλμα στην χωρητικότητα και την επίδοση του δικτύου πρόκειται να επέλθει από κάποια εξέλιξη στην τοπολογία του δικτύου, πράγμα που γίνεται με «μίξη» μακροκυψελών και μικροκυψελών μέσα στο **ίδιο κανάλι**. Αυτή η τεχνική χαρακτηρίζει ένα δίκτυο ως ετερογενές το οποίο περιλαμβάνει

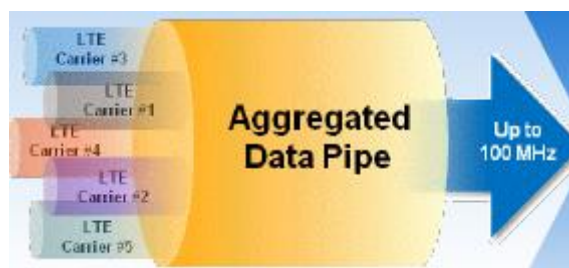


ενισχυμένο συντονισμό παρεμβολών στις εσωτερικές κυψέλες (*enhanced Inter-cell Interference Coordination- eICIC*) και ανεπτυγμένους τερματικούς δέκτες με ακύρωση παρεμβολών (*Interference Cancellation-IC*).

Για την επιπλέον πύκνωση τέτοιων δικτύων, προτείνεται η εισαγωγή μικρών κυψελών και αναμεταδοτών με Non-Line-of-Sight wireless ώστε να διευκολυνθεί ακόμα περισσότερο η λειτουργικότητα του ετερογενούς δικτύου. Με αυτές τις τεχνικές, τα HetNets καταφέρνουν να πετύχουν τεράστιο κέρδος όσον αφορά στην αποδοτικότητα του φάσματος καθώς και επέκταση της περιοχής κάλυψης.

2.6.3. Πλεονεκτήματα του LTE Advanced

- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης μέχρι 100 MHz μέσω blocks των 20 MHz (συνένωση φέροντων-carrier aggregation)
- Μεγαλύτερη χωρητικότητα
- Uplink MIMO (2 κεραιές μετάδοσης σε κάθε συσκευή)
- Υψηλότερης τάξης downlink MIMO μέχρι 8x8
- Coordinate Multipoint Transmission (CoMT) με βάση δύο προσεγγίσεις: συντονισμένος προσχεδιασμός και/ή beamforming και συντονισμένη μετάδοση
- Υποστήριξη από ετερογενή δίκτυα (HetNets) που περιλαμβάνουν (eICIC)
- Δίκτυο «πιο κοντά» στον χρήστη με χρήση μικρών κυψελών
- Αναμετάδοση



Στον παρακάτω πίνακα περιλαμβάνονται οι επιδόσεις του LTE Advanced σε σχέση με το IMT Advanced.

Item	IMT-Advanced Requirement	LTE-Advanced Projected Capability
Peak Data Rate Downlink		1 Gbps
Peak Data Rate Uplink		500 Mbps
Spectrum Allocation	Up to 40 MHz	Up to 100 MHz
Latency User Plane	10 msec	10 msec
Latency Control Plane	100 msec	50 msec
Peak Spectral Efficiency DL ¹³³	15 bps/Hz	30 bps/Hz
Peak Spectral Efficiency UL	6.75 bps/Hz	15 bps/Hz
Average Spectral Efficiency DL	2.2 bps/Hz	2.6 bps/Hz
Average Spectral Efficiency UL	1.4 bps/Hz	2.0 bps/Hz
Cell-Edge Spectral Efficiency DL	0.06 bps/Hz	0.09 bps/Hz
Cell-Edge Spectral Efficiency UL	0.03 bps/Hz	0.07 bps/Hz

3. Μοντέλα Διάδοσης για Κινητές Ζεύξεις

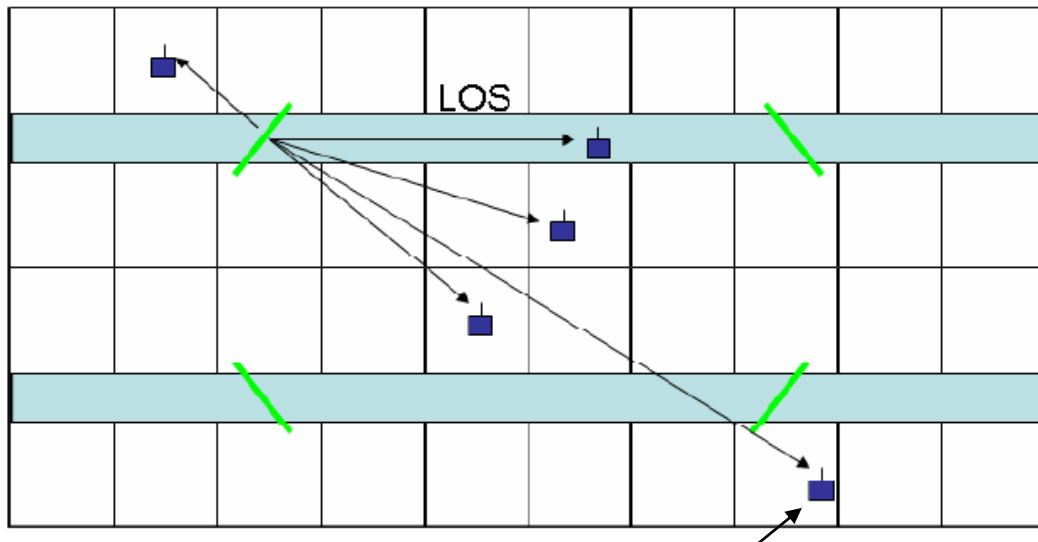
Το παρόν κεφάλαιο έχει σκοπό να παρουσιάσει τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα διάδοσης κινητών επικοινωνιών που συναντούμε στην πράξη. Φυσικά, αυτά τα μοντέλα δεν μπορούν να καλύψουν όλες τις δυνατές περιπτώσεις καθώς για κάθε χώρα ή ακόμα και για περιοχές (μεγάλες ή μικρές σε έκταση) εντός της ίδιας χώρας μπορεί να ισχύουν εντελώς διαφορετικά σενάρια.

Η παρουσίαση λοιπόν, περιγράφει κάποια έτοιμα μοντέλα που έχουν οριστεί, κυρίως από την διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών ITU, και εξετάζει τις διαφορές παραμέτρους καθενός μοντέλου. Κίνητρο και μέλημα κάθε μηχανικού είναι βέβαια η εφαρμογή των μοντέλων αυτών πάνω σε συγκεκριμένη, κάθε φορά, μελέτη.

3.1. A1-Indoor Office

Βασική υπόθεση είναι ότι οι σταθμοί βάσης βρίσκονται εντός των διαδρόμων. Τότε, η LOS διάδοση γίνεται από διάδρομο σε διάδρομο ενώ η NLOS περίπτωση αφορά σε διάδοση από διάδρομο σε δωμάτιο. Το βασικό path loss (PL) στην NLOS περίπτωση υπολογίζεται σε δωμάτια που βρίσκονται δίπλα σε διαδρόμους στους οποίους είναι το σημείο πρόσβασης. Αντίθετα, για δωμάτια που βρίσκονται μακριά από τους διαδρόμους, μεγαλύτερη επίπτωση έχουν οι απώλειες λόγω των τοίχων (WL-wall loss), κυρίως αυτών που είναι παράλληλοι στους διαδρόμους. Τέλος, πρέπει να συμπεριλάβουμε τις απώλειες λόγω ορόφων (FL-floor loss) οι οποίες θεωρούνται σταθερές κατά μήκος του ίδιου ορόφου ενώ αυξάνονται αν η διάδοση αφορά διαφορετικούς ορόφους και σε κάθε περίπτωση προστίθονται στις προηγούμενες απώλειες.

Παράδειγμα ενός εσωτερικού περιβάλλοντος φαίνεται σχηματικά παρακάτω:

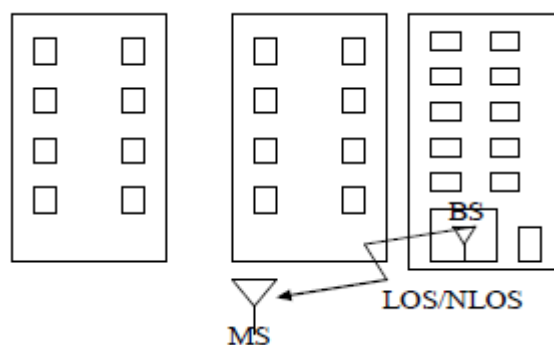


Για το τελευταίο τερματικό πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι απώλειες από τις 3 τοίχους που μεσολαβούν από το σημείο πρόσβασης.

3.2. A2-Indoor-to-Outdoor

Στο σενάριο αυτό η κεραία του κινητού τερματικού (MS) θεωρείται ότι έχει ύψος 1-2 m ενώ η κεραία του σταθμού βάσης (BS) θεωρείται ότι έχει ύψος 2-2.5 m συν το ύψος του εκάστοτε ορόφου. Το εξωτερικό περιβάλλον εντάσσεται στην κατηγορία B1 ενώ το εσωτερικό στην κατηγορία A1. Συνήθως, οι 3 πρώτοι όροφοι χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις με τον 1^ο όροφο να λαμβάνεται ως γείωση. Οι παράμετροι αυτού του μοντέλου είναι ίδιες με των B4 και C4 και θα σχολιαστούν στην συνέχεια.

Σχηματικά, ένα τέτοιο περιβάλλον φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



3.3. B1-Urban Micro-cell

Το μοντέλο αυτό αφορά σε κεραιές των σταθμών βάσης και των τερματικών με ύψη αρκετά μικρότερα από αυτά των γύρω κτηρίων. Θεωρούμε ότι και οι BS και τα MS βρίσκονται σε εξωτερικό περιβάλλον και οι δρόμοι είναι σε διάταξη Manhattan (Manhattan-like grid). Οι δρόμοι στην περιοχή κάλυψης ορίζονται ως “main streets”, όπου υπάρχουν LOS συνιστώσες από όλους τους BS αλλά πιθανώς να μπλοκάρονται από την γύρω κίνηση (π.χ. φορτηγά και λεωφορεία). Οι δρόμοι που τέμνουν τους “main streets” αναφέρονται ως «κάθετοι δρόμοι» (perpendicular streets) ενώ αυτοί που είναι παράλληλοι τους αναφέρονται ως «παράλληλοι δρόμοι» (parallel streets). Το μοντέλο αυτό καλύπτει περιπτώσεις διάδοσης με LOS και NLOS συνιστώσες και το σχήμα των κυψελών καθορίζεται από τα γύρω κτήρια. Η ενέργεια των NLOS σημάτων οφείλεται σε διάδοση σε στροφές των δρόμων, σε κτήρια αλλά και μεταξύ αυτών.

3.4. B2-Bad Urban Micro-cell

Το περιβάλλον του μοντέλου αυτού ταυτίζεται με το προηγούμενο. Η διαφορά εντοπίζεται στα χαρακτηριστικά της διάδοσης όπου τώρα συναντάμε σήματα πολυδιαδρομής (multipath propagation) λόγω απομακρυσμένων αντικειμένων. Η ενέργεια των σημάτων αυτών μπορεί να ομαδοποιηθεί (cluster) και έχει αξιόλογη ισχύ, μέχρι και κάποια dB σε σχέση με τα απ’ευθείας σήματα οπότε και προκαλούνται σοβαρές καθυστερήσεις. Τέτοιες περιπτώσεις συμβαίνουν όταν ο ραδιοδίαυλος υφίσταται μεταξύ ανοιχτών περιοχών όπως πάρκα, πλατείες καθώς και μεγάλες επιφάνειες νερού.

3.5. B3-Indoor Hotspot

Στο μοντέλο αυτό, οι συνθήκες διάδοσης είναι σχετικές με αυτές που επικρατούν στο σενάριο του indoor hotspot, με ευρεία αλλά όχι αδιάλειπτη κάλυψη και χαμηλή κινητικότητα (0-5 km/h).

Αναμενόμενα φαινόμενα στο σενάριο αυτό είναι η κίνηση και το αυξημένο φορτίο, όπως συμβαίνει συνήθως σε αίθουσες συνεδριάσεων, εταιρείες, σταθμούς τρένων και αεροδρόμια όπου το εσωτερικό περιβάλλον είναι μία ευρεία περιοχή. Η απόσταση μεταξύ ενός BS και MS ή μεταξύ δύο MS είναι σημαντική. Τυπικές διαστάσεις τέτοιων περιοχών είναι από 20x20 m μέχρι και πάνω από 100 m σε μήκος και πλάτος και 20 m ύψος. Στο μοντέλο αυτό, υπάρχουν και LOS και NLOS περιπτώσεις.

3.6. B4-Outdoor-to-Indoor

Στο σενάριο αυτό, οι κεραιές των τερματικών έχουν ύψος 1-2 m συν το ύψος του ορόφου και οι κεραιές των σταθμών είναι κάτω από τις σκεπές, δηλαδή με κυμαινόμενο ύψος μεταξύ 5-15 m εξαρτώμενο από τα ύψη των γειτονικών κτηρίων (που συνήθως έχουν περισσότερους από 4 ορόφους). Ως εξωτερικό περιβάλλον, θεωρείται μία μητροπολιτική περιοχή τύπου B1, δηλαδή περιβάλλον αστικών μικροκυψελών με υψηλή πυκνότητα χρηστών και υψηλές απαιτήσεις για throughput και spectral efficiency. Ως εσωτερικό περιβάλλον θεωρείται ένα μικρό γραφείο τύπου A1. Πάλι για προσομοιώσεις χρησιμοποιούμε τους 3 πρώτους ορόφους και σαν γείωση τον 1° .

3.7. B5- Stationary Feeder

Αυτό το μοντέλο εκφράζει περιπτώσεις όπου τα τερματικά είναι σταθερά. Για λόγους ευκολίας, το σενάριο αυτό χωρίζεται σε 4 υποκατηγορίες. Το ύψος των κεραιών σε επίπεδο δρόμων είναι της τάξης των 3-5 μέτρων.

Σε τέτοιου είδους σενάρια, οι ολισθίσεις Doppler που υφίστανται οι ακτίνες δεν είναι συνάρτηση των γωνιών άφιξης (AoA-Angle of Arrival), αντιθέτως εξαρτώνται από την κίνηση των σκεδαστών. Στο B5 μοντέλο, αφήνουμε έναν μόνο κινούμενο σκεδαστή ανά cluster ενώ τους άλλους σταθερούς.

Η διαφορά φάσης των σκεδαζόμενων κυμάτων μεταξύ των χρονικών στιγμών t και $t+\Delta t$ δίνεται από τη σχέση:

$$4\pi \frac{f_c}{c} \Delta t \cdot \cos(\gamma_p) \cdot \cos(a_p)$$

όπου a_p είναι η γωνία της κατεύθυνσης κίνησης του σκεδαστή και γ_p είναι η γωνία της κατεύθυνσης που είναι ορθογώνια στο ανακλαστικό επίπεδο και στη γωνία ανάκλασης. Με κατάλληλη επιλογή αυτών των γωνιών μπορούμε να πετύχουμε διαφορετικές συχνότητες Doppler.

3.7.1. B5a-LOS stationary feeder (rooftop-to-rooftop)

Το μεταδιδόμενο σήμα έχει μία ισχυρή LOS συνιστώσα με μία ανάκλαση παρόλο που μπορούν να συμβούν και άλλες σε μακρινή όμως απόσταση. Συνεπώς, η ζεύξη αυτή μπορεί προσεγγιστικά να θεωρηθεί ότι συμβαίνει σε free space οπότε το path loss δεν εξαρτάται από τα ύψη των κεραιών. Για το σενάριο αυτό χρειάζεται να ορίσουμε τη εξάπλωση γωνίας (angle spread), την εξάπλωση καθυστέρησης (delay spread) και τη διασταύρωση πολώσεων (XPR). Προκειμένου να μειωθούν οι καθυστερήσεις και οι πολυδιαδρομές θα ήταν επιτακτική η χρήση κατευθυντικών κεραιών. Παρ'όλα αυτά, το σενάριο λειτουργεί και για ομοιοκατευθυντικές κεραιές για εύρος μέχρι 300 m ενώ για κατευθυντικές μέχρι και 8 km.

Για την κρουστική απόκριση του διαύλου εισάγουμε ένα στατικό κανάλι χωρίς διαλείψεις με ισχύ 10dB. Το προφίλ ισχύος και καθυστέρησης επιλέγεται να είναι εκθετικό ενώ οι διαλείψεις σκίασης είναι Gaussian μηδενικού μέσου και τυπικής απόκλισης 3.4dB.

3.7.2. B5b- LOS stationary feeder (street level-to-street level)

Θεωρούμε πως μεταξύ του πομπού και του δέκτη μεσολαβούν πολλοί σκεδαστές στην ενδιάμεση περιοχή τους και ότι μπορεί να συναντήσουμε και ηχώ στο τέλος των δρόμων. Υπάρχει LOS

συνιστώσα και όταν το μονοπάτι αυτό έχει σημαντική ισχύ, οι σκεδαστές δεν παίζουν σημαντικό ρόλο. Όμως μετά από κάποια «κρίσιμη απόσταση» (breakpoint distance), η επιπτώσεις τους πρέπει να συμπεριληφθούν στην μελέτη.

Στο δεδομένο σενάριο, επιτρέπεται να υπάρχουν ποικίλες συσχετίσεις για κάποιες παραμέτρους όπως το angle spread, delay spread και shadow fading οπότε και απαιτείται να γνωρίζουμε την εξάρτηση μεταξύ path loss και delay spread. Συνήθως, επιλέγουμε:

- delay spread 30ns για path loss μικρότερο από 85dB (range 1)
- delay spread 110 ns για path loss από 85-110 dB (range 2)
- delay spread 380ns για path loss μεγαλύτερο από 110dB (range 3)

Η «κρίσιμη απόσταση» ορίζεται ως εξής:

$$r_b = 4 \frac{(h_b - h_o)(h_b - h_o)}{\lambda}$$

και μετά από αυτήν εφαρμόζεται το γνωστό «μοντέλο 2 ακτίνων» γι'αυτό και υπάρχει εξάρτηση από τα ύψη των κεραιών.

Το προφίλ καθυστέρησης ισχύος, για όλα τα μονοπάτια εκτός του άμεσου, επιλέγεται να είναι εκθετικό. Για την εξαγωγή κάποιων κρουστικών αποκρίσεων θέτουμε 3 dB διαλείψεις σκίασης ανά μονοπάτι. Ανάλογα με τα τρία range αλλάζει και ο παραγόντας Rice K.

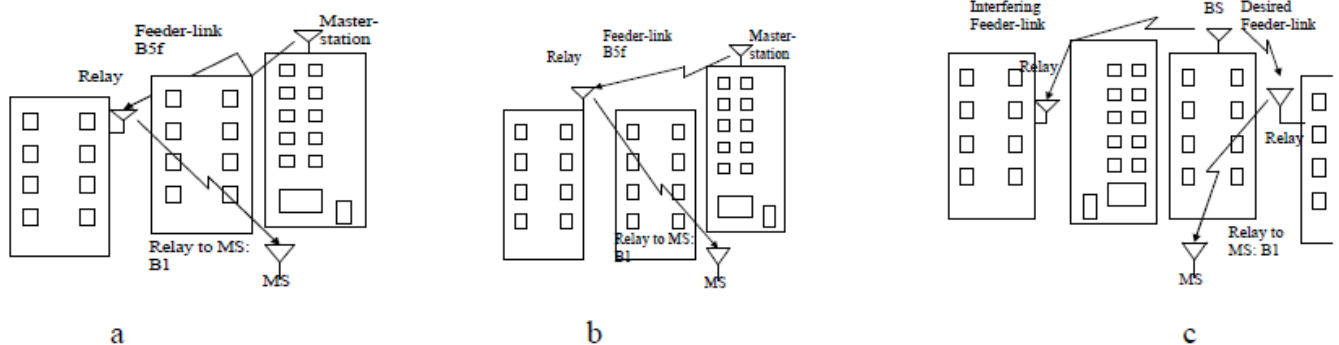
3.7.3. B5c & B5d- below rooftop-to-street level & rooftop-to-street level

Σε αυτά τα μοντέλα, οι LOS διαδόσεις είναι όμοιες με το B1, ενώ οι NLOS διαδόσεις με το C2. Το μόνο επιπρόσθετο χαρακτηριστικό είναι υποστήριξη για το φάσμα του φαινομένου Doppler. Το σενάριο B5c θεωρείται το πιο σημαντικό για σταθερές ζεύξεις γιατί αυτό χρησιμοποιείται σε αστικό περιβάλλον μικροκυψελών με

αναμετάδοση. Η μόνη διαφορά με το μοντέλο B1 είναι το ύψος της κεραίας εκπομπής/αναμετάδοσης. Η κινητικότητα κάποιων cluster, η οποία προκαλεί και τις ολισθήσεις Doppler, είναι της τάξης των 50 km/h ενώ τα υπόλοιπα θεωρούνται σταθερά (τοίχοι, γωνίες δρόμων.

3.7.4. B5f- LOS/NLOS stationary feeder (rooftop-to-below/above rooftop)

Η σχηματική απεικόνιση αυτού του σεναρίου είναι η επόμενη:



B5f scenario for three cases: a) NLOS (OLOS) b) LOS c) Combined interference case

Εδώ, οι αναμεταδότες βρίσκονται σε κάποιο ύψος πάνω ή κάτω από τις οροφές των κτηρίων και κρίσιμη πληροφορία είναι εάν πρόκειται για LOS ή NLOS διάδοση. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι μπορούμε να δημιουργήσουμε LOS ζεύξεις με τις κεραίες **κάτω** από τις οροφές και αντίστροφα NLOS ζεύξεις με τις κεραίες **πάνω** από τις οροφές.

Η προσέγγιση που κάνουμε είναι ότι η ζεύξη μεταξύ σταθμού και αναμεταδότη είναι LOS ή OLOS (Obstructed LOS) δηλαδή γενικά «καλές» ζεύξεις. Επίσης οι ανεπιθύμητες παρεμβολικές ζεύξεις από άλλους σταθμούς μπορεί να είναι είτε LOS είτε NLOS παρόλο που στην πράξη μπορούν να περιοριστούν με σωστή σχεδίαση. Η ζεύξη FRS(Fixed Relay Station)-MS υλοποιείται σύμφωνα με το B1 μοντέλο.

Βασική, επίσης, υπόθεση είναι ότι ο αναμεταδότης σκιάζεται λόγω εμποδίων. Το προτεινόμενο μοντέλο βασίζεται στη φιλοσοφία ότι του

B5a LOS fixed relay μοντέλου με μία μείωση 15dB κατά μέσο όρο σε κάθε στοιχείο και προσθέτοντας σε αυτό έναν κανονικά κατανεμημένο αριθμό (σε dB) με απόκλιση 8 dB.

3.8. C1-Suburban Macro-cell

Οι κεραιές των σταθμών βάσης των μακροκυψελών, σε αυτήν την περίπτωση, βρίσκονται αρκετά πάνω από τις οροφές των κτηρίων ώστε να παρέχεται ευρεία περιοχή κάλυψης. Οι κινητοί σταθμοί είναι συνήθως σε εξωτερικό περιβάλλον δρόμου, στο οποίο τα κτήρια περιλαμβάνουν μικρό αριθμό ατόμων και σε μέγεθος δεν ξεπερνούν τους 2 ορόφους ενώ τα διαμερίσματα των block μπορεί να έχουν περισσότερους. Το περιβάλλον θεωρείται μέτριας βλάστησης και μπορεί να διευρύνεται περισσότερο γιατί, ανάμεσα στα σπίτια μεσολαμβάνουν πάρκα ή παιδικές χαρές κάποιας αξιολογής έκτασης. Η διάταξη των δρόμων δεν ταιριάζει με αυτή ενός αστικού περιβάλλοντος.

3.9. C2-Urban Macro-cell

Στο περιβάλλον αυτό, τα κινητά τερματικά βρίσκονται σε εξωτερικό περιβάλλον δρόμων και οι σταθεροί σταθμοί βάσης είναι σε ύψος εμφανώς μεγαλύτερο των γύρω κτηρίων. Όσον αφορά στις συνθήκες διάδοσης, πρόκειται συνήθως για ζεύξεις μη οπτικής επαφής ή οπτικής επαφής με εμπόδια λόγω της περίθλασης από τις κορυφές των κτηρίων. Τα κτήρια έχουν περισσότερους από 4 ορόφους και τα block που αυτά σχηματίζουν, μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι τύπου Manhattan grid με αρκετές ακανόνιστες περιοχές. Η κατανομή των χρηστών και τα ύψη των κτηρίων είναι περίπου ομοιόμορφα στο αστικό περιβάλλον μακροκυψελών.

3.10. C3-Bad Urban Macro-cell

Σε αντίθεση με πριν, το σενάριο αυτό αφορά σε αστικές περιοχές με ανομοιογένεια στα ύψη των κτηρίων και στην πυκνότητα χρηστών με

αποτέλεσμα να προκύπτει σεβαστή διασπορά στην καθυστέρηση και στη γωνία. Οι ανομοιογένειες οφείλονται κυρίως είτε σε μεγάλες εκτάσεις νερού που χωρίζουν τα block των κτηρίων είτε σε ουρανοξύστες. Επιπρόσθετη αιτία της διασποράς, τυχαίνει να είναι και η ύπαρξη βουνών γύρω από την αστική περιοχή. Παρόλο που οι σταθμοί βάσης είναι τοποθετημένοι σε ύψη μεγαλύτερα του μέσου ύψους των γύρω κτηρίων, η περιοχή κάλυψης περιλαμβάνει και κτήρια που υπερβαίνουν σε ύψος τους σταθμούς. Από την σκοπιά της μοντελοποίησης, το σενάριο αυτό διαφέρει από το κλασικό αστικό περιβάλλον, γι' αυτό και προσθέτουμε ένα επιπλέον cluster μακρινών σκεδαστών.

3.11. C4- Urban Macro outdoor-to-indoor

Το εξωτερικό και το εσωτερικό περιβάλλον περιγράφονται εδώ ως τα περιβάλλοντα των σεναρίων C2 και A1, αντίστοιχα. Το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης είναι αρκετά μεγαλύτερο από το μέσο ύψος των υπόλοιπων κτηρίων. Αυτό συνεπάγεται τα εξής δύο αποτελέσματα· αφενός θα διεισδύσουν στους τοίχους ισχυρά LOS σήματα στα υψηλότερα επίπεδα του κτηρίου, αφετέρου στα χαμηλότερα πατώματα θα υπάρχει σοβαρό πρόβλημα σκίασης.

Πρέπει να επισημανθεί ότι, η διάδοση από εξωτερικό-σε-εσωτερικό με μακροκυψέλες είναι **αρκετά διαφορετικό** από το αντίστοιχο περιβάλλον με μικροκυψέλες. Αυτό συμβαίνει γιατί με τις μακροκυψέλες παράγεται μεγαλύτερη διασπορά καθυστερήσεων και μεγαλύτερη απώλεια μονοπατιού απ' ό,τι στο περιβάλλον με τις μικροκυψέλες (εσωτερικό περιβάλλον). Τέλος, κρίνεται ότι η διάδοση από το εξωτερικό μέσα από τους τοίχους και η διάδοση εντός του κτηρίου (στο εσωτερικό) δεν εμφανίζει μεγάλες διαφορές.

3.12. D1-Rural Macro-cell

Η διάδοση σε αγροτικές περιοχές, θεωρούμε ότι αφορά σε ραδιοζεύξεις μεταξύ μεγάλων περιοχών (ακτίνας μέχρι και 10 km) με μικρό αριθμό κτηρίων. Το ύψος της κεραίας του σημείου πρόσβασης είναι μεταξύ 20-70 m, κατά πολύ μεγαλύτερο από τα ύψη των κτηρίων της περιοχής, οπότε αναμένεται να κυριαρχούν LOS συνθήκες διάδοσης στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής κάλυψης.

Στην περίπτωση που ο χρήστης βρίσκεται μέσα σε κτήριο ή σε όχημα, υπεισέρχεται ένας επιπλέον παράγοντας απωλειών ο οποίος, σε επίπεδο προσομοίωσης, εκφράζεται ως μία σταθερή τιμή εξαρτώμενη από τη συχνότητα. Η κεραία του AP (Access Point) είναι σταθερή σε αυτό το σενάριο και η ταχύτητα της κεραίας του χρήστη εκτείνεται στο εύρος 0-200 km/h.

3.13. D2-Moving Networks

Στο μοντέλο D2, το περιβάλλον θεωρείται αγροτικό (Rural Moving Network) όπου και το AP και ο UE είναι κινούμενα πιθανώς με πολύ μεγάλη ταχύτητα όπως συμβαίνει σε τρένα με ασύρματη κάλυψη από κινούμενο αναμεταδότη (MRS-Moving Relay Station) ο οποίος βρίσκεται στην οροφή του τρένου. Συνεπώς, λαμβάνουν χώρα δύο ειδών ζεύξεις. Η ζεύξη μεταξύ του σταθερού σταθμού βάσης και του κινούμενου δικτύου που είναι κυρίως LOS, και η ζεύξη μεταξύ του αναμεταδότη και του κινητού τερματικού.

Για την καλύτερη κατανόηση της μελέτης, το μοντέλο αυτό χωρίζεται σε δύο επιμέρους μοντέλα.

3.13.1. D2a

Το σενάριο αυτό πρόκειται για ζεύξη σταθερού BS και MRS με LOS διάδοση με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Υπάρχουν σιδηροδρομικές γραμμές που συνοδεύουν τους σταθμούς βάσης κάθε 1000-2000 m

- Οι σταθμοί βάσης είναι είτε 50 m μακριά από τις γραμμές με ύψος 30 m είτε 2 m μακριά με ύψος 5 m
- Το ύψος του τρένου μαζί με τον αναμεταδότη είναι 2.5 m
- Η ταχύτητα του τρένου είναι 350 km/h

Θεωρούμε επίσης, ότι δεν υπάρχουν τούνελ στην πορεία του τρένου αν και, για λόγους προσομοίωσής τους, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την χαμηλότερη κεραία του BS προκειμένου να συμπεριληφθούν οι μεγάλες αλλαγές των συχνοτήτων Doppler.

3.13.2. D2b

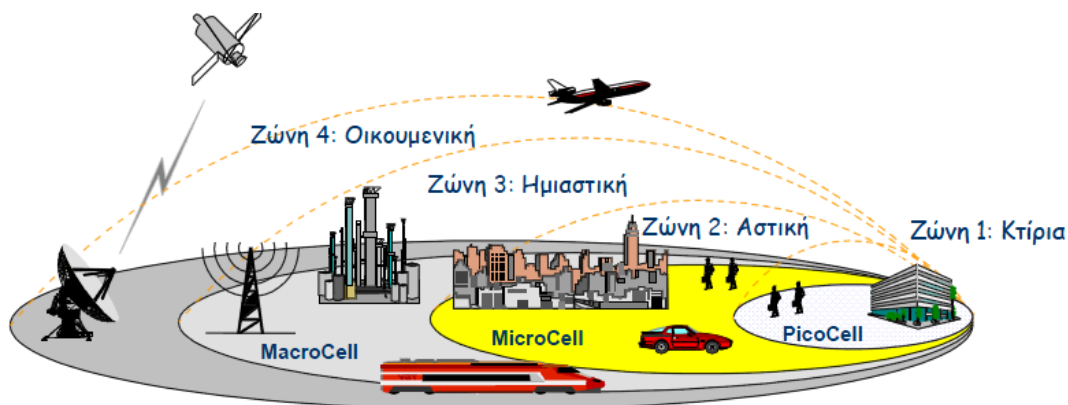
Το μοντέλο αυτό λειτουργεί για περιπτώσεις διάδοσης **εντός** του τρένου και αφορά τη ζεύξη μεταξύ MRS και UE. Το βαγόνι υποτίθεται ότι έχει ένα επίπεδο αν και δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά για ένα διώροφο βαγόνι. Η κεραία αναμετάδοσης είναι τοποθετημένη στην οροφή του βαγονιού πράγμα που σημαίνει ότι η παραπάνω ζεύξη είναι NLOS.

Σημαντική υπόθεση επίσης, είναι ότι τα παράθυρα είναι φτιαγμένα από θερμοπροστατευτικό γυαλί, με συνέπεια, για το ταχέως κινούμενο τρένο, οι σκεδαστές να μην επηρεάζουν τη διάδοση. Αυτό συμβαίνει γιατί, το γυαλί αυτό μειώνει την ισχύ των ραδιοκυμάτων κατά 20 dB ανά κατεύθυνση δίνοντας συνολική μείωση της τάξης των 40 dB των σκεδαζόμενων σημάτων που είτε μεταδίδονται στο εξωτερικό είτε επαναμεταδίδονται στο εσωτερικό.

3.14. Διαδικασία Μοντελοποίησης

Σε αυτήν την παράγραφο, περιγράφεται αναλυτικά όλη η διαδικασία και οι προεργασίες που χρειάζεται να γίνουν όταν πρόκειται για προσομοίωση των προηγούμενων μοντέλων. Αναφέρονται αναλυτικά όλα τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε, αφενός για την επιλογή των παραμέτρων και αφετέρου για την υλοποίηση ενός τέτοιου σεναρίου.

Για λόγους κατανόησης και καλύτερης αντίληψης του «μεγέθους» των κυψελών, παρατίθεται το επόμενο σχήμα, στο οποίο φαίνεται ο τύπος των κυψελών που είναι κατάλληλες για κάθε είδος σεναρίου ή περιοχής γενικότερα.



3.14.1. Παραγωγή των συντελεστών του καναλιού / Απαιτούμενα Βήματα

Γενικές Παράμετροι

Βήμα 1: Ορίζουμε το περιβάλλον, τη διάταξη του δικτύου (network layout) και τον πίνακα παραμέτρων των κεραιών

- Επιλέγουμε το επιθυμητό σενάριο (A1,A2,B1,...)
- Ορίζουμε τον αριθμό των BS και MS
- Δίνουμε τις θέσεις των BS και MS ή ισοδύναμα τις αποστάσεις τους και τις σχετικές κατευθύνσεις των γωνιών ϕ_{LOS} και ψ_{LOS} για κάθε BS και MS αντίστοιχα
- Εισάγουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας (διαγράμματα πεδίου) των σταθμών βάσης και των κινητών σταθμών και τον πίνακα γεωμετρίας αυτών
- Δίνουμε τον πίνακα κατευθύνσεων των σταθμών σε σχέση με το βορρά
- Επιλέγουμε την ταχύτητα των τερματικών και την κατεύθυνση της κίνησής τους
- Δίνουμε την συχνότητα λειτουργίας (κεντρική συχνότητα) του συστήματος

Παράμετροι Μεγάλης Κλίμακας

Βήμα 2: Βρίσκουμε το είδος της διάδοσης που έχουμε (LOS/NLOS) ανάλογα με την πιθανότητα ύπαρξης LOS διάδοσης η οποία προκύπτει συναρτήσει της απόστασης ως εξής:

Scenario	LOS probability as a function of distance d [m]	Note
A1	$P_{LOS} = \begin{cases} 1 & , d \leq 2.5 \\ 1 - 0.9 \left(1 - (1.24 - 0.61 \log_{10}(d)) \right)^3 & , d > 2.5 \end{cases}$	
B1	$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36)$	
B3	$P_{LOS} = \begin{cases} 1 & , d \leq 10 \\ \exp\left(-\frac{d-10}{45}\right) & , d > 10 \end{cases}$	For big factory halls, airport and train stations.
C1	$P_{LOS} = \exp\left(-\frac{d}{200}\right)$	
C2	$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/63)) + \exp(-d/63)$	
D1	$P_{LOS} = \exp\left(-\frac{d}{1000}\right)$	

Table 4-7 Line of sight probabilities

Βήμα 3: Υπολογίζουμε το Path Loss για κάθε σενάριο που προσομοιώνουμε μέσω ενός πίνακα ο οποίος διατίθεται στο παράρτημα στο τέλος του κειμένου.

Βήμα 4: Παράγουμε τις συσχετίσεις των παραμέτρων μεγάλης κλίμακας (Large Scale Parametres) όπως είναι η διασπορά καθυστέρησης και γωνιών, ο παράγοντας Rice και οι διαλείψεις σκίασης.

Παράμετροι Μικρής Κλίμακας

Βήμα 5: Ορίζουμε, για το υπό εξέταση σενάριο, τις καθυστερήσεις τ όπως προκύπτουν από τον, αναγραφόμενο στο παράρτημα, πίνακα:

Για εκθετική κατανομή καθυστερήσεων, αυτές υπολογίζονται με βάση τη σχέση:

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

όπου r_τ είναι ο αναλογικός παράγοντας της κατανομής καθυστερήσεων, σ_τ είναι το delay spread, $X_n \sim U(0,1)$ και n είναι ο δείκτης για κάθε cluster. Κανονικοποιώντας τις καθυστερήσεις με αφαίρεση από τη μικρότερη και ταξινομώντας τις κατά φθίνουσα σειρά προκύπτουν οι ζητούμενες καθυστερήσεις τ_n .

Ειδικά για την περίπτωση που έχουμε LOS διάδοση, πρέπει να εισάγουμε έναν επιπλέον παράγοντα που εξαρτάται από τον παράγοντα Rice K και υπολογίζεται μέσω του τύπου:

$$D = 0.7705 - 0.0433K + 0.0002K^2 + 0.000017K^3$$

οπότε οι καθυστερήσεις γίνονται : $\tau_n^{LOS} = \tau_n/D$

Πρέπει να προσέξουμε ότι οι καθυστερήσεις αυτές **δεν** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των ισχύων.

Βήμα 6: Προσδιορισμός των ισχύων των cluster. Θεωρώντας εκθετικό προφίλ καθυστέρησης ισχύος και με βάση τον προηγούμενο πίνακα οι ισχύεις υπολογίζονται ως:

$$P'_n = \exp \left(-\tau_n \frac{r_\tau - 1}{r_\tau \sigma_\tau} \right) \cdot 10^{-\frac{Z_n}{10}} : \text{εκθετική κατανομή}$$

$$P'_n = \exp \left(-\frac{\tau_n}{\sigma_\tau} \right) \cdot 10^{-\frac{Z_n}{10}} : \text{ομοιόμορφη κατανομή}$$

όπου $Z_n \sim N(0, \zeta)$ είναι η σκίαση ανά cluster.

Η μέση λοιπόν ισχύς θα είναι: $P_n = \frac{P'_n}{\sum_{n=1}^N P'_n}$

Βήμα 7:

7a: Ορίζουμε τη γωνία άφιξης φ και τη γωνία αναχώρησης ϕ . Εάν το φάσμα ισχύος του αζιμούθιου (Power Azimuth Spectrum-PAS) όλων των cluster είναι Gaussian, τότε οι γωνίες άφιξης προκύπτουν μέσω της αντίστροφης Gaussian συνάρτησης με παραμέτρους εισόδου τις ισχύεις P_n και RMS angle spread σ_φ , δηλαδή:

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

όπου $\sigma_{AoA} = \sigma_\varphi / 1.4$, C είναι μία σταθερά που σχετίζεται με τον αριθμό των cluster και δίνεται από τον επόμενο πίνακα:

# clusters	4	5	8	10	11	12	14	15	16	20
C	0.779	0.860	1.018	1.090	1.123	1.146	1.190	1.211	1.226	1.289

Στην LOS περίπτωση, η σταθερά C εξαρτάται και από τον παράγοντα Rice, όπως παρακάτω:

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

Για να πάρουμε την τελική έκφραση για τις γωνίες, πολλαπλασιάζουμε με έναν τυχαίο αριθμό ομοιόμορφα κατανομημένο στο διακριτό σύνολο $\{-1, 1\}$ και προσθέτοντας με ένα στοιχείο $Y_n \sim N(0, \frac{\sigma_{AoA}}{5})$ και παίρνουμε:

$$\varphi_n = X_n \varphi_n' + Y_n + \varphi_{LOS}$$

με τις γωνίες φ_{LOS} να έχουν ορισθεί ήδη στο βήμα 1.c.

Για τη LOS περίπτωση, η έκφραση παίρνει τη μορφή:

$$\varphi_n = X_n \varphi'_n + Y_n - (X_n \varphi'_1 + Y_1 - \varphi_{\text{LOS}})$$

Τέλος, προσθέτουμε και το κατάλληλο offset για να πάρουμε τελικά:

$$\varphi_{n,m} = \varphi_n + c_{\text{AoA}} \alpha_m$$

Ray number m	Basis vector of offset angles α_m
1,2	± 0.0447
3,4	± 0.1413
5,6	± 0.2492
7,8	± 0.3715
9,10	± 0.5129
11,12	± 0.6797
13,14	± 0.8844
15,16	± 1.1481
17,18	± 1.5195
19,20	± 2.1551

Ανάλογη διαδικασία εφαρμόζεται και για τις γωνίες αναχώρησης.

7b: Αν υποστηρίζονται και γωνίες ανύψωσης, τότε ορίζουμε και τις γωνίες ανύψωσης άφιξης ψ και αναχώρησης γ . Η διαδικασία είναι όμοια με πριν.

Βήμα 8: Τυχαίο coupling των ακτινών μέσα στα cluster. Το coupling γίνεται μεταξύ των γωνιών άφιξης και αναχώρησης μέσα σε κάποιο cluster ή σε sub-cluster στην περίπτωση που έχουμε δύο πολύ ισχυρά cluster.

Βήμα 9: Εισάγουμε τους ρυθμούς διασταύρωσης πολώσεων (XPR) κ για κάθε ακτίνα m καθενός cluster n . Το XPR ακολουθεί τη λογαριθμοκανονική κατανομή και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\kappa_{m,n} = 10^{X/10}$$

,όπου $m=1,2,\dots,M$ και $X \sim N(\sigma, \mu)$

Παραγωγή Συντελεστών

Βήμα 10: Σχεδιάζουμε για κάθε ακτίνα m καθενός cluster n τις στιγμιαίες φάσεις $\{\Phi_{n,m}^{vv}, \Phi_{n,m}^{vh}, \Phi_{n,m}^{hv}, \Phi_{n,m}^{hh}\}$ για τους τέσσερις διαφορετικούς συνδυασμούς πόλωσης. Η κατανομή των παραπάνων φάσεων είναι ομοιόμορφη στο $(-\pi, \pi)$.

Βήμα 11: Για κάθε cluster n και για όλα τα ζευγάρια πομπού και δέκτη, παράγουμε τους συντελεστές του καναλιού.

Για τα $N - 2$ ασθενέστερα cluster π.χ. 3,4,...,N η μήτρα συναρτήσεων μεταφοράς είναι:

$$\mathbf{H}_{u,s,n}(t) = \sqrt{P_n} \sum_{m=1}^M \begin{bmatrix} F_{tx,s,V}(\varphi_{n,m}) \\ F_{tx,s,H}(\varphi_{n,m}) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \exp(j\Phi_{n,m}^{vv}) & \sqrt{\kappa_{n,m}} \exp(j\Phi_{n,m}^{vh}) \\ \sqrt{\kappa_{n,m}} \exp(j\Phi_{n,m}^{hv}) & \exp(j\Phi_{n,m}^{hh}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{rx,u,V}(\varphi_{n,m}) \\ F_{rx,u,H}(\varphi_{n,m}) \end{bmatrix} \\ \cdot \exp(jd_s 2\pi\lambda_0^{-1} \sin(\varphi_{n,m})) \exp(jd_u 2\pi\lambda_0^{-1} \sin(\varphi_{n,m})) \exp(j2\pi\nu_{n,m}t)$$

Για το σενάριο B5 (fixed feeder link), η συχνότητα Doppler $\nu_{n,m}$ υπολογίζεται μόνο υπολογίζεται μόνο για την πρώτη ακτίνα του cluster ενώ για τις υπόλοιπες θεωρείται μηδενική. Για όλα τα υπόλοιπα μοντέλα, η ολίσθηση Doppler εξαρτάται από τη γωνία άφιξης του downlink $\varphi_{n,m}$, την ταχύτητα του τερματικού v και την κατεύθυνση της κίνησης θ_v με τον παρακάτω τρόπο:

$$\nu_{n,m} = \frac{v \cdot \cos(\varphi_{n,m} - \theta_v)}{\lambda_0}$$

Αντίθετα, για τα δύο ισχυρότερα cluster, π.χ. 1 και 2, οι ακτίνες εξαπλώνονται σε καθυστέρηση σε 3 υπό-cluster με σταθερό offset καθυστέρησης το οποίο είναι:

$$\tau_{n,1} = \tau_n + 0\text{ns}$$

$$\tau_{n,2} = \tau_n + 5\text{ns}$$

$$\tau_{n,3} = \tau_n + 10\text{ns}$$

Βήμα 12: Ορίζουμε το path loss και τη σκίαση για τους παραπάνω συντελεστές

Για περιβάλλοντα κακών συνθηκών, η μοντελοποίηση γίνεται εισάγοντας 5 μακρινούς σκεδαστές σε μία εξαγωνική κυψέλη. Τότε, πρέπει να εισαχθούν παραπάνω καθυστερήσεις (20 για το C3 και 16 για το B2) από τις οποίες 2, θεωρούμε ότι οφείλονται στους σκεδαστές. Εντούτοις, τη διαδικασία που περιγράφηκε πριν, συνεχίζεται αναλόγως.

3.14.2. Path Loss Μοντέλα

Τα εμπειρικά μοντέλα που θα παρουσιασθούν για την απώλεια μονοπατιού στα διαφορετικά σενάρια έχουν αναπτυχθεί με τη βοήθεια μετρήσεων που έγιναν από το πρόγραμμα Winner, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

Το path loss θεωρούμε ότι έχει την παρακάτω γενική μορφή:

$$PL = A \cdot \log(d [m]) + B + C \cdot \log(\frac{f_c [GHz]}{5}) + X$$

, όπου: d είναι η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, f_c είναι η συχνότητα του συστήματος, A είναι μία παράμετρος που αφορά των εκθέτη απωλειών, B είναι η παράμετρος υποκλοπής, το C περιγράφει την εξάρτηση του PL από τη συχνότητα και X είναι ένας όρος που σχετίζεται με το περιβάλλον της διάδοσης.

Το παραπάνω μοντέλο, αφορά σε συστήματα που λειτουργούν σε **εύρος συχνοτήτων 2-6 GHz** με διαφορετικά ύψη κεραιών. Οι διαλείψεις σκίασης υποτίθεται ότι ακολουθούν την λογαριθμοκανονική κατανομή (lognormal distribution).

Εάν πρόκειται για χώρο που είναι όμοιος με free space, η έκφραση του PL γίνεται : $PL_{free} = 20 \cdot \log(d) + 46.4 + 20 \cdot \log(\frac{f_c}{5})$

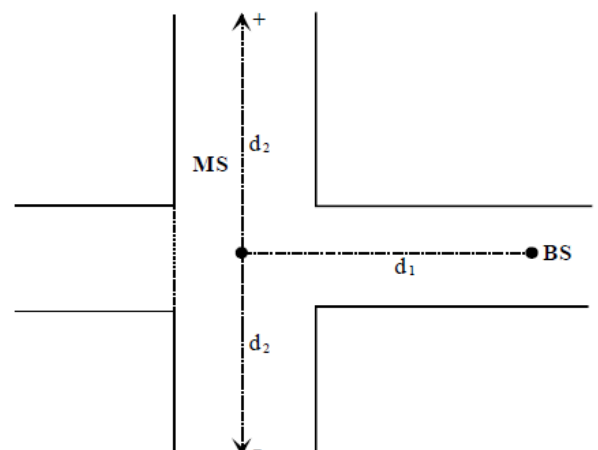
3.14.3. Εξάρτηση του Path Loss από τη συχνότητα

Οι τιμές που υπάρχουν στον πίνακα 4.4. προέκυψαν από μετρήσεις δεδομένων για τις συχνότητες 2-5 GHz, και στη συνέχεια αυτές επεκτάθηκαν ώστε να ταιριάζουν στο εύρος 2-6 GHz μέσω των ακόλουθων εξαρτήσεων.

1. Για όλες τις LOS περιπτώσεις στις οποίες η απόσταση είναι μικρότερη ή ίση της breakpoint απόστασης η παράμετρος C επιλέγεται να έχει τιμή $C=20$. Μετά από την κρίσιμη απόσταση το C ορίζεται από τον πίνακα 4.4.
2. Για αγροτικά NLOS περιβάλλοντα: $C=20$
3. Για αστικά και ημιαστικά NLOS περιβάλλοντα μακροκυβελών: $C=23$
4. Για αστικά και ημιαστικά NLOS περιβάλλοντα μικροκυβελών: $C=23$
5. Για περιβάλλοντα εσωτερικών χώρων: $C=20$
6. Για σταθερές NLOS ζεύξεις αστικού ή ημιαστικού περιβάλλοντος $C=23$, αλλιώς $C=20$
7. Για διάδοση από εσωτερικό-σε-εξωτερικό χώρο ή από εξωτερικό-σε-εσωτερικό χώρο η τιμή του C είναι αυτή του εκάστοτε **εξωτερικού** σεναρίου.

3.14.4. Μεταβάσεις μεταξύ LOS/NLOS

Κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων, υποστηρίζονται και συνθήκες διάδοσης που περιλαμβάνουν μεταβάσεις μεταξύ LOS και NLOS εντός του ίδιου περιβάλλοντος διάδοσης. Για παράδειγμα, στα σενάρια A1(indoor) και B1(urban microcell) τέτοιου είδους μεταβάσεις μπορεί να προκύψουν καθώς το τερματικό στρίβει από έναν διάδρομο ή δρόμο, αντίστοιχα, σε έναν κάθετο διάδρομο ή δρόμο.



Σχηματικά μία τέτοια περίπτωση απεικονίζεται στο διπλανό σχήμα. Βλέπουμε ότι υπάρχει εξάρτηση από δύο αποστάσεις d_1, d_2 όπου η πρώτη είναι η απόσταση του MS από τον BS που βρίσκεται στο κέντρο του δρόμου, ενώ η δεύτερη είναι η απόσταση που διανύει το τερματικό πάνω στον κάθετο δρόμο μετρούμενη από το σημείο που υφίσταται ακόμα LOS διάδοση.

Η ανάλυση τέτοιων περιπτώσεων γίνεται βάση των πινάκων που περιέχουν τα LOS και NLOS μοντέλα. Το A1 LOS path loss μοντέλο χρησιμοποιείται όταν η απόσταση d_2 είναι μικρότερη από $3 \cdot F_1$ όπου F_1 είναι η ακτίνα της 1^{ης} ζώνης Fresnel. Για μεγαλύτερες αποστάσεις εφαρμόζεται το NLOS path loss μοντέλο. Όμοια πράγματα ισχύουν και για το B1 με μέτρο όμως την τιμή $10 \cdot F_1$.

4. Η Πλατφόρμα WINNER

4.1. Γενικά

Το WINNER I project δημιουργήθηκε από την συνεργασία 6 οργανισμών, οι οποίοι είναι Electrobit, Helsinki University of Technology, Nokia, Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zurich, και Technical University of Ilmenau.

Σκοπός της δημιουργίας αυτής της πλατφόρμας, ήταν να αναπτυχθεί ένα μοναδικό σύστημα ραδιοπρόσβασης το οποίο να μπορεί να



χρησιμοποιηθεί για πλήθος σεναρίων διάδοσης κινητών επικοινωνιών. Η πλατφόρμα αυτή, σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει τις απαιτήσεις των συστημάτων 3G και 4G. Στόχο, επίσης, έχει να λειτουργεί για διάφορες συχνότητες και εύρη ζώνης και τελικά να προσφέρει καλύτερους δείκτες ποιότητας (QoS) στις υπάρχουσες υπηρεσίες και καλύτερη αξιοποίηση του εύρους ζώνης.

Φυσικά, το WINNER θα βοηθήσει σε μεγάλο βαθμό και τις μελλοντικές επικοινωνίες, μιας και οι προσομοιώσεις στα θεμελιώδη κανάλια RF αντιστοιχίζονται εύκολα σε επόμενες εφαρμογές.

Κατά την πρώτη φάση εξετάστηκαν τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα από τα οποία τελικά κρίθηκε ότι πλησιέστερα στη φιλοσοφία του WINNER ήταν τα 3GPP/3GPP2 Spatial Channel Model (3GPPSCM) και IEEE 802.11n. όπου και επιλέχθηκαν. Επειδή το SCM λειτουργεί μόνο στο εύρος των 5 MHz, παρόλο που επιχειρήθηκε η εξέλιξή του, πάλι ήταν ακατάλληλο για τους σκοπούς του WINNER. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε το μοντέλο WINNER I generic model το οποίο λαμβάνει υπόψη και τη γεωμετρία που ακολουθεί κάθε σενάριο. Τα

σενάρια που καλύπτονται στο project είναι indoor, typical urban micro-cell, typical urban macro-cell, sub-urban micro-cell, rural macro-cell και stationary feeder link.

Εν συνεχεία, στη δεύτερη φάση, αναπτύχθηκε το μοντέλο WINNER II project, στο οποίο συνεργάστηκαν οι 5 οργανισμοί, Electrobit, University of Oulu / Centre for Wireless Communications (CWC), Technical University of Ilmenau, Nokia και Communication Research Centre (CRC) Canada. Στο εξελιγμένο αυτό μοντέλο, επεκτάθηκαν κάποια χαρακτηριστικά του προηγούμενου όπως το φάσμα (από 2-5 GHz έγινε 2-6 GHz) και ο αριθμός των σεναρίων. Τα νέα περιβάλλοντα που πλέον μπορούν να προσομοιωθούν είναι indoor-to-outdoor, outdoor-to-indoor, bad urban micro-cell, bad urban macro-cell, feeder link base station to fixed relay station (FRS) και moving networks BS to mobile relay station (MRS), MRS to mobile station (MS).

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν 3 σύγχρονα συστήματα μετρήσεων ραδιοζεύξεων. Το πρώτο είναι το **Propsound** το οποίο δημιουργεί αληθινές συνθήκες διάδοσης στο πεδίο του χρόνου και του χώρου. Η λειτουργία του βασίζεται στη μέθοδο «απλωμένου φάσματος» όσον αφορά στην καθυστέρηση (*spread spectrum sounding method*).

Για τον υπολογισμό της πόλωσης, της πολυπλεξίας συχνότητας (FDD) και για τον χωρικό προσδιορισμό χρησιμοποιείται μία προχωρημένη τεχνική μεταγωγής στο πεδίο του χρόνου (*time domain switching technique*). Σε συνδυασμό με κάποιες τεχνικές αυξημένης ανάλυσης που βασίζονται στον αλγόριθμο SAGE, επιταγχάνονται τελικώς μετρήσεις μεγάλης ακριβείας για SISO, SIMO, MIMO κανάλια, για γεωγραφικό προσδιορισμό και για κανάλια διάδοσης πολλαπλών χρηστών.

Το δεύτερο είναι το **TUI Sounder** με τη βοήθεια του οποίου μετρώνται οι κρουστικές αποκρίσεις κεραιών που υποστηρίζουν

MIMO μετάδοση. Αυτό γίνεται, αλλάζοντας διαδοχικά τα διαφορετικά ζευγάρια πομπού-δέκτη. Αυτό σημαίνει ότι, στην ουσία, χρησιμοποιούμε μόνο ένα φυσικό κανάλι πομπού και δέκτη το οποίο μειώνει την ευαισθησία σε ανισοροπίες του καναλιού. Η προσέγγιση αυτή (*switched-antenna approach*), είναι ένας απλός τρόπος να αλλάζουμε τον αριθμό των στοιχείων-κεραιών στην αντίστοιχη μήτρα. Για το συγχρονισμό της μεταγωγής χρησιμοποιούνται παλμογράφοι τόσο στον πομπό όσο και στο δέκτη.

Για τη διέγερση του καναλιού, το TUI χρησιμοποιεί ένα σήμα με πολλαπλά φέροντα (*multi-carrier spread spectrum signal- MCSSS*) με ορθογώνια μορφή στο πεδίο της συχνότητας. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται εφικτή η ακριβής συγκέντρωση της ενέργειας του σήματος στη ζώνη φάσματος που μας ενδιαφέρει.

Το τελευταίο όργανο μετρήσεων είναι το **CRC sounder** και χρησιμοποιήθηκε για μετρήσεις που αφορούν τερματικά 4^{ης} γενιάς. Και ο πομπός και ο δέκτης έχουν καθένας δύο ζώνες ραδιοφάσματος γύρω από τις συχνότητες 2.25 GHz και 5.8 GHz. Ο πομπός μεταδίδει και στις δύο συχνότητες και όταν χρειάζεται να μεταβούμε σε άλλες συχνότητες τότε γίνεται χρήση ζωνοπερατών φίλτρων και πάνω-μετατροπέων (*up-converter PLOs*).

Στο δέκτη, γίνεται μετατροπή από τη συχνότητα RF στη συχνότητα IF ενώ η λειτουργία σε άλλη συχνότητα επιτυγχάνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στον πομπό.

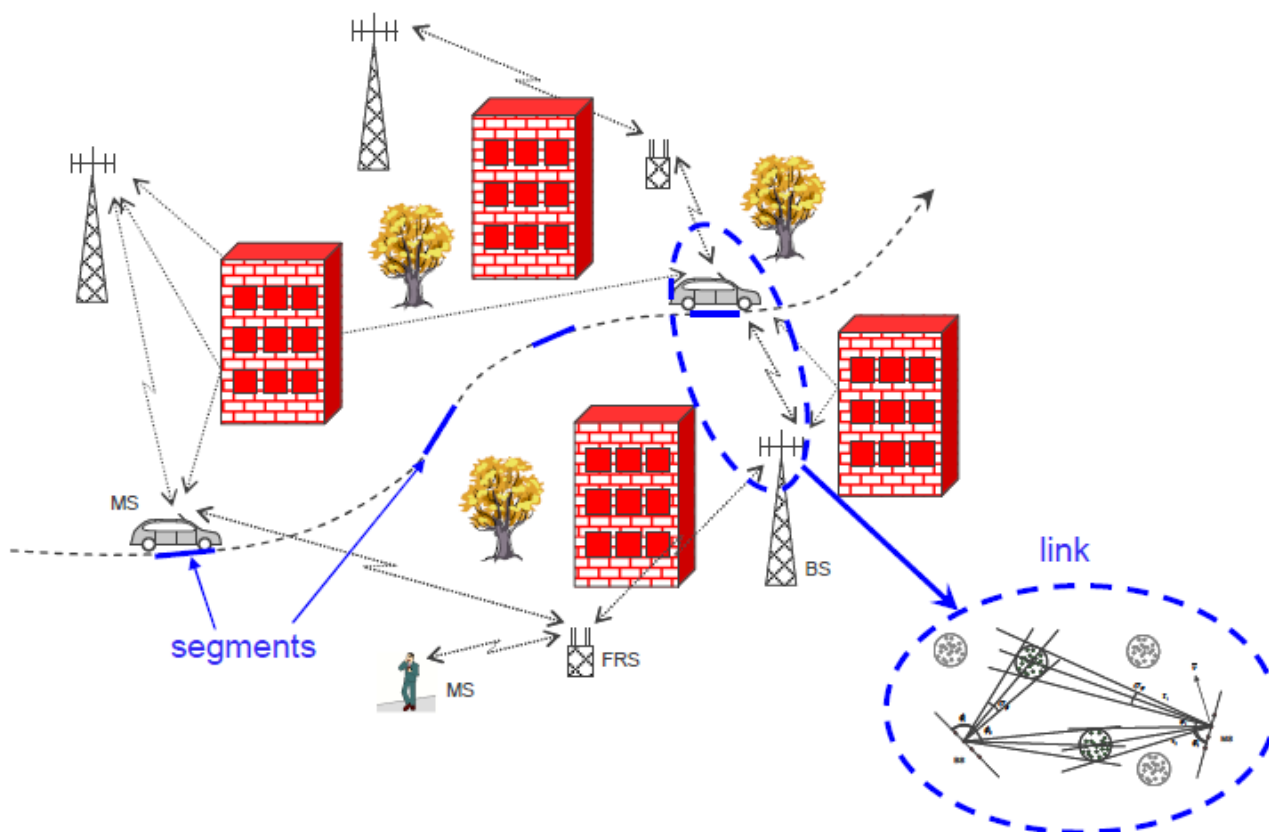
Το CRC sounder είναι κατασκευασμένο σε μορφή bread-board στο οποίο είναι συνδεδεμένες άλλες συσκευές όπως παλμογράφοι κλειδωμένης φάσης, διαχωριστές ισχύος, mixers, φίλτρα και ενισχυτές. Η bread-board κατασκευή βοηθάει στο ότι υπάρχει η δυνατότητα να αλλάξουμε γρήγορα και απλά τις συσκευές προκειμένου να μετρήσουμε σε άλλες συχνότητες και εύρη ζώνης, ανάλογα με την περίπτωση.

4.2. Περιγραφή του WINNER

4.2.1. Ορισμοί και Συχνότητα λειτουργίας

Όπως αναφέρθηκε, η πλατφόρμα WINNER χρησιμοποιείται για την προσομοίωση και την δοκιμή ραδιοζεύξεων MIMO καναλιών (MIMO radio channel model). Αυτό σημαίνει πως μία τέτοιου είδους μοντελοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει πολλούς σταθμούς βάσης, πολλούς σταθμούς αναμετάδοσης και προφανώς πολλούς κινητούς τερματικούς χρήστες.

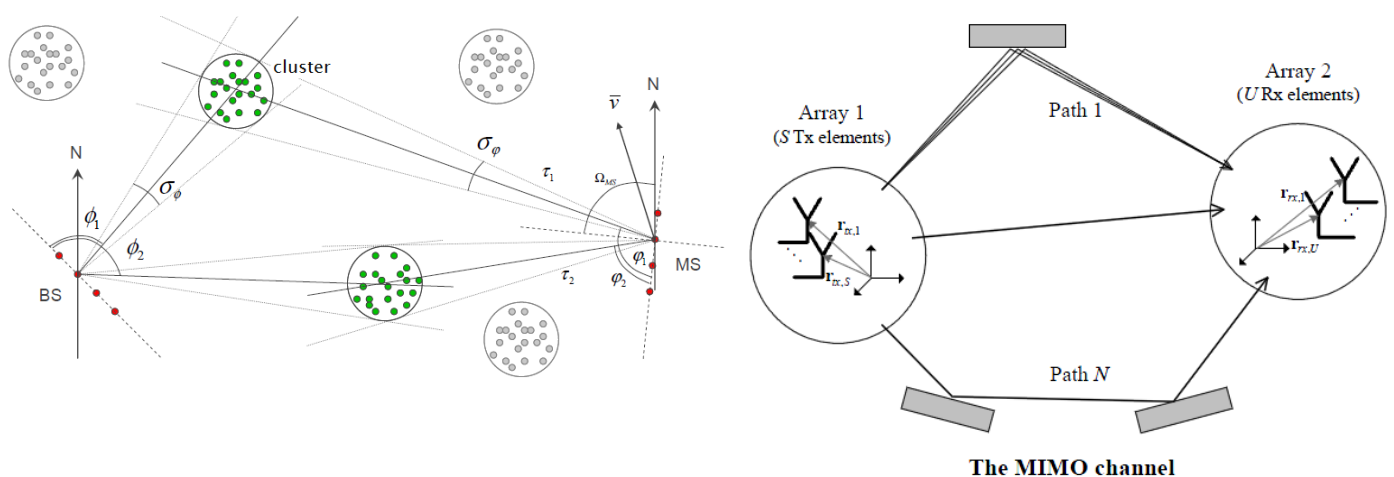
Μία εικόνα που περιγράφει επακριβώς τις δυνατότητες του WINNER και τις περιπτώσεις που αυτό καλύπτει είναι η επόμενη:



Η προσομοίωση μίας και μόνο ζεύξης σκιαγραφείται από την διακεκομμένη μπλε έλλειψη, στην οποία φαίνονται τα «συστατικά» του καναλιού (channel segments) όταν οι παράμετροι μεγάλης κλίμακας είναι σταθερές. Η προσομοίωση ενός ολόκληρου

συστήματος κινητών ζεύξεων προκύπτει από πολλαπλή εφαρμογή απλών ζεύξεων. Η μοντελοποίηση, λοιπόν, μιας ζεύξης ή ενός ολόκληρου συστήματος μπορεί να επιτευχθεί είτε με προσομοίωση των διαφόρων συστατικών πολλών ζεύξεων είτε μιας μόνο ζεύξης οπότε και λέμε ότι εξετάζουμε ένα CDL(Cluster Delay Line). Ο αριθμός των cluster είναι αρκετά πιθανό να διαφέρει από σενάριο σε σενάριο.

Λόγω ευελιξίας, ταυτίζουμε την έννοια του cluster με την έννοια ενός path διάδοσης στο χώρο. Συνολικά λοιπόν, ένα cluster καθώς και ένα MIMO κανάλι περιγράφεται στις επόμενες εικόνες:



Το WINNER μοντέλο είναι ένα στοχαστικό μοντέλο βασισμένο στη γεωμετρία (Geometry-based Stochastic Channel Model-GSCM). Αυτό σημαίνει πως οι παράμετροι της διάδοσης είναι διαχωρισμένοι από τις χρησιμοποιούμενες κεραίες. Συνεπώς, οι παράμετροι ορίζονται τυχαία βάση μετρήσεων ενώ τα χαρακτηριστικά των κεραιών ορίζονται από το χρήστη.

Το tool αυτό, αρχικά προτάθηκε να λειτουργεί στη ζώνη 2-6 GHz. Λόγω των εφαρμογών, όμως, που συναντώνται στη ζώνη 450-1000 MHz, το project επεκτάθηκε ώστε τελικά να μπορεί να καλύψει εφαρμογές που λειτουργούν σε συνολικό εύρος συχνοτήτων 450 MHz – 6 GHz.

4.2.2. Παράμετροι μοντέλου

Για τη μοντελοποίηση επιθυμητών ζεύξεων, το WINNER χρησιμοποιεί παραμέτρους μεγάλης κλίμακας (Large Scale-LS) και παραμέτρους μικρής κλίμακας (Small Scale-SS).

Παράμετροι μεγάλης κλίμακας είναι:

- Κατανομή και εξάπλωση καθυστέρησης
- Κατανομή και εξάπλωση γωνίας αναχώρησης (AoD)
- Κατανομή και εξάπλωση γωνίας άφιξης (AoA)
- Απόκλιση διαλείψεων σκίασης
- Παράγοντας Rice K

Επιπλέον παράμετροι θεωρούνται οι:

- Διασταύρωση πολώσεων
- Αριθμός των cluster
- Εξάπλωση γωνίας αναχώρησης ανά cluster
- Εξάπλωση γωνίας άφιξης ανά cluster
- Σκίαση ανά cluster
- Αυτό-συσχέτιση LS παραμέτρων
- Ετερο-συσχέτιση LS παραμέτρων
- Αριθμός ακτίνων ανά cluster (επιλέγεται να είναι 20)
- Παράμετροι για την κατανομή της καθυστέρησης

Οι παράμετροι μικρής κλίμακας οι οποίες είναι οι καθυστερήσεις, οι ισχείς και οι κατευθύνσεις των γωνιών αναχώρησης και άφιξης προκύπτουν από τις παραμέτρους μεγάλης κλίμακας σε δεύτερο στάδιο.

Βασική υπόθεση του μοντέλου είναι ότι οι παράμετροι αυτές είναι ανεξάρτητες της απόστασης. Αυτό αν και δεν είναι απόλυτα σωστό γίνεται για λόγους απλοποίησης της διαδικασίας.

Στο χωρικό μοντέλο του καναλιού, μία ζεύξη ορίζεται από τις παραμέτρους μικρής κλίμακας όλων των στοιχείων πολυδιαδρομής (MultiPath Component-MPC) μεταξύ δύο σταθμών, οπότε εάν ένας σταθμός είναι κινητός τότε η θέση του χωρικά και χρονικά καθορίζει μία ζεύξη. Οι παράμετροι μεγάλης κλίμακας λειτουργούν ως παράμετροι ελέγχου για τις μικρής κλίμακας παραμέτρους. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αν διαφορετικά κινητά τερματικά βρίσκονται στην ίδια θέση τότε θα αντιμετωπίζονται με τις ίδιες LSP.

4.2.3. Διάταξη Δικτύου

Για προσομοίωση πολλαπλών ζεύξεων είναι επιτακτική η ανάγκη να ορισθεί ένα σύστημα συντεταγμένων που να περιγράφει τις θέσεις και την κίνηση των κινητών σταθμών. Συνεπώς, με τον όρο “διάταξη δικτύου” εννοούμε αφενός την θέση των τερματικών, αφετέρου τη διανυσματική περιγραφή της κίνησης τους, δηλαδή τις ταχύτητες. Γενικά, οι θέσεις των σκεδαστών είναι άγνωστες. Εξαιρέση αποτελούν μόνο οι μακρινοί σκεδαστές (Far Cluster Scatterers-FCS) οι οποίοι τοποθετούνται στο ίδιο σύστημα συντεταγμένων με τους κινητούς σταθμούς.

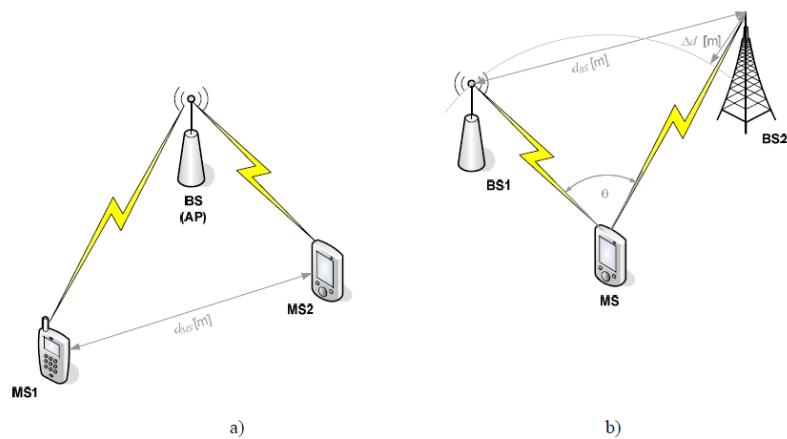
4.2.4. Συσχετίσεις μεταξύ των Παραμέτρων Μεγάλης Κλίμακας

Στην περίπτωση μιας ζεύξης, η εσωτερική εξάρτηση των LSP περιγράφεται μέσω της μήτρας συσχέτισης. Αντί να εξετάζεται η πιθανοτική κατανομή των παραμέτρων αυτών, μελετούμε τις περιθώριες κατανομές ισχύος και η αναγκαία εξάρτηση τους περιγράφεται μέσω της ετεροσυσχέτισης:

$$\rho_{xy} = \frac{C_{xy}}{(C_{xx}C_{yy})^{1/2}}$$

Ορίζουμε 2 τύπους συσχέτισης που μπορούν να προκύψουν:

- a. Μεταξύ MSs που είναι συνδεδεμένα στο ίδιο BS
- b. Μεταξύ BSs που συνδέονται με το ίδιο MS



Στην πρώτη περίπτωση, χρησιμοποιούνται εκθετικές συναρτήσεις που εξαρτώνται από την απόσταση. Δηλαδή, οι παράμετροι μεγάλης κλίμακας δύο τερματικών που αντιστοιχούν στον ίδιο σταθμό επιδέχονται συσχετίσεις ανάλογα με τη μεταξύ τους απόσταση.

Στη δεύτερη περίπτωση, οι διαλείψεις σκίασης που δημιουργούνται από τη διάδοση πολλών σταθμών σε ένα τερματικό έχουν σταθερή συσχέτιση και ίση με 0.5 ανεξάρτητα από τις αποστάσεις ή τις γωνίες μεταξύ των σταθμών βάσης. Αυτό το αποτέλεσμα προέκυψε από λίγες μετρήσεις και δεν θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει όλα τα σενάρια. Αποφασίστηκε, λοιπόν, ότι η συσχέτιση εξαρτάται από τις γωνίες των σταθμών βάσης που βλέπει το τερματικό και από τη μεταξύ τους απόσταση.

4.2.5. Διαδικασία Μοντελοποίησης

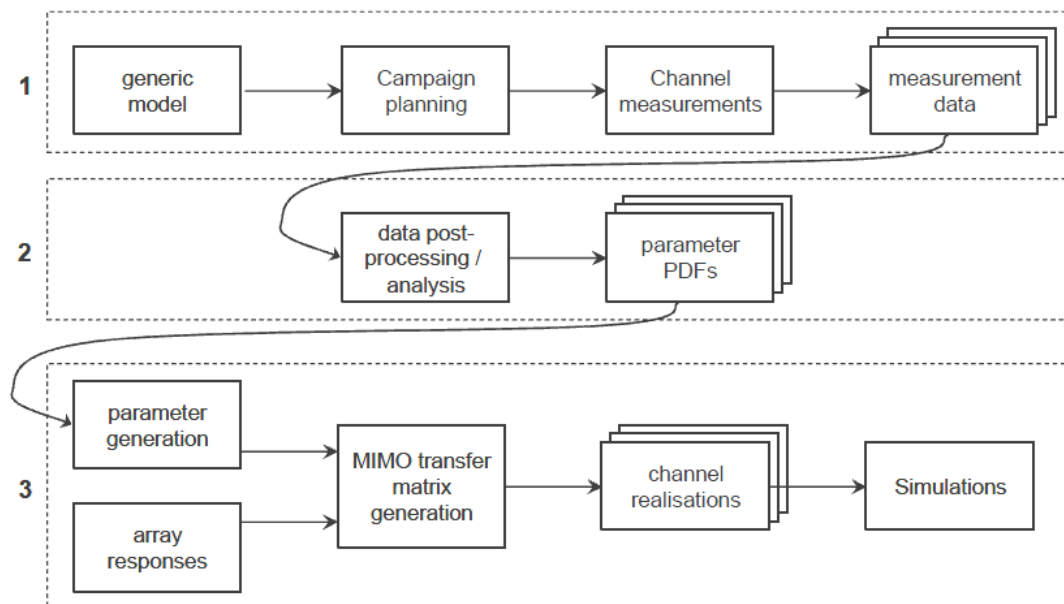
Όλη η διαδικασία, προκειμένου να γίνει επιτυχές το simulation της εκάστοτε διάδοσης, χωρίζεται σε τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την επιλογή του σεναρίου, το ύψος των κεραιών, την κινητικότητα και άλλες γενικές απαιτήσεις. Το μοντέλο χρειάζεται αν γνωρίζει τις παραμέτρους που πρέπει να μετρήσει. Ο σχεδιασμός των μετρήσεων αρχίζει αφού έχει γίνει η επιλογή του περιβάλλοντος και των άλλων παραμέτρων. Ο σχεδιασμός της «επιχείρησης μέτρησης» (campaign planning) οφείλει να λάβει σοβαρά υπόψη παράγοντες όπως τα όργανα μέτρησης και το κόστος της ζεύξης.

Αφού γίνει αυτό, σειρά έχει η μέτρηση του καναλιού και τέλος οι μετρούμενες ποσότητες αποθηκεύονται στη μνήμη.

Κατά τη δεύτερη φάση, ασχολούμαστε με τα δεδομένα που προέκυψαν από την πρώτη φάση. Με βάση αυτά, γίνεται η εξαγωγή των ζητούμενων αποτελεσμάτων (αποκρίσεις καναλιών, path loss) και συμπερασμάτων που αφορούν τη ζεύξη. Στη φάση αυτή, γίνεται επίσης και η στατιστική ανάλυση προκειμένου να αποκτήσουμε τις συναρτήσεις κατανομής των επιθυμητών μεγεθών.

Η τρίτη και τελευταία φάση, αφορά στην προσομοίωση των αποτελεσμάτων. Οι παράμετροι δημιουργούνται σύμφωνα με τις εξαγόμενες PDFs, χρησιμοποιώντας γεννήτριες τυχαίων αριθμών και κατάλληλα φίλτρα. Ο πίνακας αποκρίσεων του MIMO καναλιού βρίσκεται μέσω των προηγούμενων παραμέτρων και των στοιχείων των κεραιών. Σε αυτήν την προσέγγιση, χρησιμοποιείται η μέθοδος αθροίσματος των ακτίνων (sum-of-rays method).

Η σχηματική απεικόνιση της παραπάνω διαδικασίας συνοψίζεται στο επόμενο σχήμα:



WINNER channel modelling process

4.3. Τρόπος Λειτουργίας του WINNER

4.3.1. Η συνάρτηση WIM

Η πλατφόρμα του WINNER λειτουργεί πάνω στο πρόγραμμα Matlab. Για τις προσομοιώσεις, το WINNER χρησιμοποιεί τη **συνάρτηση WIM**, που έχει την εξής σύνταξη σε γλώσσα Matlab :

```
[H, [DELAYS], [FULL_OUTPUT]] = WIM( WIMPAR, LINKPAR, ANTPAR,  
[INITVALUES] )
```

Τα βασικά χαρακτηριστικά της είναι:

- Όλα τα ορίσματα εισόδου είναι δομές του Matlab (Matlab structures). Τα τρία πρώτα ορίσματα της συνάρτησης WIM είναι απαραίτητα για την επίτευξη του simulation. Βέβαια, όλο το πρόγραμμα περιλαμβάνει και αντίστοιχες βοηθητικές συναρτήσεις όπως είναι wimparset.m, linkparset.m και antparset.m οι οποίες έχουν αρχικά default τιμές των παραμέτρων που όμως αλλάζουν εύκολα, ανάλογα με την εφαρμογή.
- Το τέταρτο όρισμα είναι προαιρετικό. Όταν δίνεται τότε η συνάρτηση WIM δεν ορίζει τυχαία τις παραμέτρους του καναλιού αλλά χρησιμοποιεί τις δεδομένες αυτές τιμές που δόθηκαν.
- Από πλευράς εξόδων, η πρώτη είναι ένας 5x5 πίνακας που περιέχει τις μήτρες του MIMO καναλιού για όλες τις ζεύξεις και για δεδομένο αριθμό δειγμάτων.
- Η δεύτερη έξοδος δίνει όλες τις καθυστερήσεις σε seconds των ζεύξεων που οφείλονται στο φαινόμενο multipath
- Η τρίτη έξοδος, αντίθετα από τις προηγούμενες, είναι και αυτή μία δομή του Matlab που περιέχει όλες τις παραμέτρους των ζεύξεων και όλες τις τελικές φάσεις των μιγαδικών εκθετικών. Στην έξοδο αυτή, περιλαμβάνονται πάλι οι καθυστερήσεις που προκύπτουν από τη δεύτερη έξοδο.

4.3.2. Ορίσματα Εισόδου

- **WIMPAR**: η δομή αυτή αφορά το ίδιο το μοντέλο
- **LINKPAR**: η δομή αυτή ορίζει τα χαρακτηριστικά της ζεύξης
- **LAYOUTPAR**: περιέχει τις παραμέτρους που ορίζουν την τοπολογία (συντεταγμένες, γωνίες) του δικτύου
- **ANTPAR**: περιέχει όλες τις παραμέτρους που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των κεραιών
- **INIT_VALUES**: οι παράμετροι της προεραϊτικής εισόδου αυτής είναι:

Parameter name	Definition	Unit
InitDelays	A $K \times N$ matrix of path delays.	Sec
InitSubPathPowers	A $K \times N \times M$ array of powers of the subpaths.	-
InitAods	A $K \times N \times M$ array	Degrees
InitAoas	A $K \times N \times M$ array	Degrees
InitSubPathPhases	A complex-valued $K \times N \times M$ array. When polarization option is used, this is a $K \times P \times N \times M$ array, where $P=4$. In this case the second dimension includes the phases for [VV VH HV HH] polarized components.	Degrees
InitPathLosses	A $K \times 1$ vector	Decibel
InitShadowLosses	A $K \times 1$ vector	Decibel
InitIndOfSpreadClust	A $K \times 2$ matrix. Index to two strongest clusters. These clusters are spread to three delay positions if parameter IntraClusterDsUsed = 'yes'	

Οι παράμετροι που αφορούν στις τέσσερις πρώτες εισόδους παρατίθενται στο παράρτημα.

4.3.3. Παράμετροι Εξόδου

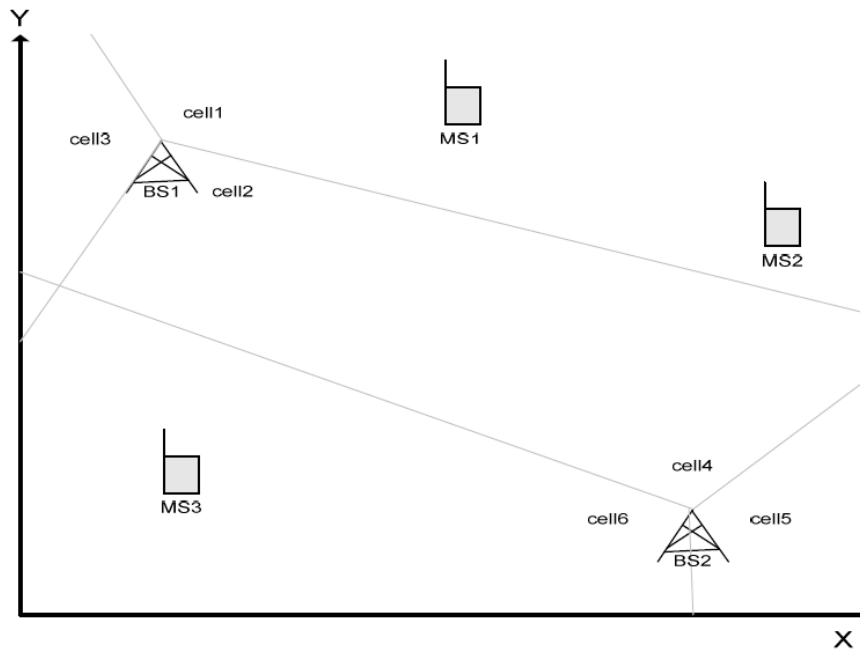
Parameter name	Definition	Unit	Note
H	A 5D-array with dimensions $U \times S \times N \times T \times K$		See Appendix 1 for terminology
DELAYS	A $K \times N$ vector of path delay values. Note that delays are, for compatibility with the INITVALUES, also included in FULLOUTPUT..	sec	
FULLOUTPUT	A MATLAB struct with the following elements:		
delays	A $K \times N$ matrix of path delays. This is identical to the second output argument.	sec	
path_powers	A $K \times N$ array of path powers.	linear	
aods	A $K \times N \times M$ array of subpath angles of departure	degrees	
aoas	A $K \times N \times M$ array of subpath angles of arrival	degrees	
path_losses	A $K \times 1$ vector	linear scale	
MsBsDistance	1 x K vector of MS-BS distances	m	
shadow_fading	A $K \times 1$ vector	linear scale	
sigmas	A $K \times 4$ vector of per link large scale parameters (ASD ASA DS SF)	-	
propag_condition	A $K \times 1$ vector indicating LOS / NLOS condition (0=NLOS, 1=LOS)	-	
Kcluster	A $K \times 1$ vector defining narrowband K-factors of links.	linear scale	Only with LOS
Phi_LOS	Final phases for LOS paths, $K \times 1$ array.	deg	Only with LOS
scatterer_freq	A $K \times N \times M$ array of subpath Doppler frequencies	Hz	Only with B5 CDL
subpath_phases	A complex-valued $K \times N \times M$ array giving the final phases of all subpaths. When polarization option is used, a $K \times P \times N \times M$ array, where $P=4$. In this case the second dimension includes the phases for [VV VH HV HH] polarized components.	degrees	
delta_t	A $K \times 1$ vector defining time sampling interval for all links.	sec	
IndexOfDividedClust	A $K \times 2$ matrix. Index to two strongest clusters. These clusters are spread to three delay positions if parameter IntraClusterDsUsed = 'yes'	-	
xpr	A $K \times N \times M$ array of cross-polarization coupling power ratios.	linear scale	Only with PolarisedArrays case.

4.4. Χρήση του WINNER στη Μοντελοποίηση Καναλιού

4.4.1. Σύστημα Συντεταγμένων

Όλοι οι σταθμοί βάσης και τα τερματικά προσδιορίζονται χωρικά από καρτεσιανές συντεταγμένες (x,y). Το ίδιο ισχύει για τις κυψέλες που απαρτίζουν το δίκτυο καθώς και για τους τομείς (sectors) αυτών, οι οποίοι έχουν επιπρόσθετη πληροφορία για την γωνία υπό την οποία βλέπουν τον σταθμό. Θεωρείται ότι μηδενική γωνία είναι ο βορράς και θετική φορά των γωνιών είναι η ωρολογιακή.

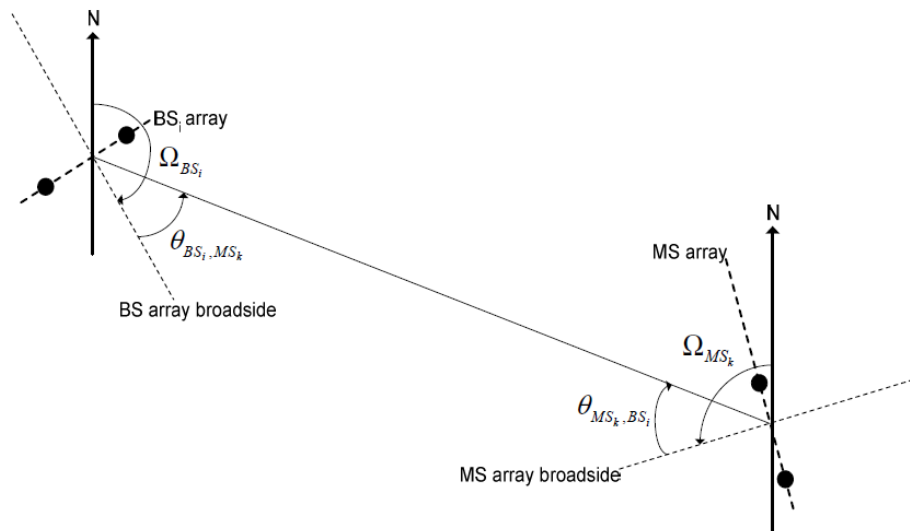
Ένα σχηματικό παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το επόμενο όπου φαίνονται 2 BS και 3 MS:



Η απόσταση και η LOS κατεύθυνση των ραδιοζεύξεων υπολογίζονται για την είσοδο του μοντέλου. Η απόσταση προκύπτει μέσω του γνωστού ευκλείδειου τύπου για απόσταση σημείων σε καρτεσιανές συντεταγμένες ενώ οι LOS γωνίες για κάθε ζεύγος σταθμού βάσης-τερματικού προσδιορίζονται μέσω του τύπου:

$$\theta_{BS_i, MS_k} = \begin{cases} -\arctan\left(\frac{y_{MS_k} - y_{BS_i}}{x_{MS_k} - x_{BS_i}}\right) + 90^\circ - \Omega_{BS_i}, & \text{when } x_{MS_k} \geq x_{BS_i} \\ -\arctan\left(\frac{y_{MS_k} - y_{BS_i}}{x_{MS_k} - x_{BS_i}}\right) - 90^\circ - \Omega_{BS_i}, & \text{when } x_{MS_k} < x_{BS_i} \end{cases}$$

όπου οι αναφερόμενες γωνίες φαίνονται παρακάτω:

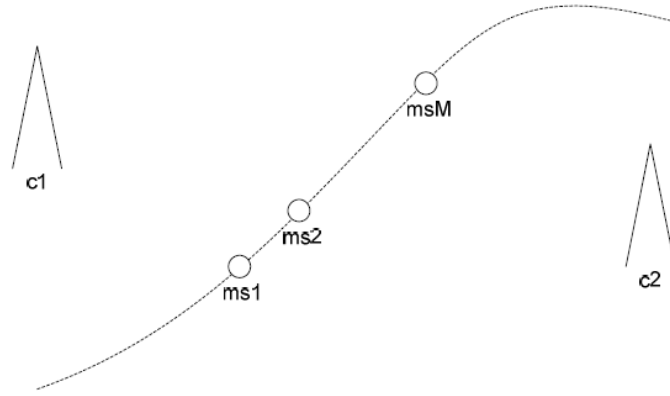


Η μήτρα \mathbf{A} που ονομάζεται pairing matrix για την περίπτωση του προηγούμενου σχήματος αποτελείται από στοιχεία $\chi_{n,m}$ που παίρνουν μόνο τις τιμές 0,1. Το 0 αντιστοιχεί σε ζεύξη η οποία δεν θα μοντελοποιηθεί ενώ το 1 το αντίθετο. Συγκεκριμένα, για το παράδειγμα 2 BS, 3 MS ο πίνακας \mathbf{A} θα μπορούσε να είναι:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \chi_{c1,ms1} & \chi_{c1,ms2} & \chi_{c1,ms3} \\ \chi_{c2,ms1} & \chi_{c2,ms2} & \chi_{c2,ms3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \chi_{c6,ms1} & \chi_{c6,ms2} & \chi_{c6,ms3} \end{bmatrix}$$

4.4.2. Διαπομπές

Περίπτωση διαπομπής έχουμε όταν το τερματικό κινείται από την περιοχή κάλυψης ενός σταθμού σε περιοχή κάλυψης ενός διαφορετικού σταθμού, όπως φαίνεται παρακάτω:



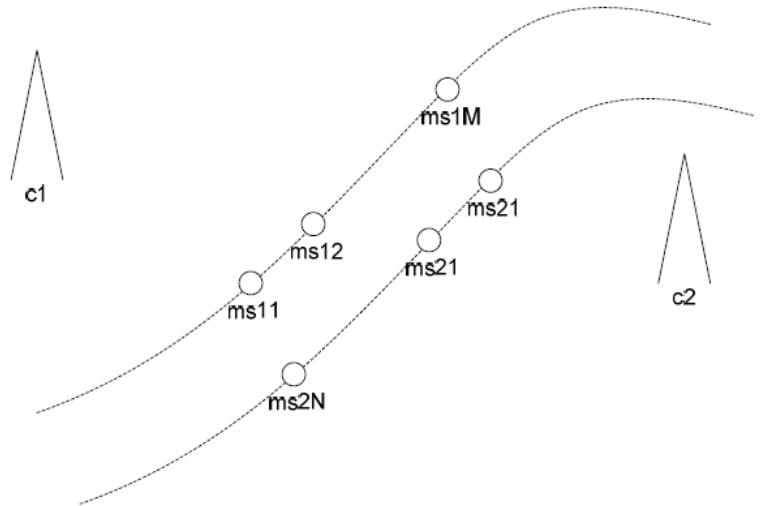
Το WINNER αντιμετωπίζει τις διαδοχικές θέσεις ενός τερματικού κατά την πορεία του, σαν πολλαπλά τερματικά σε διαφορετικές θέσεις το καθένα. Το path loss καθορίζεται με βάση την υπάρχουσα γεωμετρία και τις παραμέτρους μεγάλης κλίμακας. Η διαδικασία σε περίπτωση διαπομπών συνοψίζεται στα επόμενα βήματα:

- a. Βάζουμε τους σταθμούς βάσης σε θέσεις και γωνίες ανάλογα με την επιθυμητή γεωμετρία.
- b. Εισάγουμε τις M θέσεις του τερματικού κατά μήκος του δρόμου που ακολουθεί. Για περισσότερη ακρίβεια, επιλέγουμε τις επιθυμητές αποστάσεις των ανωτέρω θέσεων.
- c. Όλα τα στοιχεία της pairing matrix ορίζουμε να είναι 1 (ενεργές ζεύξεις).
- d. Παράγουμε όλες τις ραδιοζεύξεις ώστε να αποκτήσουμε σωστές τιμές της αυτοσυσχέτισης. Είναι πιθανό να δημιουργήσουμε και άλλες απαιτήσεις, π.χ. χρονικά δείγματα, για κάθε κανάλι θεωρώντας ίδιες τιμές για τις παραμέτρους μικρής κλίμακας και ορίζοντας τις τελικές φάσεις των πινάκων.
- e. Μοντελοποιούμε τα διάφορα στοιχεία του καναλιού ώστε να προκύψει η κίνηση του τερματικού κατά μήκος μιας τροχιάς.

4.4.3. Πολλαπλή Χρήση

Η περίπτωση διαπομπής που περιγράφηκε παραπάνω είναι ένα παράδειγμα ενός χρήστη σε πολυκυψελωτό σύστημα. Άλλη παρόμοια κατάσταση προκύπτει όταν ένα τερματικό λαμβάνει δεδομένα από ένα σταθμό βάσης ταυτόχρονα.

Η επέκταση της προηγούμενης περίπτωσης είναι να υπάρχουν πολλαπλοί χρήστες με έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Τότε, από πλευρά προσομοίωσης, θα πρέπει να οριστούν οι τροχιές όλων των κινητών τερματικών.

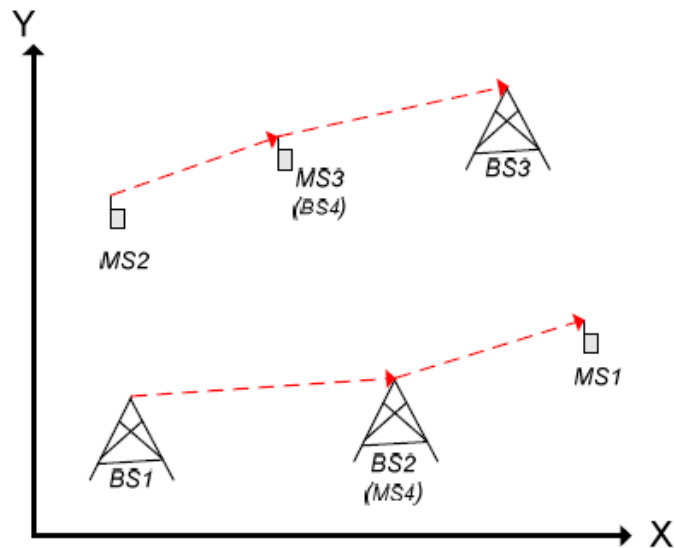


Η διαδικασία που ακολουθούμε είναι ακριβώς παρόμοια με την προαναφερόμενη με τη διαφορά ότι τώρα αντί να ορίσουμε μόνο M θέσεις ορίζουμε επιπλέον N θέσεις για το δεύτερο τερματικό και τελικά έχουμε $M+N$ θέσεις που πρέπει να οριστούν.

4.4.4. Multihop και αναμετάδοση

Τυπικά, οι ζεύξεις μεταξύ των MS ή οι ζεύξεις μεταξύ των BS δεν έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τα κυψελωτά δίκτυα είναι τα παραδοσιακά δίκτυα στα οποία όλο το φορτίο υποστηρίζεται από έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Οι BS δεν επικοινωνούν μεταξύ τους απευθείας αλλά μέσω ενός hub.

Η φιλοσοφία αυτή αλλάζει στα δίκτυα αναμετάδοσης και multihop. Στα multihop δίκτυα, η πληροφορία μπορεί να «περάσει» από ένα ή πολλαπλά κινητά τερματικά. Αντίθετα, στα δίκτυα αναμετάδοσης, τα δεδομένα διαχειρίζονται και διανέμουν οι αναμεταδότες. Τέτοιου είδους σενάρια μπορούν να υλοποιηθούν από το WINNER.



Για παράδειγμα, στο παραπάνω σχήμα, το σήμα από το MS1 στο BS3 μεταδίδεται μέσω του MS3 ενώ ο BS2 δρα ως επαναλήπτης για το BS1. Συνεπώς, τέτοιες περιπτώσεις, προσομοιώνονται με την εισαγωγή ζευγών BS-MS στη θέση ενός BS που έχει ρόλο αναμεταδότη, είτε στη θέση ενός MS που λειτουργεί ως multihop επαναλήπτης.

Η διαδικασία μοντελοποίησης είναι η ακόλουθη:

- Εισάγουμε τις θέσεις των BS και τις κατευθύνσεις τους ανάλογα με την επιθυμητή διάταξη.
- Εισάγουμε τις θέσεις των MS και τις κατευθύνσεις τους.
- Προσθέτουμε επιπλέον σταθμό βάσης στη θέση ενός τερματικού (BS4-MS3) και επιπλέον τερματικό στη θέση ενός σταθμού βάσης (MS4-BS2) με ίδιες κατευθύνσεις με τα προϋπάρχοντα στις θέσεις αυτές συστήματα.
- Προσδιορίζουμε την BSxMS pairing matrix A ανάλογα με τις ενεργές ζεύξεις. Στο προηγούμενο παράδειγμα:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- Παράγουμε κατ'ευθείαν όλες τις ραδιοζεύξεις.
- Μοντελοποιούμε παράλληλα όλα τα στοιχεία του καναλιού.

4.4.5. Παρεμβολές

Η προσομοίωση παρεμβολών είναι ένα περίπλοκο θέμα στην πράξη. Συνήθως, οι ζεύξεις που προκαλούν παρεμβολικά σήματα αντιμετωπίζονται απλώς σαν μία ακόμα ζεύξη. Παρόλα αυτά, σε πολλά τηλεπικοινωνιακά συστήματα, δεν πρέπει να αντιμετωπιστούν με τον ίδιο τρόπο τα επιθυμητά και τα ανεπιθύμητα σήματα οπότε οι παρεμβάλλουσες ζεύξεις δεν μοντελοποιούνται πολύ εύστοχα.

Τις περισσότερες φορές καθίσταται δυνατή και αναγκαία, η απλοποίηση της μοντελοποίησης όταν έχουμε παρεμβολές μέσω γνωστών μοντέλων παρεμβολών που έχουν μελετηθεί. Με τον τρόπο αυτό βέβαια, χάνεται η γενικότητα της μοντελοποίησης αλλά επιτυγχάνεται η υλοποίησή της.

I. AWGN interference

Η απλούστερη μορφή παρεμβολή είναι ο λευκός θόρυβος (Additive White Gaussian Noise). Αυτό είναι επαρκές για C/I (carrier to interference ratio) υπολογισμούς όταν έχουμε path loss και σκίαση. Για μη σταθερά τερματικά, το μοντέλο επεκτείνεται με τεχνικές όπως είναι η on-off keying τεχνική.

II. Filtered noise

Μια πιθανή ευρυζωνική συμπεριφορά του παρεμβολικού σήματος δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν λευκός θόρυβος. Λόγω των πολλών βαθμών ελευθερίας και της πολυπλοκότητας που εμπεριέχουν τα κανάλια SCM και WIM, προτείνεται ένα FIR φίλτρο με χωρικά δείγματα μαζί με Rayleigh συντελεστές σκίασης για την μοντελοποίηση τέτοιων παρεμβολών.

III. Pre-recorded interference

Ένα μεγάλο μέρος της παραγωγής χρονοσειρών που αντιστοιχούν σε παρεμβάλλοντα σήματα είναι η διαμόρφωση και το φιλτράρισμα που πρέπει να γίνει στη συχνότητα του chip. Ακόμα και αν αυτό το

σήμα ανιχνευθεί και αφαιρεθεί από το δέκτη, είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχει μια μέθοδος που προϋπολογίζει και αναπαράγει το σήμα. Το επαναληπτικό περιεχόμενο βέβαια, που προκύπτει μέσω αυτής της μεθόδου, δεν έχει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς το περιεχόμενο του παρεμβολέα έχει αφαιρεθεί.

IV. Exact interference by multi-cell modelling

Οι καταστάσεις παρεμβολών είναι αρκετά όμοιες με πολυκυψελωτές καταστάσεις ή καταστάσεις πολλών σταθμών βάσης (multi-cell or multi-BS). Η διαφορά είναι ότι, στην περίπτωση αυτή, άλλοι σταθμοί εκπέμπουν μη επιθυμητά σήματα που προκαλούν παρεμβολές.

Μέρος Προσομοιώσεων

5. Μελέτη ζεύξης: 1 Base Stations – 2 Mobile Stations

5.1. Περιγραφή της ζεύξης

Στο πρώτο κεφάλαιο, προσομοιώνεται ένα απλό δίκτυο που περιλαμβάνει 1 σταθμό βάσης και 2 ακίνητα τερματικά που λειτουργούν στη συχνότητα του WiMax 5.25GHz. Η θέση του σταθμού καθώς και των τερματικών δεν είναι τυχαίες αλλά ορίστηκαν με τη βοήθεια της εφαρμογής WINNER, που περιγράφηκε προηγούμενα.

Επιλέχθηκαν λοιπόν οι εξής θέσεις:

- **Base Station:** (150 , 200)
- **Mobile Stations:** (100 , 100) , (500 , 400)

Το σύστημα συντεταγμένων των σταθμών ορίζεται να έχει αναφορά το 1 μέτρο (m) και οι σταθμοί βάσης δεν έχουν υποστεί τομεοποίηση οπότε θεωρείται ότι υπάρχει 1 τομέας στο σταθμό βάσης.

Ο αριθμός των ενεργών ζεύξεων είναι 2 links, δηλαδή ο σταθμός βάσης επικοινωνεί και με τα 2 τερματικά. Παρόλο που το WINNER βασίζεται στην τυχειότητα, όπως έγινε φανερό και στο προηγούμενο κεφάλαιο, με μία μετατροπή που έγινε στον κώδικα, οι παραπάνω ζεύξεις ορίστηκαν με βάση τις επιθυμητές θέσεις.

Το περιβάλλον της διάδοσης επιλέξαμε να είναι το A2-Indoor to Outdoor για όλους τους κινητούς χρήστες καθώς επίσης όλες οι ζεύξεις ορίσαμε να είναι NLOS.

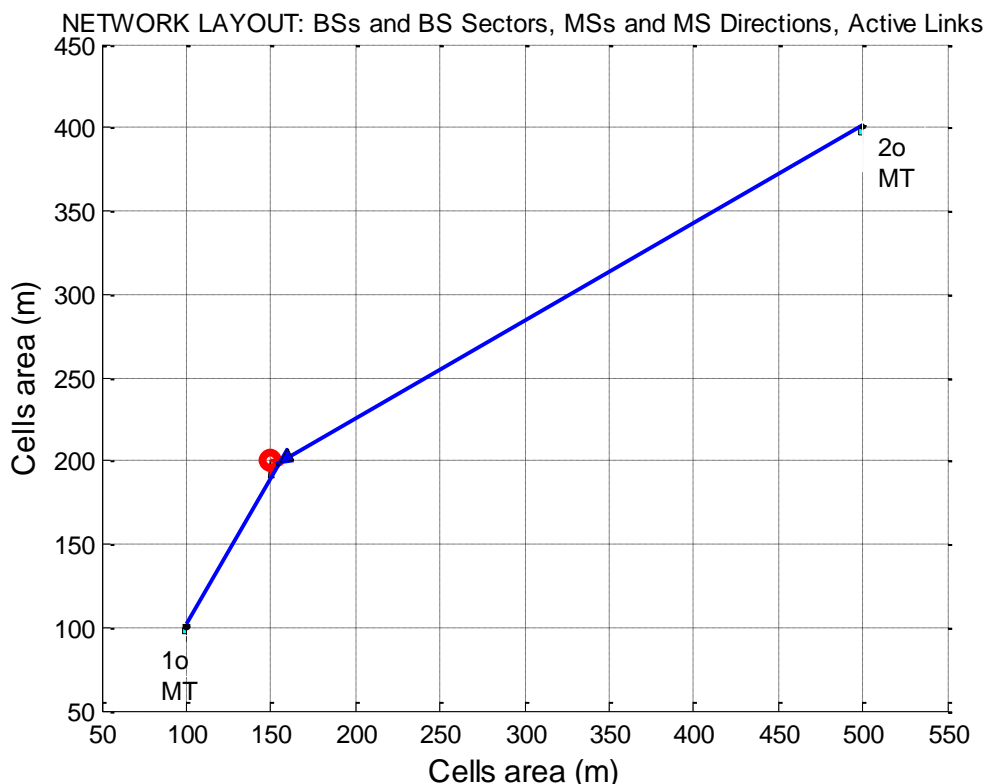
Όλες οι εισοδοί που χρειάζονται να δοθούν για να λάβει χώρα η προσομοίωση, βρίσκονται μέσα στην κύρια συνάρτηση **linkpar** η

οποία είναι καθοριστική για να τρέξει η συνάρτηση **wim**. Προς υπενθύμιση, αναφέρουμε ότι το WINNER χρησιμοποιεί 24 paths προκειμένου να προσομοιώσει οποιαδήποτε ζεύξη.

Για αυτήν και τις υπόλοιπες προσομοιώσεις, αξίζει να σημειώσουμε ότι εάν ξανατρέξουμε το πρόγραμμα με τις παραπάνω εισόδους τα αποτελέσματα θα είναι διαφορετικά. **Το γεγονός αυτό δεν καθιστά το WINNER μη αξιόπιστο, αντιθέτως επιβεβαιώνει την τυχαιότητα βάση της οποίας λειτουργεί.** Για παράδειγμα, οι γωνίες υπό τις οποίες ο σταθμός βλέπει τα τερματικά επιλέγονται τυχαία. Φυσικά, είναι στη διακριτική ευχέρεια του χρήστη να επιλέξει κατά βούληση όλες αυτές τις παραμέτρους που ορίζονται τυχαία οπότε και τα αποτελέσματα θα είναι μοναδικά.

5.2. Παρουσίαση του δικτύου

Η διάταξη του δικτύου που θα μοντελοποιηθεί φαίνεται στο επόμενο σχήμα, όπου με **κόκκινο** επισημαίνονται οι **BS** ενώ με **μπλε** επισημαίνονται οι **MS**.



Προκειμένου να δημιουργηθεί η εικόνα του δικτύου, καλείται η συνάρτηση **NTlayout** που χρησιμοποιεί τις θέσεις των σταθμών και τερματικών αλλά και τις γωνίες υπό τις οποίες επικοινωνούν οι σταθμοί. Αυτές καθώς και όλες οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν ήδη οριστεί στη συνάρτηση `linkpar`.

5.3. Εκτέλεση του WINNER – Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Η μοντελοποίηση γίνεται με την εντολή:

$$[h,delay,full] = wim(wimpar,linkpar,antpar);$$

Σε αυτή τη φάση, πρέπει να αναφέρουμε ότι εκτός από τις αλλαγές που έγιναν στη δομή `linkpar`, οι υπόλοιπες δύο δομές, `wimpar` και `antpar`, τέθηκαν ως `wimparset` και `antparset` δηλαδή τρέχουν με τις default τιμές των παραμέτρων τους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η έξοδος `full` εμπεριέχει όλα τα αποτελέσματα που αφορούν τη ζεύξη, τα οποία θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν καθένα ξεχωριστά στη συνέχεια.

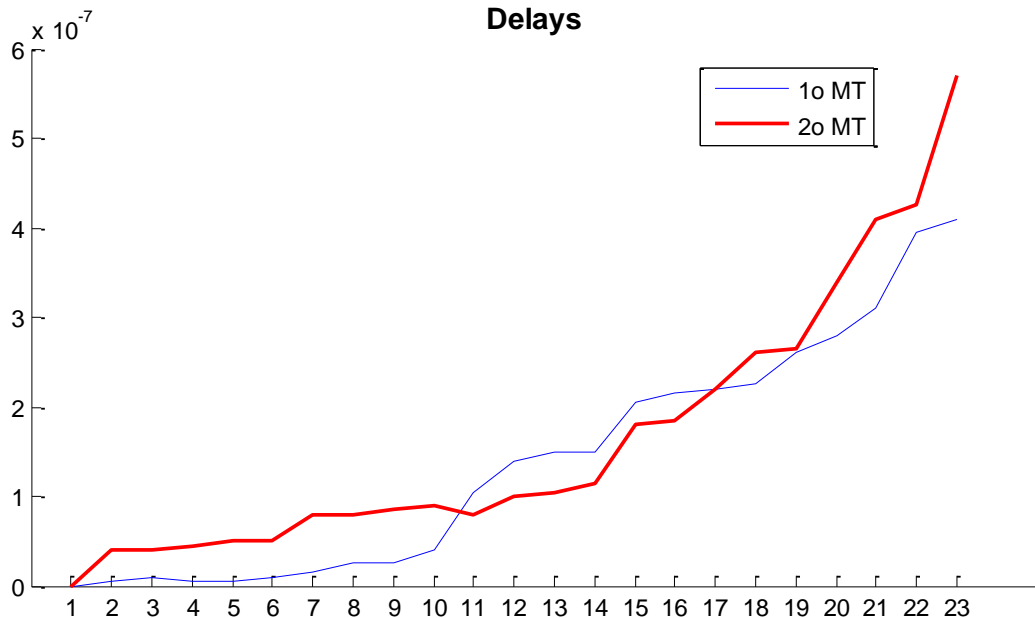
Η pairing matrix του συγκεκριμένου δικτύου είναι μία μήτρα 1x2 η οποία περιέχει 1 γραμμή αφού έχουμε 1 BS και 2 στήλες λόγω των 2 τερματικών. Η πρώτη στήλη αφορά το κινητό στη θέση (100,100) ενώ η δεύτερη το κινητό στη θέση (500,400).

Οι γραμμές και οι στήλες της μήτρας **A** ορίζονται ανάλογα με τη σειρά που ορίσαμε τις συντεταγμένες των διάφορων σταθμών. Αφού και οι 2 ζεύξεις είναι ενεργές, η μήτρα A έχει την επόμενη μορφή:

$$A = [1 \quad 1]$$

5.3.1. Καθυστερήσεις

Το διάγραμμα καθυστερήσεων για κάθε ένα από τα 2 links φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Στο παραπάνω διάγραμμα, η μπλε καμπύλη αντιπροσωπεύει το τερματικό της θέσης (100,100) ενώ η κόκκινη καμπύλη το κινητό τερματικό που βρίσκεται στη θέση (500,400). Η μέση καθυστέρηση για τις δύο ζεύξεις είναι 139ns (0.139μs) και 166ns (0.166 μs).

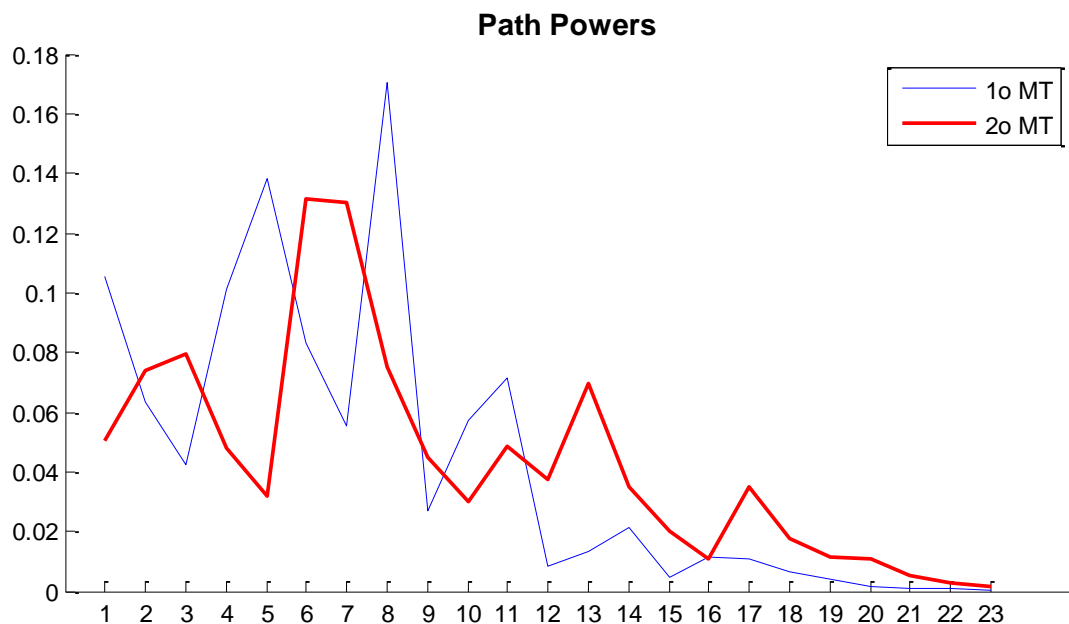
Αφού τα τερματικά ορίσαμε να είναι ακίνητα, το διάγραμμα καθυστερήσεων επιβεβαιώνει αυτό που αναμενόταν εξ' αρχής, ότι δηλαδή το κοντινότερο στο σταθμό βάσης τερματικό (1^ο τερματικό) θα υφίσταται μικρότερες καθυστερήσεις από το 2^ο τερματικό. Φυσικά, μεγάλο ρόλο παίζει το γεγονός ότι το περιβάλλον διάδοσης και για τα 2 τερματικά είναι το ίδιο, οπότε η διάδοση εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την απόσταση.

Ένα σημείο που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι **οι τιμές αυτές είναι διακριτές και αφορούν κάθε ένα path**. Δηλαδή, δεν είναι διάγραμμα που δείχνει πως εξελίσσονται χρονικά οι καθυστερήσεις για τις δύο ζεύξεις αλλά δείχνει τις υπολογισμένες τιμές του delay για

καθένα path που προσομοιώνεται. Αυτό ισχύει και για τα επόμενα διαγράμματα που ακολουθούν.

5.3.2. Ισχύς μονοπατιών

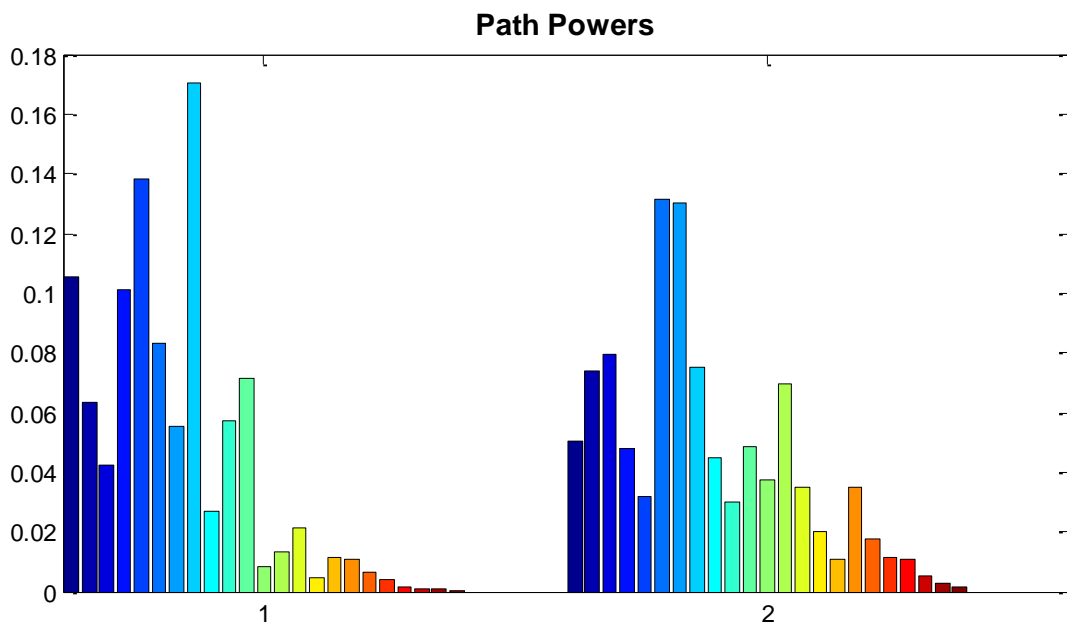
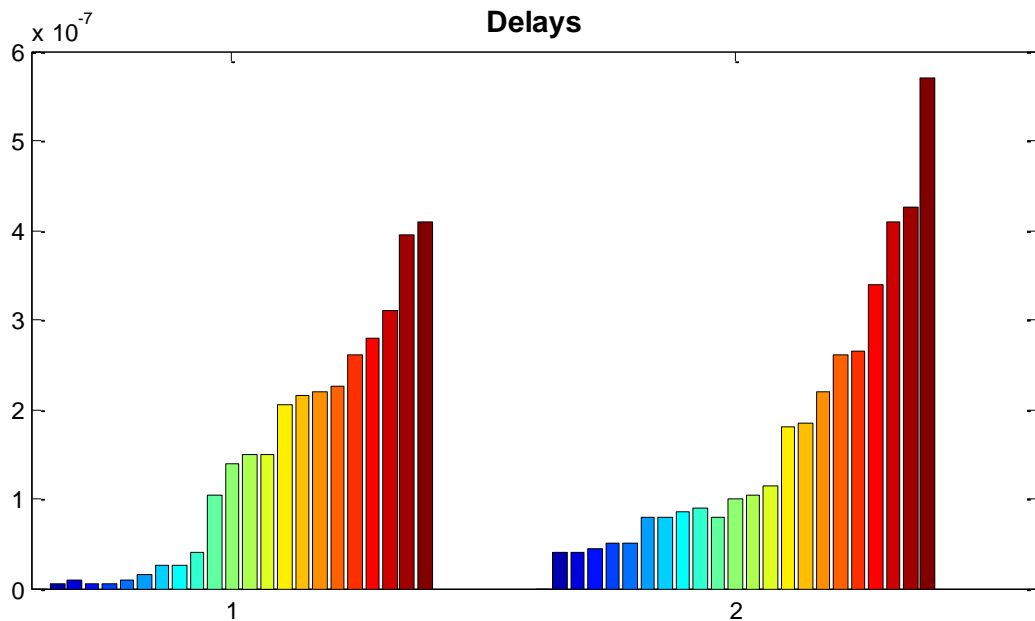
Το επόμενο διάγραμμα δείχνει την ισχύ καθενός path των 2 ζεύξεων:



Από το προηγούμενο διάγραμμα μπορούμε να κάνουμε μία ενδιαφέρουσα διαπίστωση. Κατά μήκος της ίδιας ζεύξης αλλά και μεταξύ των δύο ζεύξεων παρατηρούμε ότι στα path που εμφανίζεται μεγάλη καθυστέρηση, η ισχύς είναι μικρή και το αντίστροφο.

Το συμπέρασμα αυτό είναι απόλυτα λογικό και αναμενόταν εξ'αρχής, αφού από τη θεωρία γνωρίζουμε ότι ένα σήμα με μεγάλη ισχύ θα φτάσει πιο σύντομα στο δέκτη απ'ότι ένα σήμα με μικρή ισχύ.

Στα παρακάτω σχήματα, το φαινόμενο αυτό είναι πιο ευδιάκριτο:



Ένα αριθμητικό παράδειγμα που υποστηρίζει την προηγούμενη διαπίστωση είναι το εξής:

	1 ^ο MT		2 ^ο MT	
Path	Delay(ns)	Power(mW)	Delay(ns)	Power(mW)
8 ^ο	25	170	80	75
13 ^ο	150	13.1	105	69.5

5.3.3. Path Loss

Μιας και στο συγκεκριμένο πείραμα έχουμε μόνο 2 ζεύξεις, όπως είναι λογικό το διάγραμμα του path loss θα είναι μια ευθεία γραμμή που θα ενώνει τις 2 τιμές του path loss που αντιστοιχεί στην 1^η και στην 2^η ζεύξη. Οπότε, θεωρήσαμε προτιμότερο να αναφέρουμε το υπολογιζόμενο PL αντί να το σχεδιάσουμε.

Η απώλεια μονοπατιού για τις 2 ζεύξεις συνοψίζεται στον επόμενο πίνακα:

	Path Loss (dB)
1 ^ο Link	-105.556
2 ^ο Link	-109.745

Από τις προηγούμενες τιμές, μπορούμε να πούμε ότι το path loss για τη ζεύξη που αφορά το 1^ο τερματικό είναι μικρότερο από αυτό που αφορά το 2^ο τερματικό. Ακόμα και στην απλούστερη θεώρηση για τον υπολογισμό του path loss γνωρίζουμε ότι η απώλεια μονοπατιού εξαρτάται από την απόσταση πομπού και δέκτη. Δεδομένου λοιπόν ότι το 1^ο τερματικό είναι πιο κοντά στο σταθμό βάσης είναι λογικό να εμφανίζει μικρότερη απώλεια.

5.3.4. Διαλείψεις Σκίασης

Για τον λόγο που εξηγήθηκε στο 5.3.3., οι διαλείψεις καθώς και η εξάπλωση καθυστέρησης θα αναφερθούν μόνο αριθμητικά.

	Shadow Fading (dB)
1 ^ο Link	1.62
2 ^ο Link	5.39

Στο δίκτυο που εξετάζουμε, παρατηρούμε ότι οι διαλείψεις λόγω σκίασης είναι ισχυρές. Αυτό οφείλεται στο ότι, το A2 σενάριο (Indoor-

to-Outdoor) καθοριστικός παράγοντας σκίασης του σήματος αλλά και σημαντικής μείωσης της ισχύς του είναι οι τοίχοι, το πάτωμα καθώς και οι ενδιάμεσοι όροφοι του κτηρίου. Οπότε παρόλο που τα τερματικά δεν απέχουν πολύ από το σταθμό και το περιβάλλον δεν θεωρείται κακό για τη διάδοση, οι απώλειες παραμένουν μεγάλες. Πάλι διαπιστώνουμε ότι, το κοντινότερο στο BS, τερματικό υποφέρει από μικρότερης έντασης διαλείψεις από ότι το μακρινό.

5.3.5. Διασπορές καθυστέρησης

Όπως γνωρίζουμε, το delay spread καθορίζει άμεσα το αν ο δίαυλος θεωρείται flat ή frequency selective. Ταυτόχρονα, εξετάζοντας την ταχύτητα των διαλείψεων (αργές ή γρήγορες) καταλαβαίνουμε την ποιότητα του διαύλου τη στιγμή που θέλουμε να τον χρησιμοποιήσουμε. Οπότε, θεωρήσαμε σκόπιμο να αναφέρουμε στο σημείο αυτό και τις τιμές του delay spread για τις ζεύξεις του δικτύου.

	Delay Spread (ns)
1 ^ο Link	59.5
2 ^ο Link	90.5

Η γνώση των μεγεθών που παρατέθηκαν στην παράγραφο αυτή μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμη για την εγκατάσταση μιας πραγματικής τηλεπικοινωνιακής ζεύξης σε κάποια περιοχή που θεωρείται indoor-to-outdoor περιβάλλον.

Γενικά, στο κεφάλαιο αυτό, έχουν αναλυθεί τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να μελετηθούν σε ένα δίκτυο. Σε επόμενα κεφάλαια θα γίνει περισσότερο εμφανής η σπουδαιότητα της γνώσης των ισχύων/καθυστερήσεων τα οποία είναι άρρικτα συνδεδεμένα με θέματα παρεμβολών και επιθυμητής ή μη συμβολής σημάτων.

Επίσης, τα τρία τελευταία χαρακτηριστικά (path loss, shadow fading, delay spread) είναι απαραίτητα προκειμένου να χαρακτηριστεί ένας διάυλος flat ή frequency selective και αργών ή γρήγορων διαλείψεων.

Για παράδειγμα, η 2^η ζεύξη παρουσιάζει μεγάλη διασπορά καθυστέρησης, και συνεπώς ο σχεδιαστής θα πρέπει να εισάγει equalizer προκειμένου να μην κινδυνέψει να γίνει ο διάυλος συχνοεπιλεκτικός. Σαν συμπέρασμα λοιπόν, θα μπορούσαμε να πούμε ότι για αυτή τη θέση του σταθμού βάσης, το 2^ο τερματικό δεν αντιμετωπίζει καλές συνθήκες διάδοσης με αποτέλεσμα να αναζητήσουμε πιθανώς κάλυψη από κάποιον άλλο σταθμό για τον συγκεκριμένο χρήστη σε μία ρεαλιστική σχεδίαση.

6. Μελέτη ζεύξης: 2 Base Stations – 5 Mobile Stations

6.1. Περιγραφή της ζεύξης

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα μοντελοποιηθεί μία ζεύξη που περιλαμβάνει 2 σταθμούς βάσης, χωρίς τομείς, και 5 κινητά τερματικά στη συχνότητα WiMax. Οι θέσεις των παραπάνω σταθμών ορίστηκαν με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που εξηγήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιλέχθηκαν λοιπόν οι εξής θέσεις:

- **Base Stations:** (100 , 200) , (250 , 350)
- **Mobile Stations:** (50 , 100) , (75 , 250) , (177 , 220) , (230 , 450) , (250, 150)

Ο αριθμός των ενεργών ζεύξεων είναι 10 links, δηλαδή κάθε σταθμός βάσης επικοινωνεί και με τα 5 τερματικά. Η ταχύτητα κίνησης των χρηστών επιλέχθηκε να είναι 10 km/h και η κατεύθυνση της κίνησης τους τυχαία. Το ύψος της κεραίας των σταθμών βάσης ορίσαμε να είναι 5m, των τερματικών 1m και το ύψος των γύρω κτηρίων 10m.

Το δίκτυο υποτίθεται ότι βρίσκεται σε περιβάλλον διάδοσης C2-Urban Macrocell. Οι συνθήκες διάδοσης που επικρατούν είναι NLOS για όλα τα κινητά τερματικά που καλύπτονται από μακροκυψέλες, λόγω του φαινομένου της περίθλασης που δημιουργείται από τις γωνίες των ψηλών κτηρίων που υπάρχουν μεταξύ των πομποδεκτών σε κάθε μητροπολιτικό περιβάλλον.

Στο πείραμα αυτό θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε το δίκτυο σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη, όλα τα τερματικά καλύπτονται και από τους 2 σταθμούς ενώ στη δεύτερη, τα τερματικά καλύπτονται από διαφορετικούς σταθμούς. Έτσι, θα σχολιάσουμε θέματα τυχόν

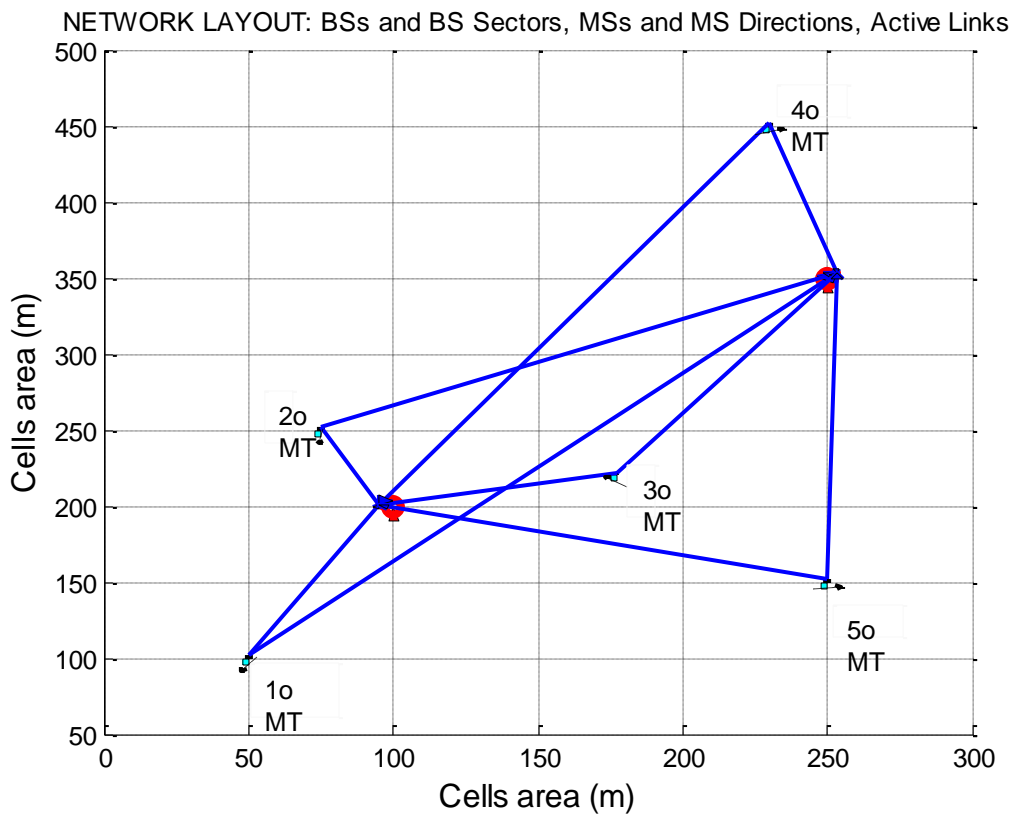
παρεμβολών που προκύπτουν και εν τέλει θα προτείνουμε τις καλύτερες συνθήκες κάλυψης με βάση τις καθυστερήσεις και τις παρεμβολές που παρουσιάζονται.

▪ **1^η Περίπτωση: 10 ενεργές ζεύξεις**

6.2. Παρουσίαση του δικτύου

Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που θα προσομοιωθεί με το WINNER φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Η διάταξη περιλαμβάνει και τις φορές κίνησης των τερματικών αφού πλέον αυτά κινούνται προς τυχαίες κατευθύνσεις μέσα στο χώρο. Όπως βλέπουμε, πράγματι όλα τα τερματικά συνδέονται με όλους τους σταθμούς βάσης, οπότε συνολικά ο αριθμός των ενεργών ζεύξεων είναι 10.

Αλλάζοντας τις παραμέτρους που δέχεται η δομή linkpar του WINNER, προκύπτει το επόμενο σχήμα στο οποίο απεικονίζεται το δίκτυο:



Η μήτρα A που δείχνει τις ενεργές ζεύξεις έχει την παρακάτω μορφή:

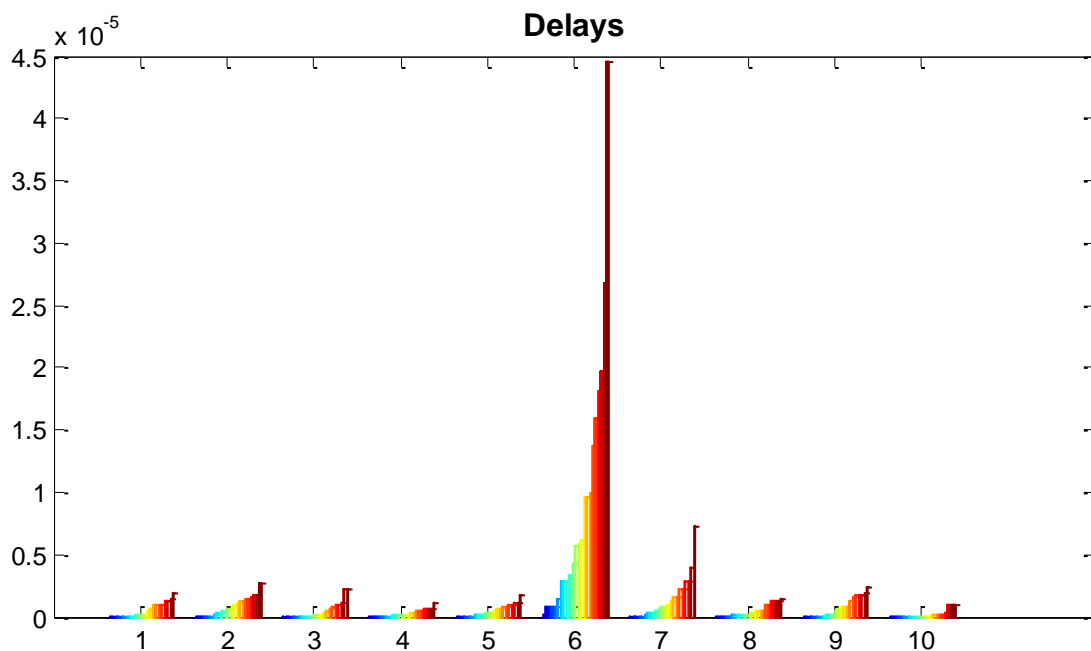
$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1o & 2o & 3o & 4o & 5o \end{matrix} & \begin{matrix} MT/BS \\ 1os \\ 2os \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} & & \end{matrix}$$

Το WINNER συμπληρώνει την pairing matrix κατά στήλες αλλά αντιλαμβάνεται τη σειρά των ζεύξεων κατά γραμμές. Έτσι, η 5^η ζεύξη αφορά τους σταθμούς 5^ο MT – 1^ο BS, η 6^η ζεύξη αφορά τους 1^ο MT – 2^ο BS, κ.τ.λ.

6.3. Εκτέλεση του WINNER – Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

6.3.1. Καθυστερήσεις

Το διάγραμμα καθυστερήσεων για κάθε ένα από τα 10 links φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Η μέση καθυστέρηση για κάθε μία ζεύξη είναι, κατά σειρά απεικόνισης στο σχήμα, αυτή που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Αριθμός Ζεύξης	Καθυστερήσεις (μs)
1	0.54
2	0.82
3	0.51
4	0.31
5	0.50
6	8.67
7	1.32
8	0.49
9	0.75
10	0.22

Ένα αρχικό συμπέρασμα που προκύπτει από το προηγούμενο διάγραμμα είναι, ότι οι τιμές των καθυστερήσεων κάθε ζεύξης είναι εμφανώς μεγαλύτερες από τις τιμές της προηγούμενης προσομοίωσης που έγινε σε περιβάλλον εσωτερικό. Αυτό είναι λογικό, εάν σκεφτούμε ότι το σενάριο της διάδοσης είναι αστικό (εξωτερικό) και η κάλυψη γίνεται με μακροκυψέλες.

Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο που αναλύσαμε τα διάφορα σενάρια διάδοσης, το αστικό περιβάλλον κυριαρχείται από ψηλά κτηρία και ακανόνιστες περιοχές. Το γεγονός αυτό, συν το ότι η διάδοση είναι κατά βάση NLOS ή OLOS (Obstructed LOS), συντελούν στη μεγάλη καθυστέρηση που παρουσιάζεται στις εν λόγω ζεύξεις.

Ενδιαφέρον επίσης, είναι να παρατηρήσουμε ότι η 6^η ζεύξη εμφανίζει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση από όλες τις υπόλοιπες. Αν θυμηθούμε την pairing matrix A, θα διαπιστώσουμε ότι η ζεύξη αυτή είναι μεταξύ του 2^{ου} BS και του 1^{ου} MT.

Στον επόμενο πίνακα, θα καταγράψουμε τις αποστάσεις των τερματικών από τους σταθμούς βάσης, όπως αυτές προκύπτουν από την συνάρτηση `distrnd` που είναι ενσωματωμένη στη δομή `linkpar`.

Απόσταση (m)	1 ^ο MT	2 ^ο MT	3 ^ο MT	4 ^ο MT	5 ^ο MT
1 ^{ος} BS	70	88	73	78	76
2 ^{ος} BS	98	84	86	75	97

Ο προηγούμενος πίνακας φανερώνει πως πράγματι η 6^η ζεύξη (2^{ος} BS – 1^ο MT) συνδέει τα μακρινότερα σημεία άρα είναι λογικό να εμφανίζει υψηλή καθυστέρηση σε σχέση με τις άλλες ζεύξεις.

Βέβαια, η απόσταση δεν είναι η μόνη παράμετρος από την οποία εξαρτάται η καθυστέρηση αφού καθοριστικό ρόλο παίζει και η (τυχαία) φορά κίνησης των τερματικών. Για το λόγο αυτό, τερματικά που απέχουν περισσότερο από τους σταθμούς καθυστερούν λιγότερο από άλλα (π.χ. 10^η ζεύξη – μικρότερο delay). Η 6^η ζεύξη συνεχίζει να καθυστερεί αρκετά καθώς το 1^ο τερματικό απομακρύνεται και από τους δύο σταθμούς.

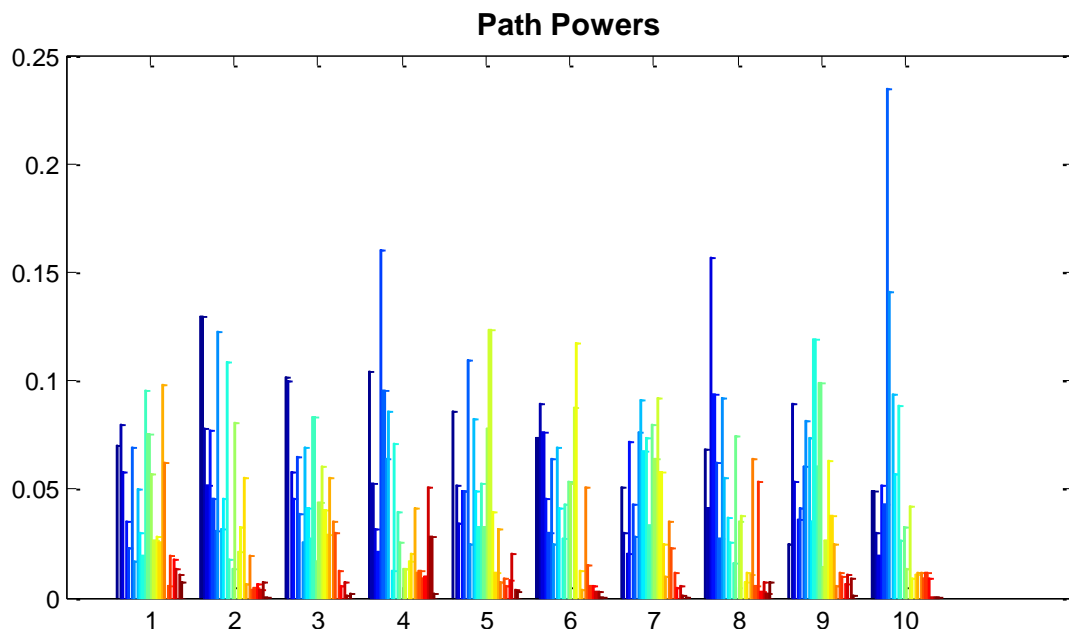
Η συνάρτηση `distrnd` έχει τη μορφή $d = \text{distrnd}(k, R_{\max})$ όπου k είναι ο αριθμός των ζεύξεων και R_{\max} είναι η μέγιστη ακτίνα μιας κυψέλης. Ο τρόπος λειτουργίας της συνάρτησης αυτής είναι να υπολογίζει την απόσταση των χρηστών από τους σταθμούς βάσης με βάση τη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της απόστασης:

$$p(r) = 2 \cdot \frac{r}{R_{\max}^2}$$

όταν αυτοί είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε μία κυψέλη ακτίνας R_{\max} . Ουσιαστικά, η συνάρτηση αυτή βρίσκει ποιες αποστάσεις είναι μεγαλύτερες από την ακτίνα της εκάστοτε κυψέλης και τις προσαρμόζει έτσι ώστε κάθε τερματικό να βρίσκεται στα όρια που ορίζουν οι διαστάσεις των κελιών.

6.3.2. Ισχύς Μονοπατιών

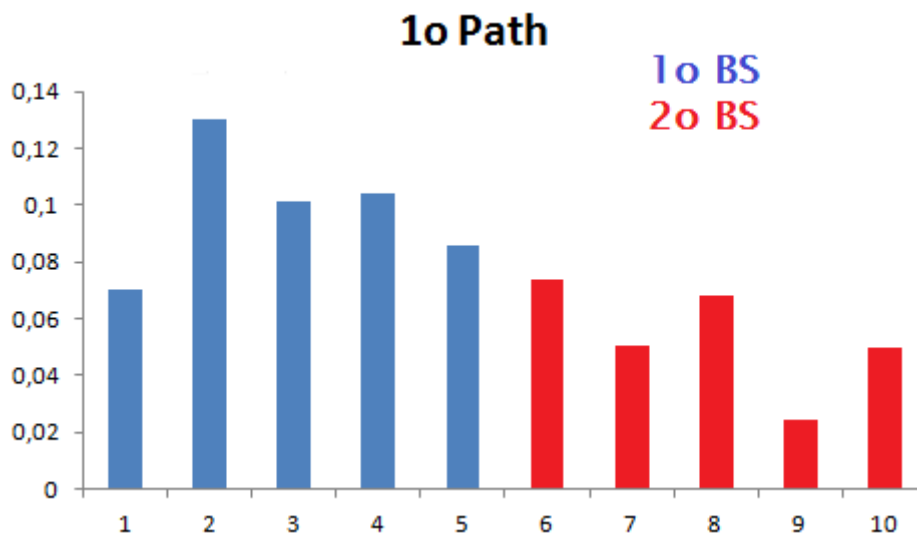
Το παρακάτω διάγραμμα απεικονίζει τις ισχύς καθενός μονοπατιού για κάθε μία από τις 10 ζεύξεις που υπάρχουν στο δίκτυο αυτό.



Παραπάνω απεικονίζεται το διάγραμμα ισχύων για όλες τις ζεύξεις και για κάθε path. Αν και είναι δύσκολο να το διακρίνουμε, στα σημεία όπου η καθυστέρηση είναι μεγάλη η αντίστοιχη ισχύς είναι μικρή και το αντίστροφο. Τονίζουμε πάλι, ότι μεγάλη σημασία για όλα τα αποτελέσματα έχουν και οι φορές κίνησης των τερματικών τα οποία είτε απομακρύνονται είτε πλησιάζουν τους σταθμούς.

Ενδεικτικά, κάποιες αντιστοιχίες τιμών καθυστέρησης-ισχύος είναι οι επόμενες:

Link	Path	Delay	Power
1	6	0.6 ns	0.07 W
1	7	0.9 ns	0.02 W
7	11	0.49 μ s	0.033 W
7	13	0.84 μ s	0.064 W



Για λόγους ευκρίνειας, παρατίθεται το διάγραμμα ισχύων του 1^{ου} path για τις 10 ζεύξεις. Κάτι που αξίζει να παρατηρήσουμε είναι ότι η ισχύς κατά τη ζεύξη 1 και 6 είναι περίπου ίδια και συγκεκριμένα είναι 0.070 και 0.073 αντίστοιχα. Για τις υπόλοιπες ζεύξεις, η διαφορά στην ισχύ είναι εμφανής από το παραπάνω διάγραμμα.

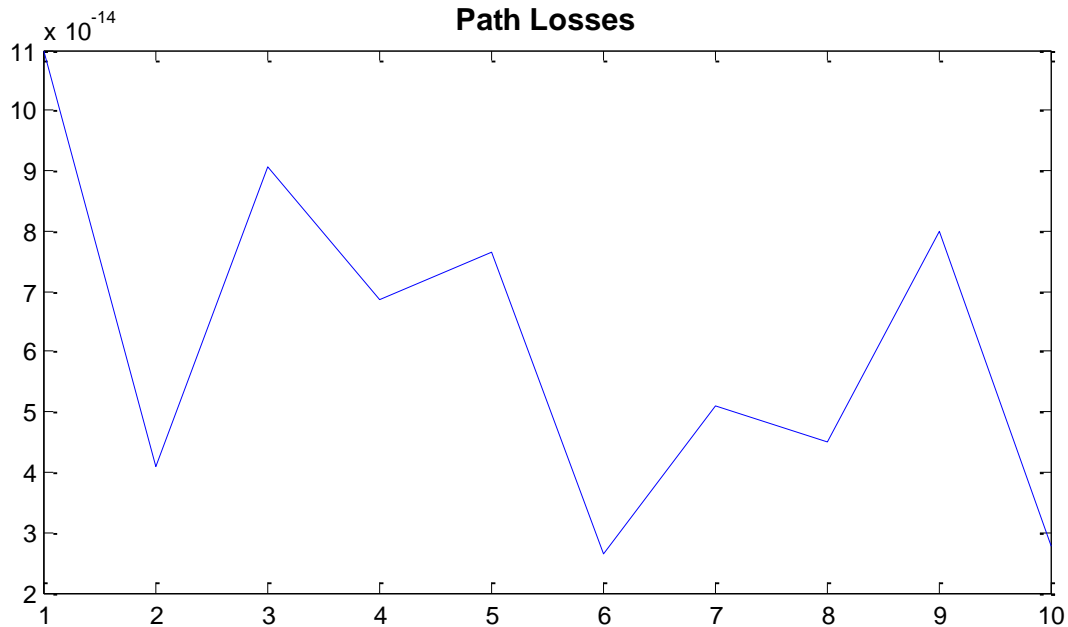
Το γεγονός αυτό, σημαίνει ότι το σήμα που μεταδίδεται από τον 2^ο σταθμό βάσης προς το 1^ο τερματικό μπορεί να ληφθεί υπόψιν ως παρεμβολή προς το σήμα που μεταδίδεται από τον 1^ο σταθμό βάσης.

Γενικότερα, ο σχεδιαστής μπορεί να θέσει, ανάλογα με την εφαρμογή, ένα κατώφλι ισχύος πάνω από το οποίο τα σήματα που λαμβάνονται να θεωρούνται παρεμβολή και συνεπώς ανεπιθύμητα για τη μετάδοση. Από την παρατήρηση αυτή, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να στείλουμε πληροφορία στο 1^ο MT μόνο από τον 1^ο BS και όχι από τον 2^ο. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη προσομοίωση θα γίνει για 2 περιπτώσεις κάλυψης όπως έχει προαναφερθεί.

Αντίθετα, οι υπόλοιπες ζεύξεις δεν φαίνεται να αντιμετωπίζουν παρόμοιο πρόβλημα κατά συνέπεια η μετάδοση θα μπορούσε να παραμείνει ως έχει για τα τερματικά αυτά.

6.3.3. Path Loss

Το path loss μοντέλο που ακολουθεί η συγκεκριμένη διάδοση είναι αυτό που δείχνει το επόμενο διάγραμμα.



Το διάγραμμα αυτό είναι σχεδιασμένο σε **γραμμική κλίμακα** και όχι σε λογαριθμική. Στον επόμενο πίνακα, καταγράφονται οι τιμές του path loss σε dB.

Links	Path Loss(dB)
1	-129.58
2	-133.87
3	-130.42
4	-131.63
5	-131.16
6	-135.78
7	-132.92
8	-133.46
9	-130.97
10	-135.59

Οι τιμές του path loss που αντιπροσωπεύει κάθε μία ζεύξη είναι αρκετά υψηλές. Το γεγονός αυτό οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στο ότι το σενάριο της προσομοίωσης είναι μητροπολιτικό με μακροκυψέλες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στο περιβάλλον αυτό δεν υπάρχει ούτε οπτική επαφή (και αν υπάρχει περιορίζεται από εμπόδια) και είναι έντονο το φαινόμενο της περίθλασης. Συνέπεια αυτού είναι, το σήμα να φτάνει κατά πολύ εξασθενημένο στο δέκτη, ακόμα και αν βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τον πομπό, μιας και κατά τη μετάδοση μεσολαβούν κορυφές ψηλών κτηρίων καθώς και άλλα κινούμενα μέσα (άνθρωποι, αυτοκίνητα, φορτηγά).

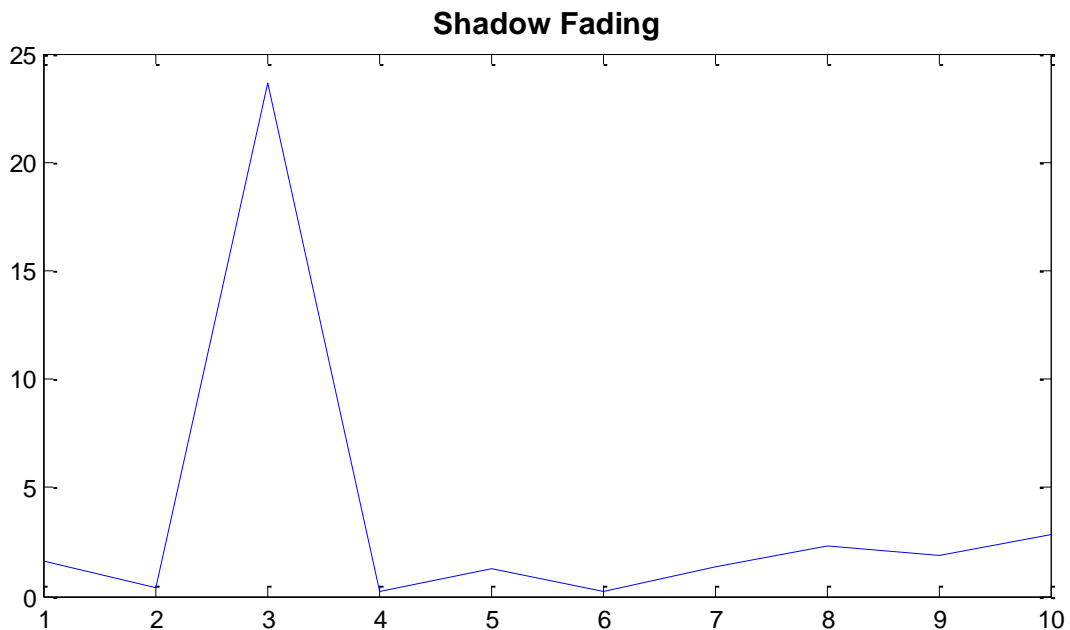
Ακόμα και έτσι όμως, παρατηρούμε ότι η ζεύξη 1^ο MT-1^{ος} BS και η ζεύξη 4^ο MT-2^{ος} BS εμφανίζουν, συγκριτικά με τις υπόλοιπες, μικρότερες τιμές για την απώλεια μονοπατιού αφού καθένα βρίσκεται πιο κοντά στον αντίστοιχο σταθμό βάσης.

Επίσης, αν θυμηθούμε τις τιμές του path loss στην πρώτη προσομοίωση θα δούμε ότι ήταν -105 και -109 dB για τα δύο τερματικά εκείνου του δικτύου, δηλαδή 10-25 dB λιγότερη απώλεια. Βέβαια, τονίζουμε ότι το περιβάλλον εκεί ήταν εσωτερικό-προς-εξωτερικό οπότε αναμενόταν η απώλεια μονοπατιού να είναι μικρότερη από τώρα.

Τέλος, επισημαίνεται ότι, παρόλο που, πολλές παράμετροι (φορά κίνησης, γωνίες μεταξύ των σταθμών) έχουν οριστεί τυχαία, τα γενικά συμπεράσματα που έχουν προκύψει επιβεβαιώνονται και από τη θεωρία που γνωρίζουμε. Έτσι, αν ξανατρέξουμε το ίδιο πείραμα χωρίς να αλλάξουμε τίποτα, αφενός τα αποτελέσματα θα είναι διαφορετικά από τώρα, αλλά από την άλλη οι συγκρίσεις με την προηγούμενη προσομοίωση θα παραμένουν λογικές και θεωρητικά συνεπείς.

6.3.4. Διαλείψεις Σκίασης

Στο σχήμα που ακολουθεί, παρατίθεται το διάγραμμα των διαλείψεων λόγω σκίασης σε γραμμική κλίμακα.



Καταγράφοντας τις υπολογισμένες τιμές που απεικονίζονται στο διάγραμμα παίρνουμε τον επόμενο πίνακα:

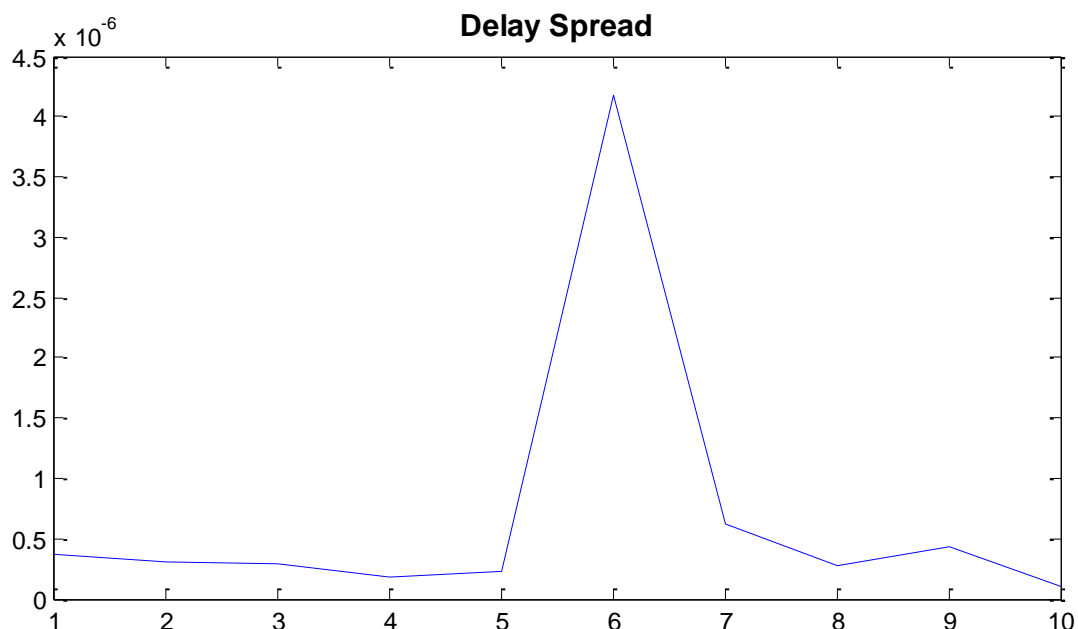
Links	Shadow Fading (dB)
1	1.620
2	0.330
3	23.60
4	0.208
5	1.260
6	0.194
7	1.350
8	2.340
9	1.900
10	2.880

Από τις αναγραφόμενες τιμές μπορούμε να δούμε ότι η εν λόγω διάδοση πλήττεται από ισχυρές διαλείψεις μεγαλύτερες από 1 dB. Αυτό δικαιολογείται λόγω του ότι οι συνθήκες διάδοσης δεν είναι ελεύθερες από εμπόδια. Σε αντίθεση με τις μεγάλες εκτάσεις, όταν από έναν εσωτερικό χώρο μεταδίδουμε προς το εξωτερικό περιβάλλον (indoor-to-outdoor), οι τοίχοι και μόνο είναι ικανοί να σκιάσουν ένα μεγάλο μέρος του μεταδιδόμενου σήματος.

Βέβαια, για λόγους σύγχυσης, να διευκρινίσουμε ότι το path loss διαφέρει από το shadow fading καθώς το πρώτο αφορά σε απώλειες διάδοσης ενώ το δεύτερο αφορά σε συνθήκη διάδοσης. Για το λόγο αυτό άλλωστε εξετάζουμε εάν έχουμε γρήγορες ή αργές διαλείψεις χωρίς να λαμβάνουμε υπόψιν την απόσταση του πομπού από το δέκτη όπως γίνεται στον υπολογισμό του path loss.

6.3.5. Διασπορές Καθυστέρησης

Το τελευταίο διάγραμμα το οποίο θα σχολιαστεί, είναι αυτό που αναπαριστά τις διασπορές καθυστέρησης καθεμιάς ζεύξης.



Για κάθε μία από τις 10 ζεύξεις, το delay spread φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Ζεύξης	Delay Spread(μ s)
1	0.368
2	0.314
3	0.290
4	0.181
5	0.225
6	4.190
7	0.615
8	0.282
9	0.440
10	0.099

Αρχικά, βλέπουμε ότι οι τιμές του delay spread όταν πρόκειται για αστικό περιβάλλον είναι αισθητά μεγαλύτερες από όταν οι ζεύξεις πραγματοποιούνται σε εσωτερικό χώρο. Η διαφορά αυτή σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρούμε ότι μπορεί να φτάσει μέχρι και τάξη μεγέθους μεγαλύτερη.

Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η εξάπλωση καθυστέρησης είναι «συνεπής» με τις καθυστερήσεις. Για παράδειγμα, είναι εύκολα αντιληπτό να δούμε ότι η 6^η ζεύξη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση αλλά και το μεγαλύτερο delay spread. Η 10^η ζεύξη, ομοίως, παρουσιάζει τη μικρότερη μέση καθυστέρηση αλλά και το μικρότερο delay spread.

Μέσω του τελευταίου διαγράμματος, ένας σχεδιαστής τηλεπικοινωνιακών δικτύων μπορεί εύκολα να καταλάβει ότι θα χρειαστεί ισορροπιστή (equalizer) προκειμένου να διατηρήσει το δίαυλο που χρησιμοποιεί η 6^η ζεύξη επίπεδο καθώς με τόσο μεγάλη διασπορά χρόνου το αντίστοιχο εύρος ζώνης συνοχής είναι περίπου $B_C = 48\text{KHz}$. Με τόσο μικρό εύρος συνοχής είναι πολύ πιθανόν να υπάρχει aliasing μεταξύ των διάφορων συνιστωσών του σήματος λόγω πολυδιαδρομικής μετάδοσης.

Από την άλλη πλευρά, στη $10^{\text{η}}$ ζεύξη αντιστοιχεί εύρος συνοχής περίπου $B_C = 2\text{MHz}$, οπότε ο δίαυλος αντιδρά πολύ θετικά για τη συγκεκριμένη διάδοση. Επειδή αναφέρθηκαν μόνο οι ακραίες περιπτώσεις, για λόγους πληρότητας υπολογίστηκαν όλα τα εύρη ζώνης συνοχής και για τις 10 ζεύξεις και είναι τα ακόλουθα:

Αριθμός Ζεύξης	Delay Spread (μs)	Coherence Bandwidth(KHz)
1	0.368	543
2	0.314	637
3	0.290	690
4	0.181	1105
5	0.225	889
6	4.190	48
7	0.615	325
8	0.282	709
9	0.440	455
10	0.099	2020

Η συνολική ανάλυση, μας δίνει μία καλή εικόνα και αντίληψη ως προς τα αποτελέσματα που θα περιμένουμε σε περίπτωση που θελήσουμε να εγκαταστήσουμε αυτό το δίκτυο. Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση της $2^{\text{ης}}$ περίπτωσης για το ίδιο δίκτυο, κατά την οποία οι δύο σταθμοί δεν θα καλύπτουν όλα τα τερματικά ανεξαιρέτως αλλά μόνο συγκεκριμένα.

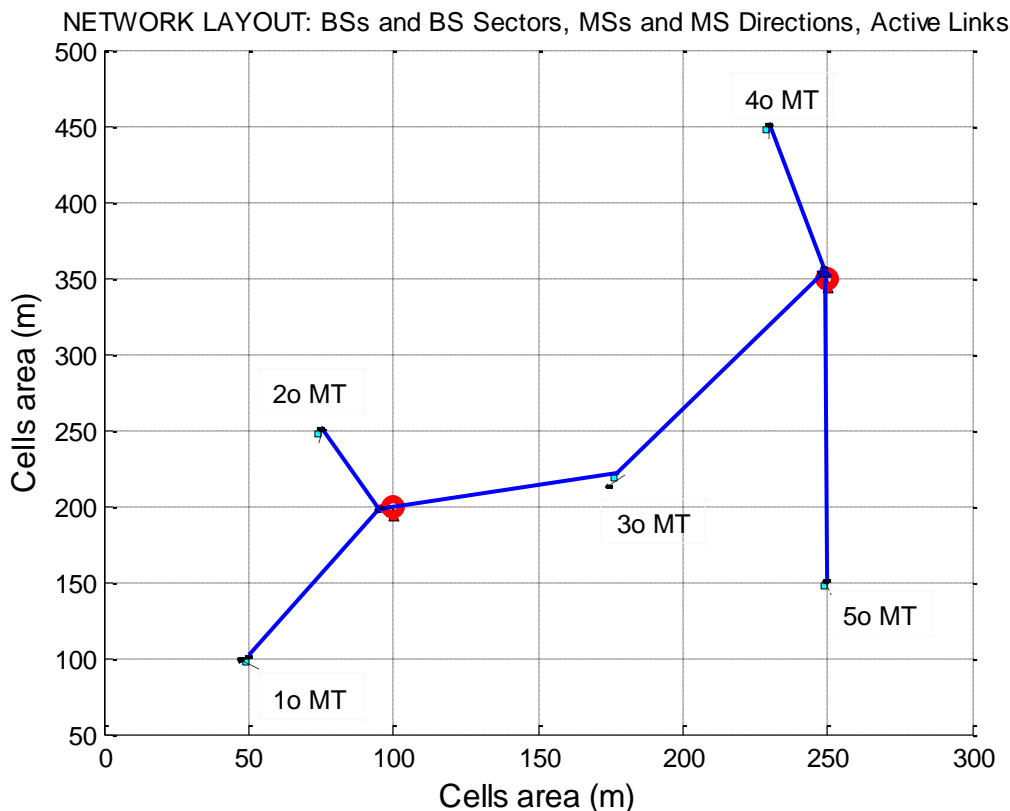
▪ 2^η Περίπτωση: 6 ενεργές ζεύξεις

Στη δεύτερη περίπτωση, με την οποία θα ασχοληθούμε στο σημείο αυτό, αλλάζει μόνο ο αριθμός των ενεργών ζεύξεων στο δίκτυο. Όλα τα υπόλοιπα δεδομένα (αριθμός σταθμών, θέσεις σταθμών, σενάριο διάδοσης, συνθήκες διάδοσης, ύψη κεραιών, ταχύτητα τερματικών) παραμένουν όπως προηγουμένως.

Αμετάβλητη, επίσης, μένει η τυχαία φορά κίνησης των χρηστών καθώς καθώς και οι τυχαίες γωνίες υπό τις οποίες επικοινωνούν οι σταθμοί. Για το λόγο αυτό, οι δύο περιπτώσεις δεν είναι απολύτως ίδιες όσον αφορά τη διάδοση αφού πρώτα η προσομοίωση λειτουργούσε πάνω σε 10 ζεύξεις ενώ τώρα σε 6.

6.4. Παρουσίαση του δικτύου

Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, το δίκτυο που θα μοντελοποιηθεί απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Η pairing matrix του δικτύου, είναι τώρα διαφορετική από πριν και έχει την επόμενη μορφή:

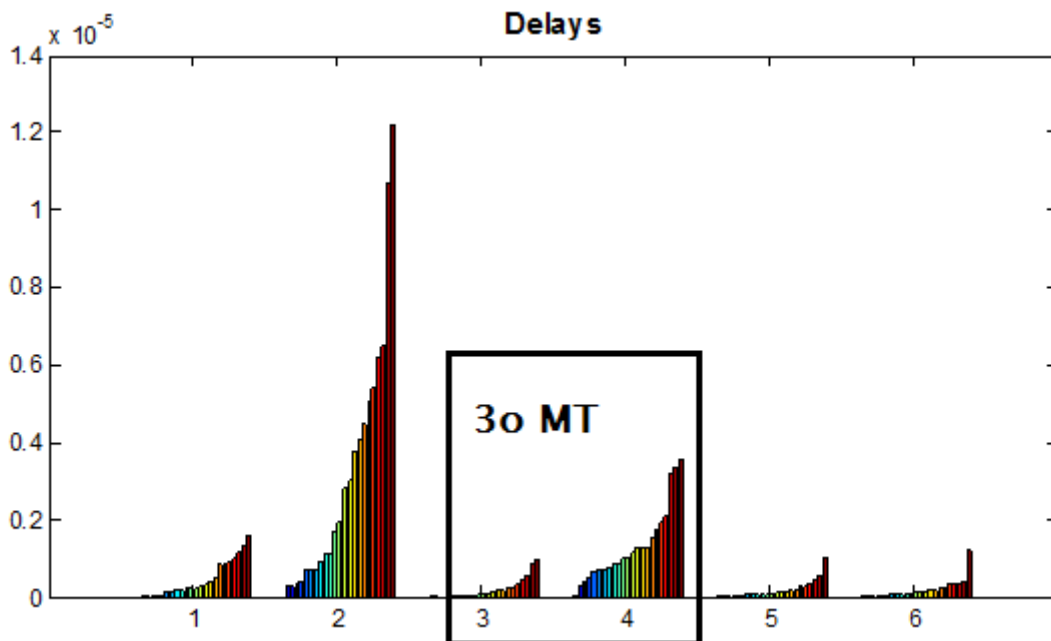
$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1o & 2o & 3o & 4o & 5o \end{matrix} & \begin{matrix} MT/BS \\ 1os \\ 2os \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Όπως βλέπουμε, και από τη διάταξη του δικτύου αλλά και από την μήτρα των ζεύξεων, ο 1^{ος} σταθμός βάσης επικοινωνεί με τερματικά 1,2,3 ενώ ο 2^{ος} σταθμός με τα 3,4,5. Η κάλυψη δηλαδή καθενός τερματικού είναι μοναδική από κάθε σταθμό εκτός από το 3^ο τερματικό που λαμβάνει πληροφορία και από τους δύο σταθμούς.

6.5. Εκτέλεση του WINNER – Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

6.5.1. Καθυστερήσεις

Για τις 6 μοντελοποιημένες ζεύξεις, οι καθυστερήσεις που συναντώνται είναι σχεδιασμένες στο επόμενο σχήμα:



Για αυτό και για όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα, υπενθυμίζεται ότι η 1^η ζεύξη είναι η ζεύξη 1^ο MT-1^{ος} BS, η 2^η ζεύξη είναι 2^ο MT-1^{ος} BS, η

3^η είναι 3^ο MT-1^{ος} BS, η 4^η ζεύξη είναι μεταξύ 3^ο MT-2^{ος} BS, η 5^η ζεύξη αφορά το 4^ο MT-2^{ος} BS και η 6^η το 5^ο MT-2^{ος} BS.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, παρουσιάζουν οι ζεύξεις 3,4 οι οποίες αναφέρονται στο 3^ο τερματικό και οι δύο. Στη συνέχεια, θα γίνει φανερό ποιος σταθμός ικανοποιεί καλύτερα τις προδιαγραφές για την κάλυψη του 3^{ου} τερματικού.

Φυσικά, θα μπορούσαμε να κάνουμε το ίδιο για καθένα από τα 5 τερματικά αλλά για λόγους επίδειξης του WINNER, προτιμήθηκε το 3^ο κινητό το οποίο βρίσκεται σε παραπλήσιες αποστάσεις και από τους 2 σταθμούς.

Η μέση καθυστέρηση κάθε ζεύξης συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Αριθμός Ζεύξης	Καθυστερήσεις (μs)
1	0.44
2	3.10
3	0.18
4	1.26
5	0.17
6	0.18

Το διάγραμμα και ο πίνακας συμφωνούν στο ότι η ζεύξη 2^ο MT-1^{ος} BS εμφανίζει την υψηλότερη καθυστέρηση από όλες τις υπόλοιπες. Στη διάταξη του δικτύου, φαίνεται το 2^ο τερματικό να απομακρύνεται από τον 1^ο σταθμό βάσης, που το καλύπτει, και αυτό συνεπάγεται η καθυστέρηση να αυξάνεται κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης. Οπότε η μεγάλη καθυστέρηση δικαιολογείται από αυτή την άποψη.

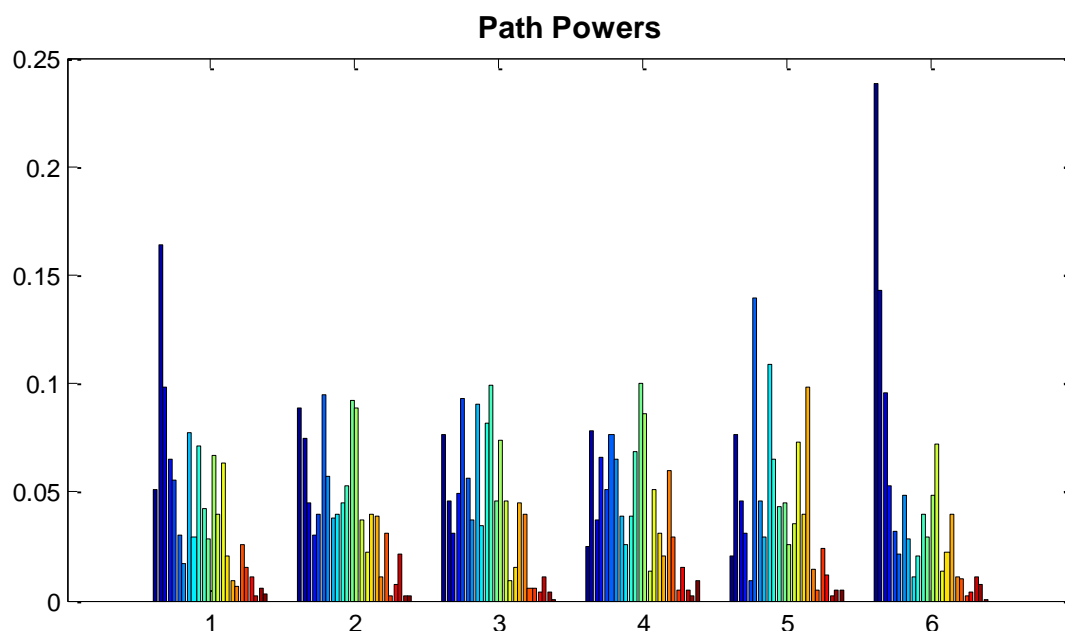
Σε γενικές γραμμές, οι τιμές των καθυστερήσεων δεν παρουσιάζουν διαφορά κατά τάξη μεγέθους από την περίπτωση που τα τερματικά εξυπηρετούνταν από όλους τους σταθμούς ταυτόχρονα καθώς όλες είναι μs. Το γεγονός αυτό, μαρτυρά πως πρωτεύοντα ρόλο στη

μετάδοση παίζει το περιβάλλον τως ζεύξεων και δευτερευόντως οι τυχαίες κινήσεις των χρηστών.

Όσον αφορά στο 3^ο τερματικό που καλύπτεται από 2 σταθμούς παρατηρούμε ότι η καθυστέρηση που υφίσταται το σήμα που μεταδίδεται από τον 2^ο σταθμό (4^η ζεύξη) ξεπερνά την καθυστέρηση από τον 1^ο σταθμό (3^η ζεύξη). Ο λόγος που συμβαίνει αυτό, είναι επειδή το 3^ο κινητό βρίσκεται πλησιέστερα του 1^{ου} παρά του 3^{ου} σταθμού. Με κριτήριο λοιπόν τους χρόνους καθυστέρησης, για μετάδοση προς το 3^ο τερματικό, προτιμότερη κάλυψη έχουμε από τον 1^ο σταθμό. Συνεπώς, σε πραγματικές συνθήκες, η άλλη ζεύξη θα μπορούσε να αποσυνδεθεί και να αξιοποιηθεί για κάλυψη άλλης νέας συσκευής.

6.5.2. Ισχύεις Μονοπατιών

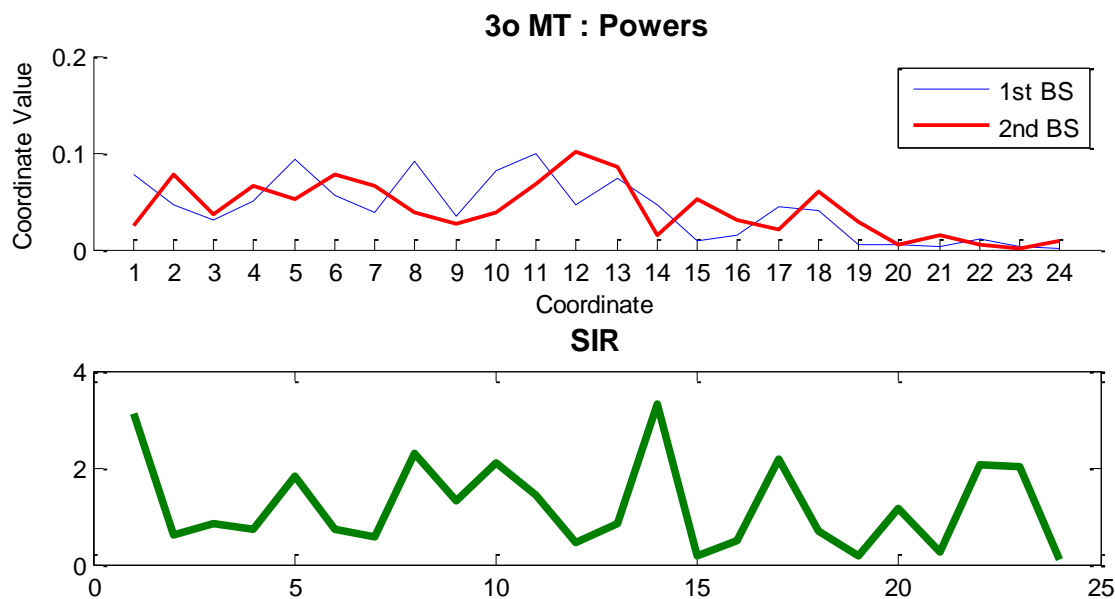
Σε αντιστοιχία με τις καθυστερήσεις, παρατίθεται και το διάγραμμα των ισχύων για τις 6 ζεύξεις που βρίσκονται υπό εξέταση.



Συγκεκριμένα, για το 3^ο τερματικό το οποίο λαμβάνει σήμα από 2 σταθμούς, είναι πιθανόν ο 2^{ος} σταθμός να παρεμβάλλει το σήμα που

στέλνει ο 1^{ος} σταθμός. Το κατά πόσο γίνεται αυτό, εξαρτάται από τις λαμβανόμενες ισχύεις πάνω στο 3^ο τερματικό, ή αντίστοιχα από τη διαφορά τους.

Στα επόμενα σχήματα απεικονίζονται απ'τη μία οι ισχύεις αυτές και από την άλλη η απόλυτη τιμή της διαφοράς τους. Έτσι θα γίνει φανερό, αν πράγματι υπάρχει θέμα παρεμβολής και σε πόσο έντονο βαθμό.



Τα διαγράμματα αυτά, κάνουν φανερό πως το 3^ο τερματικό υφίσταται σοβαρή παρεμβολή από τον 2^ο σταθμό. Οι σταθμοί αυτοί, τροφοδοτούν περίπου με ίδια ένταση ισχύος το κινητό και όπως φαίνεται από το δεύτερο διάγραμμα, η παρεμβολή είναι σημαντική και κάθε άλλο παρά αμελητέα.

Σε επίπεδο SIR, ο λόγος σήματος προς παρεμβολή, αν θεωρήσουμε ότι επιθυμητό σήμα είναι το σήμα που εκπέμπει ο 1^{ος} σταθμός ενώ ανεπιθύμητο το σήμα που εκπέμπει ο 2^{ος} σταθμός τότε ο λόγος σήματος προς παρεμβολή ανέρχεται, κατά μέσο όρο, σε:

$$SIR = 1.23 \text{ dB}$$

Αυτό το SIR θεωρείται υψηλό αφού οι ισχείς εκπομπής είναι αρκετά μικρές όπως παρατηρούμε από το πρώτο διάγραμμα.

Οι ακριβείς τιμές για το SIR, για κάθε ένα από τα 24 paths αναγράφονται στον επόμενο πίνακα μιας και παραπάνω αναφέραμε μόνο τον μέσο όρο αυτού.

Paths	SIR(dB)	Paths	SIR(dB)
1	3.11	13	0.85
2	0.59	14	3.30
3	0.84	15	0.18
4	0.74	16	0.48
5	1.82	17	2.18
6	0.73	18	0.67
7	0.57	19	0.19
8	2.31	20	1.16
9	1.31	21	0.25
10	2.11	22	2.05
11	1.45	23	2.01
12	0.46	24	0.08

Εκτός λοιπόν από τις καθυστερήσεις, με κριτήριο και τις ισχείς, ένας σχεδιαστής θα πρέπει να αποσυνδέσει τη 4^η ζεύξη καθώς παρεμβάλλει σε έντονο βαθμό την 3^η ζεύξη με συνέπεια να δημιουργεί προβλήματα κατά τη μετάδοση. Τα πιθανά προβλήματα που προκύπτουν είναι κυρίως το aliasing που θα δημιουργηθεί στο δέκτη με αποτέλεσμα την παρασιτική λήψη δεδομένων.

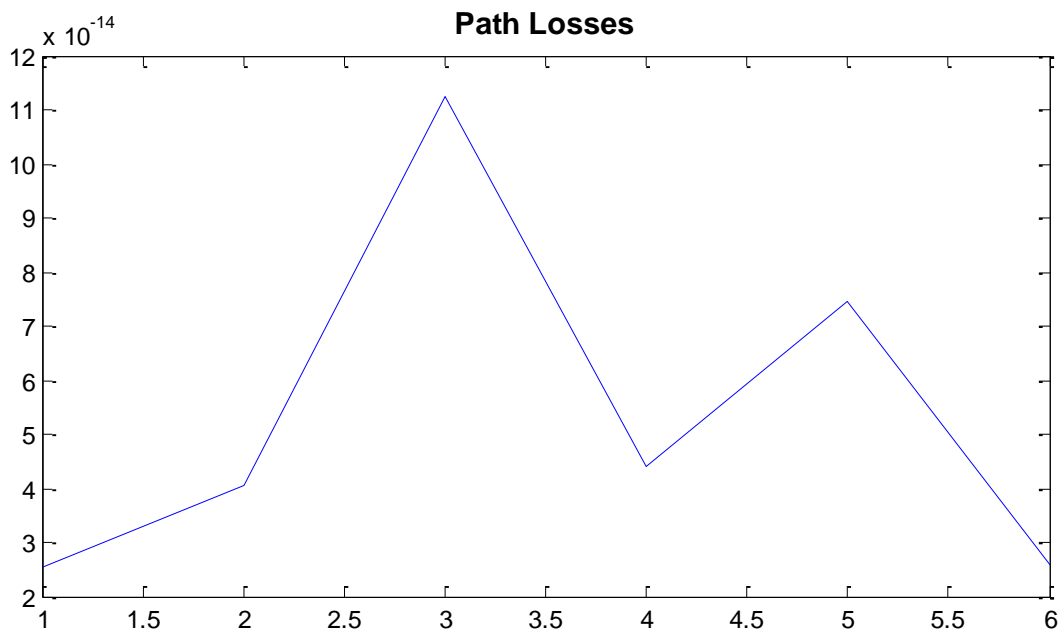
Τέλος, επειδή οι ισχείς από τους δύο σταθμούς είναι σχεδόν ισόποσες, η λύση του να οριστεί ένα κατώφλι ισχύος προκειμένου να αποφευχθεί η παρεμβολή, δεν κρίνεται κατάλληλη για αυτήν την εφαρμογή.

Το WINNER δεν εμπεριέχει σαν παράμετρο εξόδου το λόγο SIR καθώς δεν εισάγεται εκ των προτέρων ο αριθμός των ζεύξεων που λειτουργούν παρεμβολικά. Από τα δεδομένα όμως που προκύπτουν

κατά την προσομοίωση, είναι στη διάθεση του μηχανικού να καταλάβει εάν πράγματι τίθεται θέμα παρεμβολής ή όχι.

6.5.3. Path Losses

Στο επόμενο διάγραμμα, βλέπουμε τις τιμές του path loss για τις προσομοιωμένες ζεύξεις.



Αναλυτικότερα, το path loss για κάθε ζεύξη καταγράφεται στη συνέχεια:

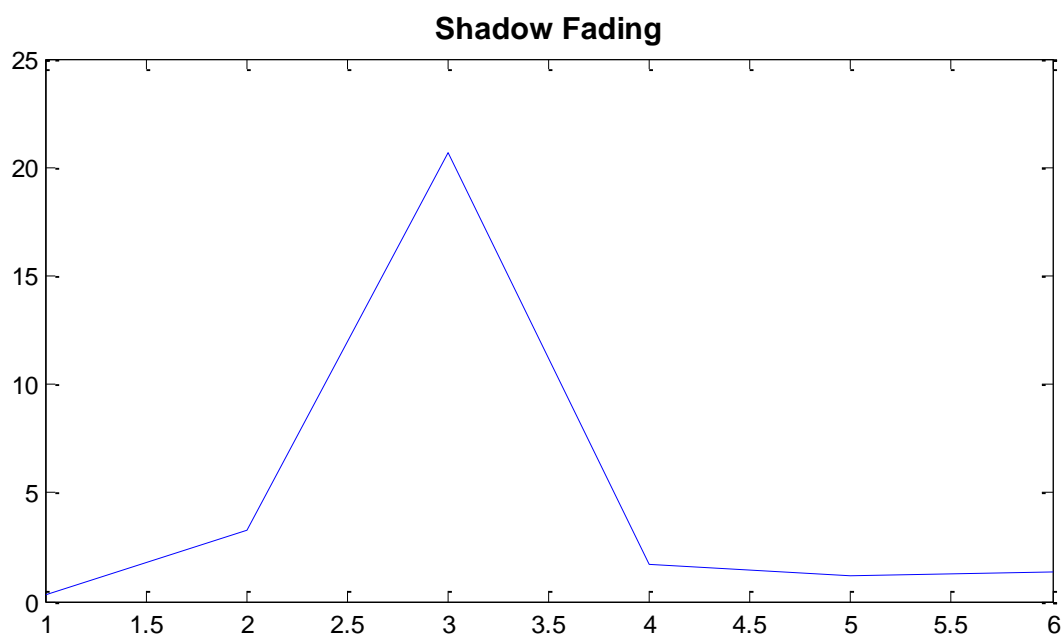
Αριθμός Ζεύξης	Path Loss(dB)
1	-135.92
2	-133.92
3	-129.51
4	-133.58
5	-131.27
6	-135.92

Προς επιβεβαίωση των όσων σχολιάστηκαν για τις ισχείς και τις καθυστερήσεις των ζεύξεων 3,4, παρατηρούμε ότι και το path loss της 4^{ης} ζεύξης είναι μεγαλύτερο απ'ότι στην 3^η ζεύξη.

Συγκριτικά, με την περίπτωση 1, οι τιμές του path loss είναι αρκετά κοντά σε αυτές καθώς μεγαλύτερη σημασία στον υπολογισμό του έχει το περιβάλλον διάδοσης και όχι τόσο πολύ ο σταθμός από τον οποίο γίνεται η κάλυψη.

6.5.4. Διαλείψεις Σκίασης

Όσον αφορά στις διαλείψεις σκίασης κατά τη μετάδοση, αυτές περιγράφονται από το επόμενο σχήμα:

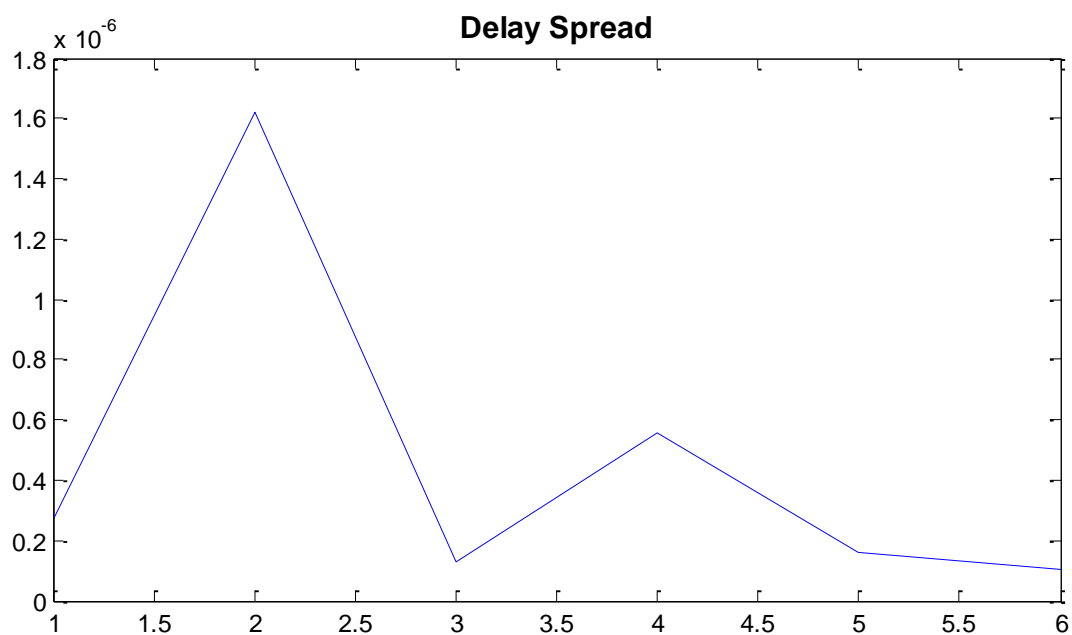


Αριθμός Ζεύξης	Shadow Fading
1	0.34
2	3.30
3	20.70
4	1.70
5	1.17
6	1.32

Τα σχόλια για τις τιμές του shadow fading είναι παρόμοια με την 1^η περίπτωση οπότε δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω στην εξήγηση.

6.5.5. Διασπορές Καθυστέρησης

Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, παραθέτουμε το διάγραμμα που δείχνει τις τιμές της εξάπλωσης καθυστέρησης καθώς και τον πίνακα που τις συνοψίζει.



Αριθμός Ζεύξης	Delay Spread(μs)
1	0.273
2	1.620
3	0.126
4	0.554
5	0.161
6	0.104

Ένα αναμενόμενο συμπέρασμα είναι ότι η 2^η ζεύξη που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση παρουσιάζει επίσης και το μεγαλύτερο delay spread. Τα γενικότερα σχόλια, έχουν γίνει κατά τη μελέτη της 1^{ης} περίπτωσης οπότε δεν υπάρχει λόγος να επαναληφθούν και σε αυτό το σημείο.

7. Μελέτη ζεύξης: 3 Base Stations – 2 Mobile Stations στη συχνότητα 800 MHz

7.1. Περιγραφή της ζεύξης

Στην τελευταία προσομοίωση, που θα γίνει στο σημείο αυτό, θα μοντελοποιηθούν 4 ζεύξεις που αφορούν 3 σταθμούς βάσης και 2 κινητούς χρήστες. Η σημαντικότερη διαφορά από τις προσομοιώσεις που προηγήθηκαν, είναι ότι τώρα η συχνότητα λειτουργίας στο δίκτυο είναι 800 MHz.

Αξίζει να τονίσουμε ότι, γενικότερα η μπάντα συχνοτήτων 700-900 MHz είναι ιδιαίτερης σημασίας για τις τηλεπικοινωνίες την εποχή αυτή. Αυτό συμβαίνει γιατί ενδέχεται, το συγκεκριμένο μέρος του φάσματος, να αδειοδοτηθεί σε παρόχους κινητής τηλεφωνίας αντί ψηφιακής τηλεόρασης. Για το λόγο αυτό, αφιερώνεται μία μοντελοποίηση του συστήματος στο παραπάνω γεγονός, με σκοπό να σχολιάσουμε τα αποτελέσματα και να τα συγκρίνουμε με τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες που προσφέρονται από την τηλεόραση.

Επιλέχθηκαν οι εξής θέσεις για τους σταθμούς:

- **Base Stations:** (100 , 50) , (300 , 300) , (600 , 500)
- **Mobile Stations:** (200 , 250) , (450 , 600)

Από πλευράς χαρακτηριστικών δικτύου, υπάρχουν 4 ζεύξεις, με τον 2^ο σταθμό να καλύπτει και τα 2 τερματικά ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί εξυπηρετούν μονάχα ένα, όπως θα φανεί και στη διάταξη του δικτύου. Η ταχύτητα κίνησης των χρηστών επιλέχθηκε να είναι 5 km/h και η κατεύθυνση της κίνησης τους τυχαία. Το ύψος της κεραίας των σταθμών βάσης ορίσαμε να είναι 10m και των κινητών τερματικών 1.5m.

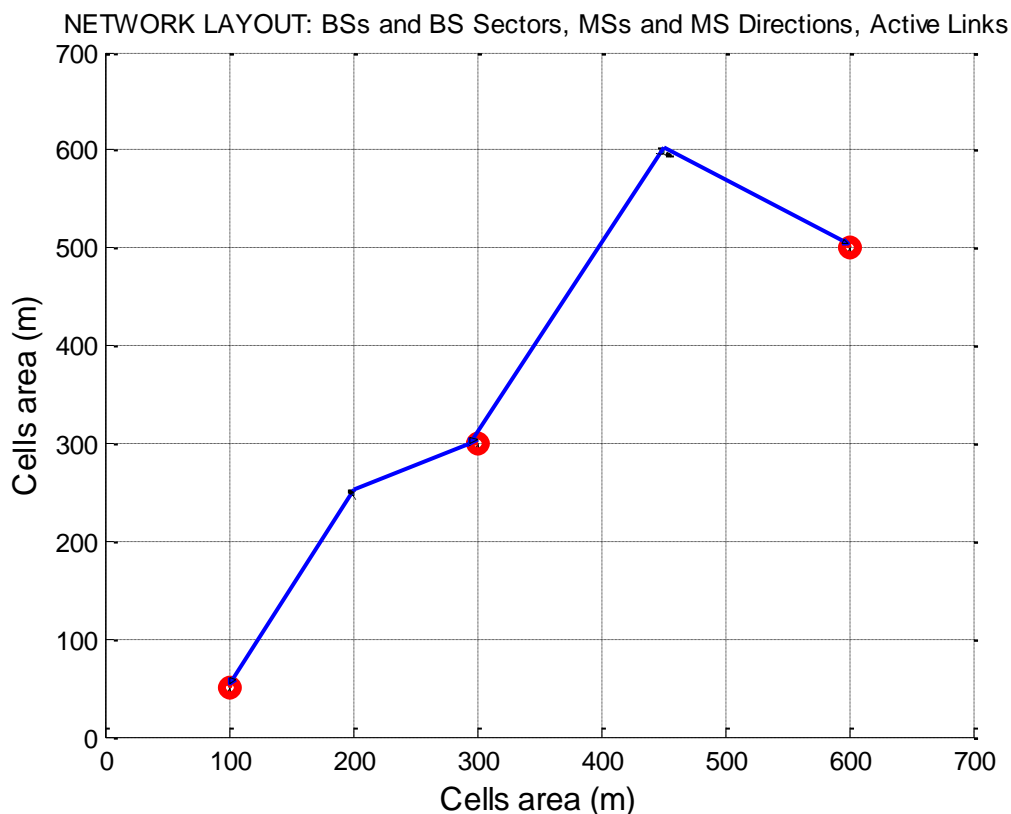
Το δίκτυο λειτουργεί σε περιβάλλον διάδοσης B1-Urban Microcell (Hotspot). Οι συνθήκες διάδοσης που επικρατούν είναι NLOS για όλα τα κινητά τερματικά και η κάλυψη γίνεται από εξαγωνικές μικροκυψέλες και όχι τύπου Manhattan.

Ο τύπος των κυψελών καθώς και η συχνότητα λειτουργίας παίζουν καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό του path loss. Όπως έχει προαναφερθεί, κατά την πρώτη φάση δημιουργίας του WINNER, η επιλεγμένη συχνότητα έπρεπε να κυμαίνεται μεταξύ 2-6 GHz. Η αλλαγή, λοιπόν, που πρέπει να γίνει στον κώδικα για να φτάσουμε στα 800 MHz είναι:

$$PL = (44.9 - 6.55 \log (h_{BS})) \log (d) + 5.83 \log (h_{BS}) + 16.33 + 26.16 \log (f_c)$$

7.2. Παρουσίαση του δικτύου

Η εικόνα του δικτύου καθώς και η αντίστοιχη μήτρα ενεργών ζεύξεων απεικονίζονται στη συνέχεια.



Η 3x2 μήτρα A ενεργών ζεύξεων είναι:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

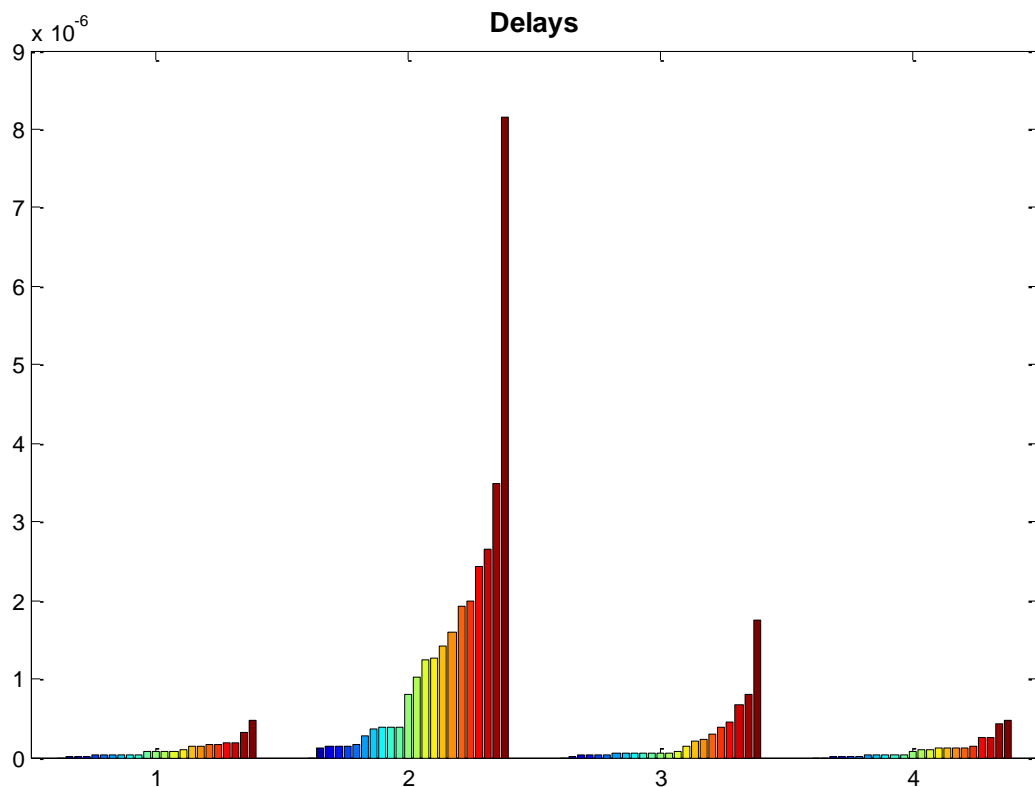
Το διάγραμμα δικτύου και ο πίνακας ζεύξεων συμφωνούν στο ότι πράγματι ο 2^{ος} σταθμός βάσης επικοινωνεί και με τους δύο χρήστες.

Στη δεδομένη προσομοίωση δεν θα γίνει εκτενής σχολιασμός για τα διαγράμματα καθυστερήσεων-ισχύων. Θα επιμείνουμε παραπάνω στις εξαγόμενες τιμές του path loss το οποίο, όπως είπαμε, άλλαξε έκφραση για τα δεδομένα αυτής της εκτέλεσης.

7.3. Εκτέλεση του WINNER – Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

7.3.1. Καθυστερήσεις

Το διάγραμμα καθυστερήσεων για το εικονιζόμενο δίκτυο φαίνεται παρακάτω:



Συγκριτικά με τις προηγούμενες περιπτώσεις, οι καθυστερήσεις κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Η 2^η ζεύξη, που είναι μεταξύ του 2^{ου} σταθμού βάσης και του 1^{ου} τερματικού, παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές καθυστερήσεων σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Συνοψίζοντας τους μέσους όρους για τις τιμές των καθυστερήσεων σε έναν πίνακα, παίρνουμε:

Αριθμός Ζεύξης	Καθυστερήσεις (μs)
1	0.10
2	1.30
3	0.24
4	0.10

Για λόγους πληρότητας, πρέπει να αναφέρουμε πως το γεγονός ότι η 2^η ζεύξη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καθυστέρηση μπορεί να εξηγηθεί. Σε επίπεδο αποστάσεων, το 1^ο τερματικό από το 2^ο σταθμό απέχει περίπου 84m ενώ το 2^ο τερματικό από το 2^ο σταθμό απέχει περισσότερο και συγκεκριμένα 95m.

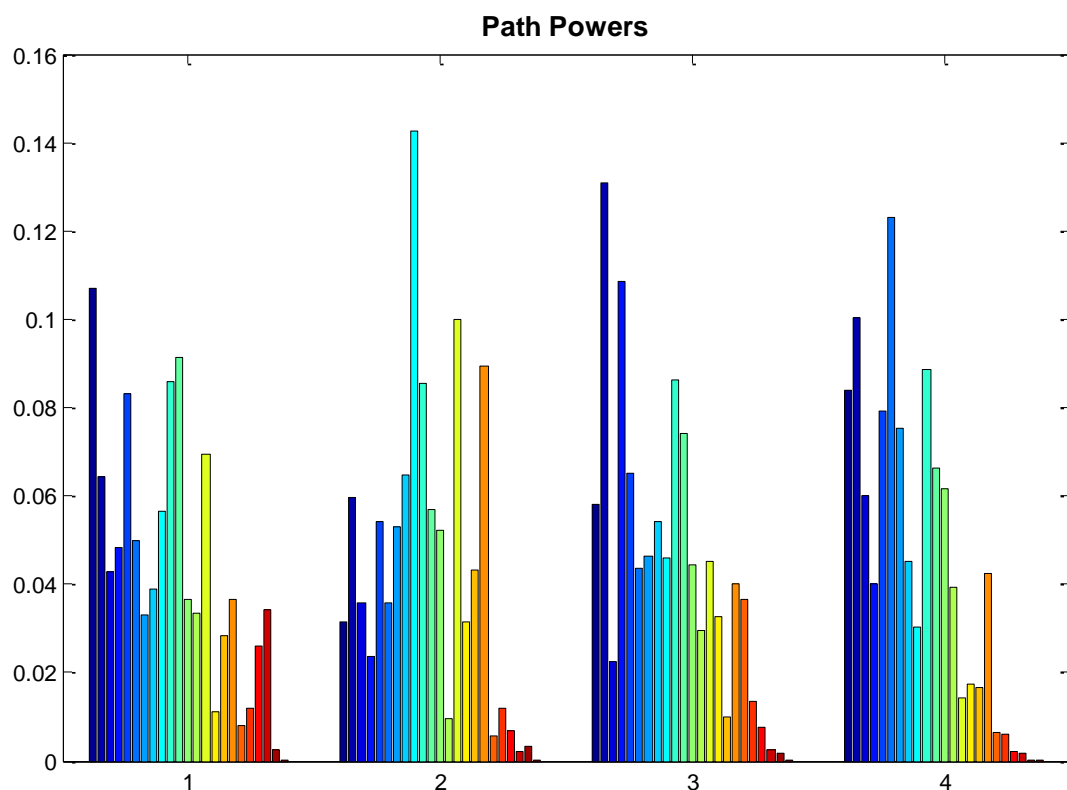
Όμως, σε επίπεδο γωνιών, από τα δεδομένα του Matlab βρίσκουμε ότι για τη 2^η ζεύξη η κατεύθυνση κίνησης είναι -99^ο ενώ για την τρίτη ζεύξη η κατεύθυνση είναι 90^ο. Αυτό σημαίνει ότι το 1^ο τερματικό «αποκλίνει» περισσότερο από το 2^ο σταθμό από ότι το 2^ο τερματικό.

Στη διάρκεια λοιπόν της προσομοίωσης, καθώς τα τερματικά κινούνται, η καθυστέρηση στη 2^η ζεύξη θα αρχίσει να αυξάνεται περισσότερο από ότι στις υπόλοιπες. Το προηγούμενο συμπέρασμα επιβεβαιώνεται πλήρως από το διάγραμμα καθυστερήσεων.

Σαν γενικό συμπέρασμα, μπορούμε να πούμε ότι εκτός, φυσικά, από την απόσταση χρήστη-σταθμού βάσης, καθοριστικό ρόλο παίζει και η κατεύθυνση της κίνησης των χρηστών.

7.3.2. Ισχείς Μονοπατιών

Στη συνέχεια φαίνεται το διάγραμμα ισχύων για κάθε ζεύξη.

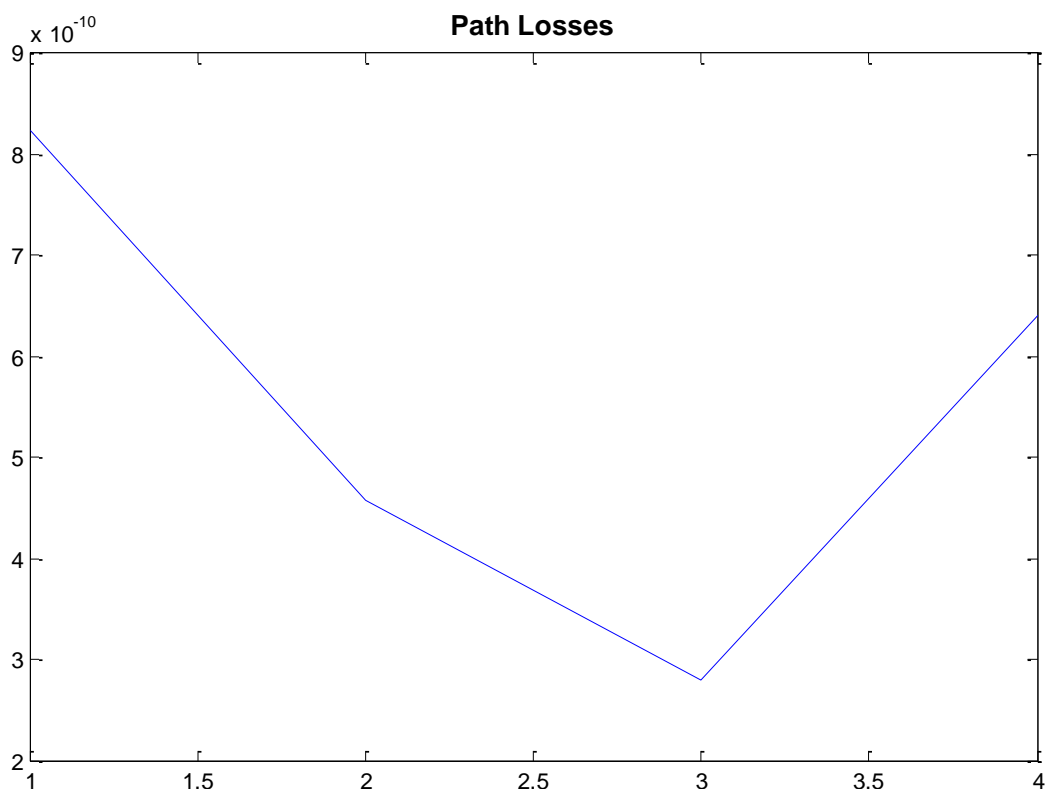


Το μόνο σημείο που θα σχολιαστεί για το προηγούμενο διάγραμμα, είναι πως μεταξύ των ζεύξεων, σε κάθε path, παρατηρούμε ότι γενικά η 2^η ζεύξη παρουσιάζει μικρότερες τιμές ισχύος από τις υπόλοιπες τρεις.

Αυτό ισοδύναμα μεταφράζεται στο ότι το σήμα στη 2^η ζεύξη θα καθυστερεί περισσότερο από τα υπόλοιπα, πράγμα που συμφωνεί με όσα σχολιάστηκαν στο διάγραμμα καθυστερήσεων.

7.3.3. Path Losses

Το διάγραμμα για την απώλεια μονοπατιού απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα.



Στον πίνακα που ακολουθεί, έχουμε καταγράψει σε dB τις υπολογιζόμενες, από το WINNER, τιμές του path loss.

Αριθμός Ζεύξης	Path Loss (dB)
1	-90.8
2	-93.4
3	-95.5
4	-91.9

Ένα πρώτο σχόλιο, είναι ότι σε σχέση με τις προηγούμενες δύο προσομοιώσεις, οι τιμές του path loss είναι μεγαλύτερες και μάλιστα κατά τάξη μεγέθους. Αξίζει να θυμηθούμε ότι, το path loss στα

κεφάλαια που προηγήθηκαν ήταν ανάλογο του 10^{-14} , ενώ τώρα είναι ανάλογο του 10^{-10} .

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι τιμές από μόνες τους, εκτός από το αριθμητικό τους περιεχόμενο, δεν προσδίδουν κανένα άλλο νόημα. Αποκτούν μεγάλη σημασία όμως εάν θυμηθούμε τα περιβάλλοντα διάδοσης κάθε ζεύξης. Συγκεκριμένα, η πρώτη προσομοίωση έγινε σε περιβάλλον indoor-to-outdoor, η δεύτερη σε περιβάλλον urban macrocell ενώ η τελευταία σε περιβάλλον urban microcell. Εντούτοις, δεν υπάρχει προφανής εξήγηση για αυτή τη διαφορά στις τιμές του path loss, αφού τα περιβάλλοντα αυτά υπόκεινται περίπου σε ίσες απώλειες κατά μέσο όρο.

Σε δεύτερη χρόνο όμως, το προηγούμενο γεγονός δικαιολογείται απόλυτα δεδομένου ότι άλλαξε η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος. Η αλλαγή αυτή, συνοδεύει και την αλλαγή στον υπολογισμό του path loss, όπως εξηγήθηκε και στην αρχή της ενότητας.

Για λόγους σύγκρισης, θα αναφέρουμε τις εκφράσεις του path loss για τα διαφορετικά εύρη συχνοτήτων, όπως αυτές προέκυψαν από τις μετρήσεις για το WINNER. Αναλυτικά λοιπόν:

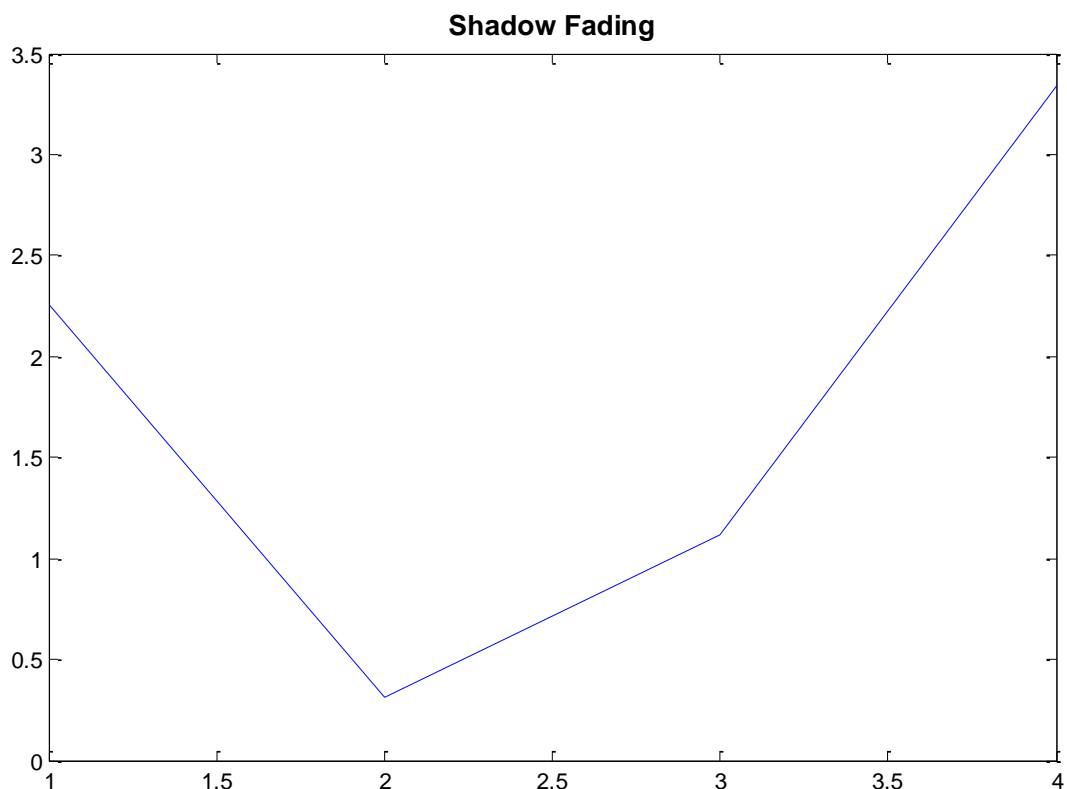
$$PL = \begin{cases} (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \log d + 5.83 \log h_{BS} + 16.33 + 26.16 \log f_c \\ (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \log d + 5.83 \log h_{BS} + 14.78 + 34.97 \log f_c \\ (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \log d + 5.83 \log h_{BS} + 18.38 + 23 \log f_c \end{cases}$$

για τις συχνότητες 0.45-1.5, 1.5-2.0, 2.0-6.0 GHz αντίστοιχα.

Βλέπουμε λοιπόν τη μεγάλη εξάρτηση που έχει η απώλεια μονοπατιού από τη συχνότητα ακόμα και για ένα tool, όπως το WINNER, το οποίο βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην τυχαιότητα.

7.3.4. Διαλείψεις Σκίασης

Το μοντέλο διαλείψεων που ακολουθεί την εν λόγω διάδοση περιγράφεται από το επόμενο σχήμα.



Αναλυτικά οι τιμές των διαλείψεων για κάθε ζεύξη είναι:

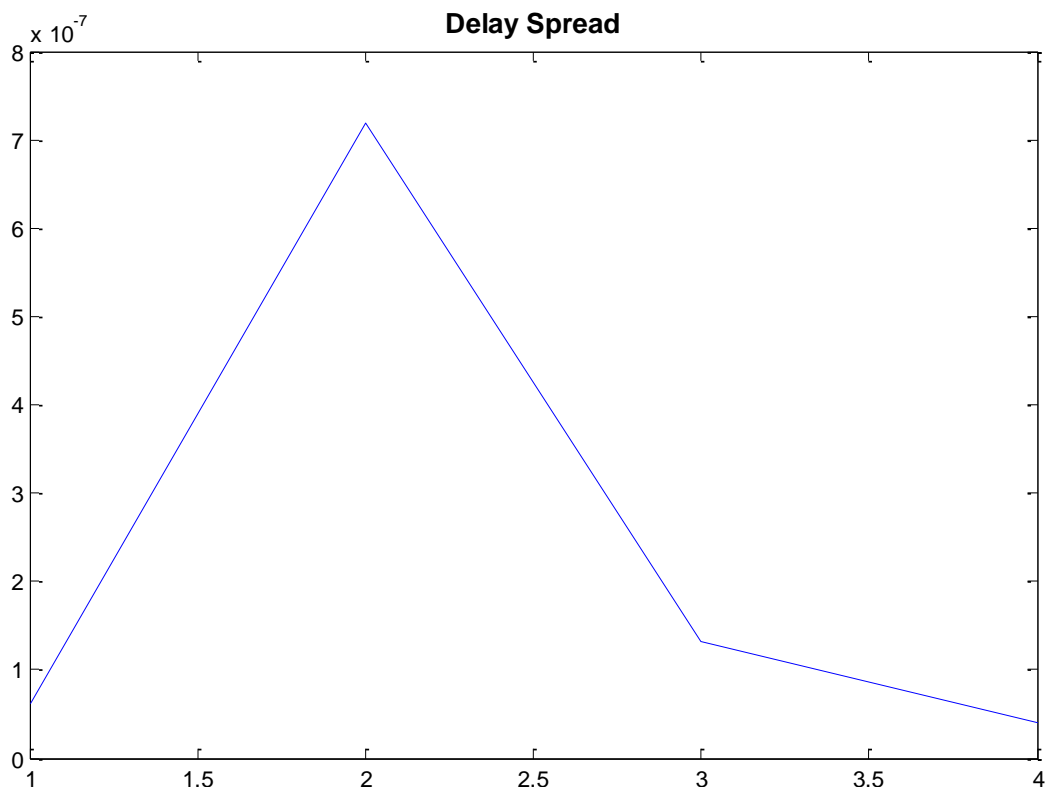
Αριθμός Ζεύξης	Shadow Fading
1	2.25
2	0.30
3	1.11
4	3.34

Οι τιμές των διαλείψεων είναι μικρότερες από αυτές της προηγούμενης προσομοίωσης. Επειδή το περιβάλλον είναι μεν αστικό αλλά καλύπτεται από μικροκυψέλες, το σήμα δεν προλαβαίνει να υποστεί σοβαρές διαλείψεις.

Αυτό συμβαίνει γιατί τα hotspots, εξυπηρετούν μικρότερες περιοχές αλλά είναι πιο πυκνά διατεταγμένα με αποτέλεσμα οι απώλειες καθώς και οι καθυστερήσεις να είναι μικρότερες από την περίπτωση μακροκυβελών. Το αποτέλεσμα αυτό θα φανεί και από την εξάπλωση καθυστέρησης η οποία απεικονίζεται στην επόμενη υποενότητα.

7.3.5. Διασπορές Καθυστέρησης

Για το τέλος, παρατίθεται το διάγραμμα με τη διασπορά καθυστέρησης καθεμιάς ζεύξης καθώς και ένας πίνακας με τις αντίστοιχες τιμές.



Αριθμός Ζεύξης	Delay Spread (μs)
1	0.06
2	0.71
3	0.13
4	0.04

Σε σχέση με τις μακροκυψέλες της προηγούμενης προσομοίωσης, οι τιμές του delay spread όταν η κάλυψη γίνεται με μικροκυψέλες είναι πολύ μικρότερες.

Εν κατακλείδι, από την προσομοίωση αυτή συμπεραίνουμε τη σημασία που έχει η κεντρική συχνότητα για την μοντελοποίηση των κινητών ζεύξεων. Η συχνότητα είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν το path loss, delay spread και τις διαλείψεις σκίασης.

Γενικότερα, η χρησιμότητα του WINNER έγκειται στο γεγονός ότι κανείς μπορεί να υλοποιήσει μόνος του το δίκτυο τόσο χωρικά όσο και «τηλεπικοινωνιακά». Μπορεί δηλαδή να επηρεάσει και πολλές από τις παραμέτρους της διάδοσης οι οποίες είναι το σενάριο διάδοσης, οι τομείς των σταθμών βάσης καθώς και το αν οι συνθήκες διάδοσης είναι LOS ή NLOS. Επίσης, όπως έγινε φανερό και από την τελευταία προσομοίωση, το WINNER δίνει την ευελιξία στο χρήστη να χρησιμοποιεί ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων κάνοντας βέβαια τις κατάλληλες αλλαγές στον κώδικα.

Συμπερασματικά λοιπόν, το tool αυτό προσφέρει μία ολοκληρωμένη μοντελοποίηση και μελέτη καθώς καλύπτει πολλές περιπτώσεις πραγματικών τηλεπικοινωνιακών σεναρίων και εφαρμογών.

Βιβλιογραφία

1. IST-4-027756 WINNER II D1.1.1 V1.1 WINNER II interim channel models
2. IST-4-027756 WINNER II D1.1.2 V1.2 WINNER II Channel Models
3. CELTIC / CP5-026 D5.3 : WINNER+ Final Channel Models
4. Matlab SW documentation of WIM2 model
5. 6834 Motorola Document : LTE A Technical Overview
6. Verizon LTE White Paper : The Future of Mobile Broadband Technology
7. Qualcomm : LTE Advanced

Παράρτημα

A) Πίνακες παραμέτρων υπολογισμού του path loss καθενός σεναρίου διάδοσης

Table 4-4 Summary table of the path-loss models

Scenario	Path loss [dB]	Shadow fading std [dB]	Applicability range, antenna height default values
LOS	$A = 18.7, B = 46.8, C = 20$	$\sigma = 3$	$3\text{m} < d < 100\text{m}$, $h_{BS} = h_{MS} = 1 \dots 2.5\text{m}$
A1	NLOS ¹⁾ $A = 36.8, B = 43.8, C = 20$ and $X = 5(n_w - 1)$ (light walls) or $X = 12(n_w - 1)$ (heavy walls)	$\sigma = 4$	same as A1 LOS, n_w is the number of walls between the BS and the MS ($n_w > 0$ for NLOS)
	NLOS ²⁾ light walls: heavy walls:	$\sigma = 6$ $\sigma = 8$	same as A1 LOS, n_w is the number of walls between BS and MS
	FL For any of the cases above, add the floor loss (FL), if the BS and MS are in different floors: $FL = 17 + 4(n_f - 1), n_f > 0$		n_f is the number of floors between the BS and the MS ($n_f > 0$)
A2 NLOS	$PL = PL_b + PL_{nw} + PL_{in}$, $\begin{cases} PL_b = PL_{B1}(d_{out} + d_{in}) \\ PL_{nw} = 14 + 15(1 - \cos(\theta))^2 \\ PL_{in} = 0.5d_{in} \end{cases}$	$\sigma = 7$	$3\text{m} < d_{out} + d_{in} < 1000\text{m}$, $h_{BS} = 3(n_f - 1) + 2\text{m}$ $h_{MS} = 1.5$, See ³⁾ for explanation of parameters
B1	LOS $A = 22.7, B = 41.0, C = 20$ $PL = 40.0 \log_{10}(d_1) + 9.45 - 17.3 \log_{10}(h'_{BS}) - 17.3 \log_{10}(h'_{MS}) + 2.7 \log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 3$ $\sigma = 3$	$10\text{m} < d_1 < d'_{BP}$ ⁴⁾ $d'_{BP} < d_1 < 5\text{km}$ $h_{BS} = 10\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
	NLOS $PL = \min(PL(d_1, d_2), PL(d_2, d_1))$ where $PL(d_k, d_l) = PL_{LOS}(d_k) + 20 - 12.5n_j + 10n_j \log_{10}(d_l) + 3 \log_{10}(f_c/5.0)$ and $n_j = \max(2.8 - 0.0024d_k, 1.84)$. PL_{LOS} is the path loss of B1 LOS scenario and $k, l \in \{1, 2\}$.	$\sigma = 4$	$10\text{m} < d_1 < 5\text{km}$, $w/2 < d_2 < 2\text{km}$ ⁵⁾ $w = 20\text{m}$ (street width) $h_{BS} = 10\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$ When $0 < d_2 < w/2$, the LOS PL is applied.
B2 NLOS	Same as B1.	$\sigma = 4$	

B3	LOS	$A = 13.9, B = 64.4, C = 20$	$\sigma = 3$	$5\text{m} < d < 100\text{m}$, $h_{BS} = 6\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
	NLOS	$A = 37.8, B = 36.5, C = 23$	$\sigma = 4$	Same as B3 LOS
B4	NLOS	Same as A2, except antenna heights.		$3\text{m} < d_{out} + d_{in} < 1000\text{m}$, $h_{BS} = 10\text{m}, h_{MS} = 3(n_{PI} - 1) + 1.5\text{m}$
B5a	LOS	$A = 23.5, B = 42.5, C = 20$	$\sigma = 4$	$30\text{m} < d < 8\text{km}$ $h_{BS} = 25\text{m}, h_{RS} = 25\text{m}$
B5c	LOS	Same as B1 LOS, except antenna heights (h_{RS} is the relay antenna height).	$\sigma = 3$	$10\text{m} < d < 2000\text{m}$ $h_{BS} = 10\text{m}, h_{MS} (=h_{RS}) = 5\text{m}$
B5f	NLOS	$A = 23.5, B = 57.5, C = 23$	$\sigma = 8$	$30\text{m} < d < 1.5\text{km}$ $h_{BS} = 25\text{m}, h_{RS} = 15\text{m}$
C1	LOS	$A = 23.8, B = 41.2, C = 20$ $PL = 40.0\log_{10}(d) + 11.65 - 16.2\log_{10}(h_{BS})$ $- 16.2\log_{10}(h_{MS}) + 3.8\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 4$ $\sigma = 6$	$30\text{m} < d < d_{BP}$, $d_{BP} < d < 5\text{km}$, $h_{BS} = 25\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
	NLOS	$PL = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{BS}))\log_{10}(d) + 31.46$ $+ 5.83\log_{10}(h_{BS}) + 23\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 8$	$50\text{m} < d < 5\text{km}$, $h_{BS} = 25\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
C2	LOS	$A = 26, B = 39, C = 20$ $PL = 40.0\log_{10}(d) + 13.47 - 14.0\log_{10}(h'_{BS})$ $- 14.0\log_{10}(h'_{MS}) + 6.0\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 4$ $\sigma = 6$	$10\text{m} < d < d'_{BP}$ ⁴⁾ $d'_{BP} < d < 5\text{km}$ $h_{BS} = 25\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
	NLOS	$PL = (44.9 - 6.55\log_{10}(h_{BS}))\log_{10}(d) + 34.46$ $+ 5.83\log_{10}(h_{BS}) + 23\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 8$	Same as C1 NLOS
C3	NLOS	Same as C2 NLOS		Same as C2 NLOS
C4	NLOS	$PL = PL_{C2}(d_{out} + d_{in}) + 17.4 + 0.5d_{in} - 0.8h_{MS}$ where PL_{C2} is the path-loss function of C2 LOS/NLOS scenario. (Use LOS, if BS to wall connection is LOS, otherwise use NLOS)	$\sigma = 10$	Same as C2 NLOS See ³⁾ for explanation of parameters. $h_{BS} = 25\text{m}, h_{MS} = 3n_{PI} + 1.5\text{m}$
D1	LOS	$A = 21.5, B = 44.2, C = 20$ $PL = 40.0\log_{10}(d) + 10.5 - 18.5\log_{10}(h_{BS})$ $- 18.5\log_{10}(h_{MS}) + 1.5\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 4$ $\sigma = 6$	$30\text{m} < d < d_{BP}$, ⁶⁾ $d_{BP} < d < 10\text{km}$, $h_{BS} = 32\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
	NLOS	$PL = (25.1\log_{10}(d) + 55.4$ $- 0.13\log_{10}(h_{BS} - 25))\log_{10}(d/100)$ $- 0.9\log_{10}(h_{MS} - 1.5) + 21.3\log_{10}(f_c/5.0)$	$\sigma = 8$	$50\text{m} < d < 5\text{km}$, $h_{BS} = 32\text{m}, h_{MS} = 1.5\text{m}$
D2a	LOS	Same as D1 LOS		

B) Πίνακας παραμέτρων μικρής κλίμακας

Table 4-5 Table of parameters for generic models.

Scenarios		A1		A2/B4/C4 †	B1		B3		C1		C2		D1		D2a
		LOS	NLOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS
Delay spread (<i>DS</i>) $\log_{10}(\text{[s]})$	μ	-7.42	-7.60	-7.39/ -6.62 ^v	-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 ^v	0.25	0.12	0.12	0.13	0.49	0.33	0.63	0.32	0.57	0.48	0.2
AoD spread (<i>ASD</i>) $\log_{10}(\text{[°]})$	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
AoA spread (<i>ASA</i>) $\log_{10}(\text{[°]})$	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
Shadow fading (<i>SF</i>) [dB]	σ	3	4	7	3	4	3	4	4/6 [†]	8	4/6 [†]	8	4/6 [†]	8	4
K-factor (<i>K</i>) [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
Cross-Correlations *	<i>ASD</i> vs <i>DS</i>	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
	<i>ASA</i> vs <i>DS</i>	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
	<i>ASA</i> vs <i>SF</i>	-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
	<i>ASD</i> vs <i>SF</i>	-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
	<i>DS</i> vs <i>SF</i>	-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
	<i>ASD</i> vs <i>ASA</i>	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
	<i>ASD</i> vs <i>K</i>	-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
	<i>ASA</i> vs <i>K</i>	-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
	<i>DS</i> vs <i>K</i>	-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
<i>SF</i> vs <i>K</i>	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	
Delay distribution		Exp	Exp	Exp	Exp	Uniform ≤800ns	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp	Exp
AoD and AoA distribution		Wrapped Gaussian													
Delay scaling parameter ν_r		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
Number of clusters		12	16	12	8	16	10	15	15	14	8	20	11	10	8
Number of rays per cluster		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cluster <i>ASD</i>		5	5	8	3	10	5	6	5	2	6	2	2	2	2
Cluster <i>ASA</i>		5	5	5	18	22	5	13	5	10	12	15	3	3	3
Per cluster shadowing std ζ [dB]		6	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Correlation distance [m]	<i>DS</i>	7	4	21/10 ^A	9	8	3	1	6	40	40	40	64	36	64
	<i>ASD</i>	6	5	15/11 ^A	13	10	1	0.5	15	30	15	50	25	30	25
	<i>ASA</i>	2	3	35/17 ^A	12	9	2	0.5	20	30	15	50	40	40	40
	<i>SF</i>	6	4	14/7 ^A	14	12	3	3	40	50	45	50	40	120	40
	<i>K</i>	6	N/A	N/A	10	N/A	1	N/A	10	N/A	12	N/A	40	N/A	40

Γ) Πίνακες παραμέτρων της συνάρτησης wim

1. Matlab structure wimpar

Parameter name	Definition	Default value	Unit	Note
NumBsElements	Number of BS array antenna elements. The number of BS and MS elements is normally extracted from ANTPAR. The values of NumBsElements and NumMsElements are used only if a single scalar is given as the antenna field pattern in ANTPAR (see ANTPARSET).	2	-	Ignored if antenna patterns are defined in input struct ANTPAR, and number of BS elements is extracted from the antenna definition.
NumMsElements	Number of MS array antenna elements. The number of BS and MS elements is normally extracted from ANTPAR. The values of NumBsElements and NumMsElements are used only if a single scalar is given as the antenna field pattern in ANTPAR (see ANTPARSET).	2	-	Ignored if antenna patterns are defined in input struct ANTPAR, and number of MS elements is extracted from the antenna definition.
SampleDensity	Oversampling factor, number of time samples per half wavelength. For successful Doppler analysis, one should select SampleDensity > 1. The time sample interval is calculated from CenterFrequency and MsVelocity (see LINKPARSET) according to $\text{wavelength}/(\text{MsVelocity} * \text{SampleDensity})$. The calculated time sample interval for each link is included in the optional output argument of WIM.	2	-	
NumTimeSamples	Number of time samples	100	-	
UniformTimeSampling	If UniformTimeSampling is 'yes' all links will be sampled at simultaneous time instants. In this case, the time sample interval is the same for all links it is calculated by replacing MsVelocity with MAX(MsVelocity), where the maximum is over all links. If 'no' all the links are time sampled with different rate depending on MsVelocity.	'no'	-	'Yes' setting could be useful in some system-level simulations where all simulated links need to be sampled at equal time intervals, regardless of MS speeds.
IntraClusterDsUsed	If 'yes' the two strongest clusters in power are divided in delay into three subclusters. Fixed delays are [0 5 10] ns, fixed powers are [10 6 4]/20. For details see [1, section 4.2]. Number of delay tap grows by four. If 'no', the clusters are not spread in delay.	'yes'	-	
NumSubPathsPerPath	Number of rays (i.e. complex sinusoids, plane waves) per cluster. It is not possible to change this value from 20 without modifying the code.	20	-	This is a fixed value.
FixedPdpUsed	If 'yes' the power and delay parameters are not drawn randomly, but taken from the CDL parameter tables [1, table 6-1..26]. In the default mode 'no', the parameters are random variables.	'no'	-	

FixedAnglesUsed	If 'yes' the angle parameters are not drawn randomly, but taken from the CDL parameter tables [1, table 6-1..26] and the random pairing of AoDs and AoAs is not used. In the default mode 'no', the parameters are random variables.	'no'	-	
PolarisedArrays	If PolarisedArrays='yes', single channel coefficient of impulse response turns to 2x2 coefficient matrix, with elements [VV VH;HV HH]. Where V stands for vertical polarisation and H for horizontal.	'no'	-	
CenterFrequency	The carrier center frequency. Center frequency affects path loss and time sampling interval.	5.25e9	Hz	
DelaySamplingInterval	DelaySamplingInterval determines the sampling grid in delay domain. All path delays are rounded to the nearest grid point. It can also be set to zero.	5e-9	sec	
PathLossModelUsed	When PathLossModelUsed is 'no' the path losses are still computed for each link but they are not multiplied into the channel matrices. Path loss is given only as an output parameter. If 'yes', path loss is multiplied to channel matrices.	'no'	-	
ShadowingModelUsed	When ShadowingModelUsed is 'no' the shadowing coefficients are still computed for each link but they are not multiplied into the channel matrices. Shadowing is given only as an output parameter. If 'yes', shadowing is multiplied to channel matrices.	'no'	-	
PathLossModel	The path loss model function name. Path loss model is implemented in a separate function, whose name is defined in PathLossModel. For syntax, see PATHLOSS. The default function is PATHLOSS, which complies with [1].	'pathloss'	-	
ShadowingModelUsed	When ShadowingModelUsed is 'no' the shadowing coefficients are still computed for each link but they are not multiplied into the channel matrices. Shadowing is given only as an output parameter. If 'yes', shadowing is multiplied to channel matrices.	'no'	-	
PathLossModel	The path loss model function name. Path loss model is implemented in a separate function, whose name is defined in PathLossModel. For syntax, see PATHLOSS. The default function is PATHLOSS, which complies with [1].	'pathloss'	-	
AnsiC_core	Use optimized computation. The C-function must be compiled before usage. For more information of the ANSI-C core function, see SCM_MEX_CORE.	'no'	-	Not supported with many options.
LookUpTable	The LookUpTable parameter defines the number of points used in the cosine look-up table; a power-of-2 should be given. The look-up table is used only in the ANSI-C optimized core function. Value 0 indicates that look-up table is not used. Value -1 uses the default number of points, which is $2^{14}=16384$. Since a large part of computation in WIM involves repeated evaluation of a complex exponential, the look-up table can speed up computation on certain platforms and C compilers.	0	-	Applied only with AnsiC core.
RandomSeed	Sets random seed for Matlab random number generators. The default value is empty. Even fixing the random seed may not result in fully repeatable simulations due to differences in e.g. MATLAB versions.	[]	-	see Matlab help
UseManualPropCondition	If 'yes' the propagation condition (los/nlos) setting is defined manually in LINKPARSET. If 'no', the propagation condition is drawn from LOS probabilities in [1, table 4-7].	'yes'	-	
range	Path loss parameter for scenario B5b. In B5b the path-loss ranges 1, 2 and 3 are defined, see [1 table 6-20].	1	-	
end_time	Observation end time for B5 scenarios time points are taken as: wimpar.TimeVector=linspace(0,wimpar.end_time,T);	1	sec	

2. Matlab structure linkpar

Parameter name	Definition	Default value	Unit	Note
ScenarioVector	A 1xK vector mapping scenarios to links. Scenarios are [1=A1, 2=A2, 3=B1, 4=B2, 5=B3, 6=B4, 7=B5a, 8=B5c, 9=B5f, 10=C1, 11=C2, 12=C3, 13=C4, 14=D1, 15=D2a].	ones(1,K)	{1,2,...,15}	
PropagConditionVector	A 1xK vector mapping propagation condition (NLOS/LOS) to links. If WIMPAR UseManualPropCondition = 'yes', link propagation conditions (NLOS=0/LOS=1) are defined by this vector.	zeros(1,K)	{0,1}	Possible values 0=NLOS and 1=LOS.
MsBsDistance	A 1xK vector defining distance between BS and MS for K links. It is recommended to define MsBsDistance manually. If random MsBsDistance is used, set feasible values for RMIN and RMAX (see LINKPARSET). This is not done automatically for different scenarios.	<i>see LINKPARSET</i>	m	
BsHeight	A 1xK vector defining BS height from ground level. If NaN the height values are scenario dependent default heights from [1, table 4-4].	NaN	m	
MsHeight	A 1xK vector defining MS height from ground level. If NaN the height values are scenario dependent default heights from [1, table 4-4].	NaN	m	
ThetaBs	θ_{BS} (see Figure 5)	360* (rand(1,K)-0.5)	deg	U(-180,180)
ThetaMs	θ_{MS} (see Figure 5)	360* rand(1,K)-0.5)	deg	U(-180,180)
MsVelocity	MS velocity		m/s	
MsDirection	θ_v (see Figure 5)	360* (rand(1,K)-0.5)	deg	U(-180,180)
StreetWidth	A parameter for B1 and B2 path loss model. Average width of the streets, same for all users.	20	m	
NumFloors	A parameter for A2/B4 path loss model. NumFloor is the floor number in which the indoor MS/BS is located. E.g. in A2 scenario NumFloors is 5 if BS is located on the 5 th floor. On ground floor (=street level) NumFloor = 0.	1	-	
NumPenetratedFloors	A parameter for A1 NLOS path loss model [1, table 4-4]. Number of penetrated floors between BS and MS.	0	-	
LayoutType	Layout type for UMi (B1/B4) path loss, '0'=hexagonal, '1'=Manhattan. This parameter is necessary only for UMi path loss function.	0	-	
OtoI_OutdoorPL	Outdoor-to-Indoor propagation condition for UMi (see. note 3 in A in A1-2, [7]). '1' denotes LOS, '0' denotes NLOS. This parameter is necessary only for UMi O-to-I path loss function.	1	-	Possible values 0=NLOS and 1=LOS.
Dist1	Distance definition for B1 and B2 path loss model. Dist1 is a distance from BS to the "last line-of-sight point", typically street crossing, see [1, fig 4-3]. Default value is NaN, which denotes random distance determination in PATHLOSS function.	NaN	-	
BuildingHeight	Average building height, same for all users. Necessary only for path loss models. If not set by the user (i.e. NaN) the path loss function will use default scenario dependent heights.	NaN	m	

3. Matlab structure layoutpar

Parameter name	Definition	Default value	Unit	Note
BsXY	A 2xNofBs matrix of BS (x,y) co-ordinates. Co-ordinates of Bs and Ms should be given in meters with resolution of 1 meter. It is recommended to define BsXY manually. If random BsXY is used, set a feasible value for RMAX (see LAYOUTPARSET). As a default x,y co-ordinates are drawn uniformly to RMAX x RMAX square (RMAX=500).	round(rand(2,NofBs)*rmax)	m	
NofSect	A parameter defining the number of sectors in each of the BSs. Can be either a scalar or a vector. If scalar all the BS has the same number of sectors.	ones(1,NofBs)	-	
BsOmega	BsOmega is a matrix with dimensions max(NofSect)xNofBs. Each column of the matrix contains orientations of sectorised arrays with respect to some fixed North direction. If some BS have less sectors than others, the non-existing sector orientations are set to zero. E.g.	see LAYOUTPARSET	deg	
	setup with 2 BS, one with 1 sector and other with 3 sectors. In this case orientation matrix could be e.g. BsOmega = [11 22; 0 33; 0 44]. See [1, Fig 5-2].			
MsXY	A 2xNofMs matrix of MS (x,y) co-ordinates. Co-ordinates of Ms should be given in meters with resolution of 1 meter. It is recommended to define BsXY manually. If random MsXY is used, set a feasible value for RMAX (see LAYOUTPARSET). As a default x,y co-ordinates are drawn uniformly to RMAX x RMAX square (RMAX=500).	round(rand(2,NofMs)*rmax)	m	
MsOmega	A 1xK vector of MS array broad side orientations. See [1, Fig 5-2]	360*(rand(1,NofMs)-0.5)	deg	
Pairing	Pairing is a matrix with dimensions NofSect x NofMs, i.e. one entry for each BS sector/MS pair. Value '1' stands for "link will be modelled" and value '0' stands for "link will not be modelled". E.g. with all ones matrix, all the MS are connected to all sectors. With e.g. first rows ones and others zeros means, that all MS are connected to only 1st sector of 1st BS. See [1, sect 5.1.1].	see LAYOUTPARSET	-	
ScenarioVector	Same as in LINKPAR (see Table 2).			
PropagConditionVector				
BsHeight				
MsHeight				
MsVelocity				
MsDirection				
StreetWidth				
NumFloors				
NumPenetratedFloors				
Dist1				

4. Matlab structure antpar

Parameter name	Definition	Default value	Unit	Note
BsGainPattern	<p>BS antenna field pattern values in a 4D array. The dimensions are [ELNUM POL EL AZ] = SIZE(BsGainPattern), where</p> <p>ELNUM - the number of physical antenna elements in the array. The elements may be dual-polarized. POL – polarization. The first dimension is vertical polarization, the second is horizontal. If the polarization option is not used, vertical polarization is assumed (if both are given). EL – elevation. This value is ignored. Only the first element of this dimension is used. AZ – complex-valued field pattern in the azimuth dimension given at azimuth angles defined in BsGainAngles.Az.</p> <p>If NUMEL(BsGainPattern)=1, all elements are assumed to have uniform gain defined by the value of BsGainPattern over the full azimuth angle, and the number of BS antenna elements is defined by NumBsElements. This speeds up computation since field pattern interpolation is not required.</p>	1	-	
BsGainAngles.Az	<p>Vector containing the azimuth angles for the BS antenna field pattern values. These values are assumed to be the same for both polarizations. This value is given in degrees</p>	linspace(-180,180,90)	deg	
	<p>over the range (-180,180) degrees. If NUMEL(BsGainPattern)=1, this variable is ignored.</p>			
BsGainAngles.El	<p>Vector of elevation angles for definition of BS antenna gain values. This parameter is for future needs only; its value is ignored in this implementation (SCM does not support elevation).</p>	-	-	
BsElementPosition	<p>Element spacing for BS linear array in wavelengths. This parameter can be either scalar or vector. If scalar, uniform spacing is applied. If vector, values give distances between adjacent elements.</p>	0.5	wavelength	
MsGainPattern	<p>MS antenna field pattern values in a 4D array. The dimensions are [ELNUM POL EL AZ] = SIZE(MsGainPattern), where</p> <p>ELNUM – the number of physical antenna elements in the array. The elements may be dual-polarized. POL – polarization. The first dimension is vertical polarization, the second is horizontal. If the polarization option is not used, vertical polarization is assumed (if both are given). EL – elevation. This value is ignored. Only the first element of this dimension is used. AZ – complex-valued field pattern in the azimuth dimension given at azimuth angles defined in MsGainAngles.Az.</p> <p>If NUMEL(MsGainPattern)=1, all elements are assumed to have uniform gain defined by the value of MsGainPattern over the full azimuth angle, and the number of MS antenna elements is defined by scmpar.NumMsElements. This speeds up computation since field pattern interpolation is not needed.</p>	1	complex	
MsGainAngles.Az	<p>Vector containing the azimuth angles for the MS antenna field pattern values. These values are assumed to be the same for both polarizations. This value is given in degrees over the range (-180,180) degrees. If NUMEL(BsGainPattern)=1, this variable is ignored.</p>	linspace(-180,180,90)	deg	

MsGainAnglesEl	Vector of elevation angles for definition of MS antenna gain values. This parameter is for future needs only; its value is ignored in this implementation (SCM does not support elevation).	-	-	
MsElementPosition	Element spacing for MS linear array in wavelengths. This parameter can be either scalar or vector. If scalar, uniform spacing is applied. If vector, values give distances between adjacent elements.	0.5	wavelength	
InterpFunction	The name of the interpolating function. One can replace this with his own function. For syntax, see <code>interp_gain.m</code> , which is the default function. For faster computation, see <code>interp_gain_c.m</code>	'interp_gain'		
InterpMethod	The interpolation method used by the interpolating function. Available methods depend on the function. The default function is based on MATLAB's <code>interp1.m</code> function and supports e.g. 'linear' and 'cubic' (default) methods. Note that some methods, such as 'linear', cannot extrapolate values falling outside the field pattern definition.	'cubic'		