



Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών
Συστημάτων

Μελέτη Παρεμβολών σε Ετερογενή Κινητά Συστήματα Επικοινωνιών
(Interference study in Heterogenous Mobile Communication Systems)

Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του
Πανεπιστημίου Αιγαίου

Σε Μερική Εκπλήρωση
των Απαιτήσεων για το Δίπλωμα του
Μηχανικού Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

του
Τσίπη Λευτέρη
ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2018



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ
ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΤΣΙΠΗ ΛΕΥΤΕΡΗ:

Βουγιούκας Δημοσθένης, Επιβλέπων, 19/6/2018

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

Σκιάνης Χαράλαμπος, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

Σκούτας Δημήτριος, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2018



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης



Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών στο LTE-A. Καθώς τα συστήματα κινητών επικοινωνιών εισέρχονται στην 4^η γενιά, η τεχνολογία των small-cells (femto και Pico) είναι και θα παραμείνει κυρίαρχη για επικοινωνία εξωτερικού και εσωτερικού χώρου. Στόχος είναι απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου κινητών επικοινωνιών και η ενίσχυση του σε θέματα ραδιοκάλυψης, ρυθμού μετάδοσης και ποιότητας υπηρεσίας.

Η δημιουργία νέων κυψελών πάνω στις ήδη υπάρχουσες και γενικότερα η δημιουργία ετερογενών δικτύων μπορεί να προσφέρει ευελιξία αλλά επίσης προσθέτει μεγάλη πολυπλοκότητα στη διαχείριση του δικτύου και επιβάρυνση σε επίπεδο παρεμβολών. Επειδή υπάρχει μια πληθώρα ανοιχτών ζητημάτων που πρέπει να εξεταστεί στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξεταστούν τα εν λόγω συστήματα από την μεριά των παρεμβολών αποτιμώντας την ποιότητα του δικτύου, εξετάζοντας τους μηχανισμούς μείωσης των παρεμβολών και εφαρμόζοντας τους σε κατάλληλο εξειδικευμένο λογισμικό προσομοίωσης (AWE WinProp) καθώς επίσης και προσομοίωσης τους στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή για τα ετερογενή συστήματα στο LTE-A, στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η αρχιτεκτονική του LTE-A καθώς και η αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων. Περιγράφονται επίσης οι τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται το LTE-A και επιτρέπουν την επίτευξη των απαιτητικών σχεδιαστικών στόχων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή για το ετερογενές δίκτυο και κάθε κυψέλης που αποτελεί τμήμα του ξεχωριστά (Macrocell, femtocell, picocell, microcell). Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι παρεμβολές που μπορεί να προκύψουν σε ένα ετερογενές δίκτυο. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τεχνικές αντιμετώπισης των παρεμβολών και στο έκτο κεφαλαίο γίνεται εφαρμογή των τεχνικών του πέμπτου κεφαλαίου σε εξειδικευμένο λογισμικό και παίρνουμε τα αποτελέσματα. Στο έκτο κεφάλαιο, αναλύουμε τα αποτελέσματα των μεθόδων αντιμετώπισης των παρεμβολών και βγάζουμε τα ανάλογα συμπεράσματα και τέλος στο έβδομο κεφάλαιο ολοκληρώνεται η διπλωματική με γενικά συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις.



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Λέξεις κλειδιά: Παρεμβολές σε ετερογενή κινητά συστήματα, φεμτοκυψέλη, πικοκυψέλη, μακροκυψέλη.

© 2018

του

ΤΣΙΠΗ ΛΕΥΤΕΡΗ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Abstract

The purpose of this diploma thesis is to study the interference in heterogeneous mobile communication systems in LTE-A. As mobile communications systems enter the 4th generation, small-cell technology (femto and Pico) is and will remain dominant for outdoor and indoor communication. The goal is the continued operation of the mobile communications network and its enhancement in radio coverage, broadcasting and service quality. The creation of new cells on already existing and generally the creation of heterogeneous networks can offer flexibility but also adds complexity to network management and high level of interference. Because there is a plethora of open issues to consider, this diploma thesis will examine these interference systems by evaluating the quality of the network by examining the interference mitigation mechanisms and applying them to appropriate specialized simulation software (AWE WinProp) as well as their simulation in MATLAB's programming environment. Initially, the first chapter introduces an introduction to the heterogeneous systems in LTE-A, the second chapter describes the LTE-A architecture as well as the architecture of the protocols. It also describes the technologies on which LTE-A is based and allow to meet the demanding design goals. In the third chapter, a detailed description is made for the heterogeneous network and each cell that is part of it separately (Macrocell, femtocell, picocell, microcell). The fourth chapter describes the interferences that may occur in a heterogeneous network. The fifth chapter describes the techniques for dealing with interference and chapter six implements the techniques of the fifth chapter in specialized software and we pass the results. In chapter six, we analyze the results of the interference handling methods and draw conclusions, and finally in chapter seven we conclude the thesis and we propose future work.

Keywords: Interference in heterogeneous mobile systems, femto-cell, pico-cell, macro-cell,

© 2018

TSIPIS LEFTERIS

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικών και Επικοινωνιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα της εργασίας κύριο Δημοσθένη Βουγιούκα, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος για την βοήθεια του, καθώς επίσης και για το χρόνο που μου αφιέρωσε. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την ενθάρρυνση, την υποστήριξη και τη βοήθεια που μου προσέφεραν όλο αυτό το διάστημα.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Σκούτα Δημήτριο, για τον χρόνο του, το ενδιαφέρον του και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ.....	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	13
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
2 LTE-ADVANCE.....	21
2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ LTE	21
2.2 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ	23
2.2.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΑΕΡΑ	23
2.2.2 ΛΟΓΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ	25
2.2.3 ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	25
2.2.4 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ	26
3 LTE-A ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	27
3.1 OFDM-SC-FDM.....	27
3.1.1 ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING -OFDM.....	27
3.1.2 SC-FDM	30
3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ OFDMA/SC-FDMA.	31
3.2.1 OFDMA.....	31
3.2.2 SC-FDMA	33
3.2.3 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΠΟΡΩΝ.....	34
3.3 CARRIER AGGREGATION.....	40
3.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ.....	42
3.4.1 DOWNLINK.....	43
3.4.2 UPLINK	47
3.5 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΙΤΗΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ (ARQ).....	50
3.6 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΙΤΗΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ-HYBRID ARQ	51
3.7 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ	52
3.7.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΥ.....	53



3.7.2	ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ	55
3.7.3	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΕΣΜΗΣ (BEAMFORMING)	56
4	ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	58
4.1	ΜΑΚΡΟΚΥΨΕΛΗ (MACROCELL)	61
4.2	ΜΙΚΡΟΚΥΨΕΛΗ (MICROCELL)	61
4.3	ΠΙΚΟΚΥΨΕΛΗ (PICOCELL)	62
4.4	ΦΕΜΤΟΚΥΨΕΛΗ (FEMTOCELL).....	63
5	ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΚΙΝΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	66
5.1.1	ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΣ ΔΙΚΤΥΟ	67
5.2	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	70
5.2.1	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΦΟΡΕΩΝ (MULTIPLE CARRIERS)	71
5.2.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑ (SINGLE CARRIER)- CO-CHANNEL	75
5.3	ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΚΥΨΕΛΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ(E-ICIC) ΣΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ.....	82
5.3.1	E-ICIC ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	82
5.3.2	E-ICIC ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ	84
5.3.3	E-ICIC ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	87
5.3.4	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ FFR.....	91
6	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	94
6.1	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WINPROP	94
6.1.1	ΣΕΝΑΡΙΟ MACRO-PICO	94
6.1.2	ΣΕΝΑΡΙΟ MACRO-FEMTO.....	109
6.2	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ MATLAB	134
6.2.1	DOWNLINK.....	134
6.2.2	UPLINK	139
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	144
7.1	ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ.....	144
7.2	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΈΡΕΥΝΑ.....	145
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	146



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης



Κατάλογος Ακρωνυμίων

3GPP	3rd Generation Partnership Project
EUTRA	Evolved UTRA
EUTRAN	Evolved UTRAN
FAP	Femtocell Access Point
GSM	Global System for Mobile communication
ICI	Intercarrier Interference
MAC	Medium Access Control
MBSFN	Multi-media Broadcast over a Single-Frequency Network
MC	Modulation and Coding
MIB	Master Information Block
MIMO	Multiple Input–Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
RF	Radio Frequency
RLC	Radio Link Control
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
HeNB	Home eNodeB
FeNB	Femto eNodeB
PeNB	Pico eNodeB
MeNB	Macro eNodeB
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IC	Interference Cancellation



Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Μέγεθος κυκλικού προθέματος.....	29
Πίνακας 2: Φυσικά κανάλια Ελέγχου	36
Πίνακας 3 :αριθμός OFDM συμβολών ανάλογα με το εύρος καναλιού.....	36
Πίνακας 4 :Αντιστοίχιση των 16 τιμών CQI σε παραμέτρους του LA.....	43
Πίνακας 5: Αποστολή TFS ως modulation index στο downlink PDCCH για το επόμενο scheduled PDSCH Subframe.....	46
Πίνακας 6: Αποστολή TFS ως modulation index στο downlink PDCCH για το επόμενο scheduled PUSCH Subframe στο Uplink.....	48
Πίνακας 7:παραμέτρων για το σενάριο macro-pico	96
Πίνακας 8: παραμέτρων σενάριο femto- femto	110
Πίνακας 9παραμέτρων έλεγχου ισχύος κάτω ζεύξη	134
Πίνακας 10: Παράμετρο ελέγχου ισχύος στην άνω ζεύξη.....	140



Κατάλογος Εικόνων

Σχήμα 1: Ετερογενής τοπολογία δικτύου που χρησιμοποιεί ένα μίγμα από υψηλής ισχύος (μακρο) και σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος(pico, femto και αναμεταδότες) [2]	19
Σχήμα 2: Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του LTE. [3].	21
Σχήμα 3: Κύρια συστατικά του EPC. [4].....	22
Σχήμα 4 Στοίβα πρωτοκόλλων διεπαφής αέρα[4]	24
Σχήμα 5 : Αντιστοίχιση καναλιών διεπαφής αέρα [4]	26
Σχήμα 6: διαφορές μεταξύ του. FDM και OFDM[5].....	27
Σχήμα 7: Φασματική μορφή 3 τετραγωνικών παλμών μετάδοσης OFDM που αντιστοιχούν σε 3 σύμβολα [5].....	28
Σχήμα 8: Σύστημα ενός OFDM πομπού και δέκτη [4].....	30
Σχήμα 9: Δομικά στοιχεία OFDM πλαισίου χρόνου – συχνότητας[5]	31
Σχήμα 10 : ανάλυση των frames [5]	32
Σχήμα 11 : διαφορές μεταξύ OFDMA και SC-FDMA[5]	33
Σχήμα 12 : δομή πλαισίου [6].....	34
Σχήμα 13 : Ζώνες συχνοτήτων [6].....	38
Σχήμα 14 : Παράδειγμα όπου χρησιμοποιείται FDD [24].	40
Σχήμα 15: Οι τρεις κατηγορίες των στοιχειωδών φορέων ανά ζώνη συχνοτήτων [24]	41
Σχήμα 16: Συνδυασμός στοιχειωδών φορέων ανά ζώνη συχνοτήτων [24]	41
Σχήμα 17: Αλληλεπίδραση μονάδων Scheduler, Link Adaption & Power Control	42
Σχήμα 18: Διάγραμμα αστερισμού QPSK	44
Σχήμα 19 : Ψηφιακές Διαμορφώσεις Παράδειγμα: QPSK, 16QAM, 64 QAM[6].....	45
Σχήμα 20: διάγραμμα ενός πομπού και δέκτη χρησιμοποιώντας την ARQ	50
Σχήμα 21: διάγραμμα ενός πομπού και δέκτη χρησιμοποιώντας την ARQ	51
Σχήμα 22: Αναπαράσταση των περιπτώσεων MIMO[6].....	52
Σχήμα 23: αναπαράσταση Διαφορικότητα λήψης[6]	53
Σχήμα 24: Χωρική Πολυπλεξία[6]	55
Σχήμα 25: Τεχνική Beamforming[6]	56
Σχήμα 26: Ετερογενές δίκτυο επικοινωνιών [38].....	58
Σχήμα 27: Διαφορά της θέσης του SSDL με το PLUL σε ετερογενή δίκτυα [38]	59
Σχήμα 28: Διαφορά της θέσης του SSDL με το PLUL σε ετερογενή δίκτυα[38]	60
Σχήμα 29 :περιοχή κάλυψης όλων των ειδών κυψελών[44].....	60



Σχήμα 30 : Κόμβοι ετερογενών δικτύων LTE και οι διεπαφές τους[1].....	62
Σχήμα 31: Σχήμα συσκευής Femtocell[44]	63
Σχήμα 32 : Τα femtocells συνδέονται με το δίκτυο κορμού (CN) διαμέσου της backhaul σύνδεσης του χρήστη [44].....	64
Σχήμα 33: Αρχιτεκτονική Femtocell[44].....	64
Σχήμα 34: ένα τυπικό ετερογενές δίκτυο[45]	67
Σχήμα 35 :παρεμβολές downlink (α) και uplink(β) σε σενάρια macro-femto[45]	68
Σχήμα 36 : Επέκταση κάλυψης της πικοκυψέλης σε ετερογενές δίκτυο [45]	69
Σχήμα 37: Το UE στη σκιασμένη περιοχή υποφέρει από υψηλές παρεμβολές [45]	70
Σχήμα 38: Οι μακροκυψέλες αναπτύσσονται στην συχνότητα f1 και οι πικο-φεμτο κυψέλες στην f2 [45]	72
Σχήμα 39: πλήρως επαναχρησιμοποίηση συχνότητας[45]	73
Σχήμα 40: Μείωση της ισχύς στην f2 της μακροκυψέλης για την επίτευξη της αύξησης εμβέλειας των πικοκυψελών [45].....	73
Σχήμα 41: Cross carrier προγραμματισμός για το Macro UE 2 και για το Pico UE [45].....	75
Σχήμα 42: ICIC στο πεδίο του χρόνου για ετερογενή δίκτυα[45]	78
Σχήμα 43:παράδειγμα RNTP bitmap[45]	81
Σχήμα 44: Δυναμικός προγραμματισμός μεταξύ κυψελών [45].....	82
Σχήμα 45: απεικόνιση της συνάρτησης εκπομπής (5.7)[45]	83
Σχήμα 46: απεικόνιση της Symbol shifting τεχνικής[45].....	85
Σχήμα 47 προστασία του πρώτου OFDM συμβόλου[45].....	86
Σχήμα 48: Απεικόνιση της Subframe shifting τεχνικής =2 για μείωση παρεμβολής στα PSCH,SSCH και PBCH των διαφορετικών επίπεδων [45]	86
Σχήμα 49: MBSFN υποπλαίσιο με k=2 μετατοπίσεις συμβολών[45]	87
Σχήμα 50: Resource reservation τεχνική.[45].....	88
Σχήμα 51 : Τμήμα εύρους ζώνης που επικαλύπτεται με την απενεργοποίηση του φορέα [45]	88
Σχήμα 52: Περιορισμός στο εύρος ζώνης [45]	89
Σχήμα 53 : Ανίχνευση της μετάδοσης του δέκτη παρεμβολών και συντονισμένος προγραμματισμός [45].	90
Σχήμα 54 : Το MUE στέλνει ένα ‘distress bit’ στο FeNB που προκαλεί την παρεμβολή [45]	90
Σχήμα 55: Διαφορετικά σχήματα ανάπτυξης FFR σε ένα HetNet : a) strict FFR; b) soft FFR; c) FFR-3;	92
Σχήμα 56 : Μετρήσεις SINR, RSRQ ,RSRP,RSSI.....	95
Σχήμα 57: Περιοχή προσομοίωσης.....	96



Σχήμα 58: Παραμετροποίηση Air Interface.....	97
Σχήμα 59: Ενεργοποίηση μόνο μακροκυψέλης.....	98
Σχήμα 60: SINR μετρήσεις από την μακροκυψέλη.....	99
Σχήμα 61 : Received Power μετρήσεις από την μακροκυψέλη.....	99
Σχήμα 62: SINR στην περιοχή (μαύρο πλαίσιο) στην άκρη της Μακροκυψέλης (edge zone)	100
Σχήμα 63: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 62).....	100
Σχήμα 64: Ενεργοποίηση μακροκυψέλης και πικοκυψέλης.....	101
Σχήμα 65 : SINR μετρήσεις από την πικοκυψέλη 1 χωρίς να είναι ενεργοποιημένη η μακροκυψέλη ...	102
Σχήμα 66 : SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 65).....	103
Σχήμα 67: Περιοχή κάλυψης μακροκυψέλης μετα την ενεργοποίηση της πικοκυψέλης.....	103
Σχήμα 68: SINR του δικτύου μετά την ενεργοποίηση της πικοκυψέλης	104
Σχήμα 69: SINR στη διαδρομή μεταξύ του σημείου S και F (του σχήματος 68).....	104
Σχήμα 70 : SINR Μακροκυψέλης με συχνότητα λειτουργίας 2630 MHz.....	105
Σχήμα 71: SINR Πικοκυψέλης με συχνότητα λειτουργίας 2650 MHz	106
Σχήμα 72: SINR Μακροκυψέλης και Πικοκυψέλης στην περιοχή προσομοίωσης.....	106
Σχήμα 73: Περιοχή υπολογισμού SINR (Μαύρο πλαίσιο).....	107
Σχήμα 74: SINR στην διαδρομή μεταξύ του σημείου S και F (του σχήματος 73).....	107
Σχήμα 75: CDF για Cross tier παρεμβολή στην ίδια συχνότητα λειτουργίας	108
Σχήμα 76: CDF για Cross tier παρεμβολή σε διαφορετική συχνότητα λειτουργίας.....	108
Σχήμα 77 : Τα πρότυπα που ισχύουν για κάθε είδος σταθμού βάσης.....	109
Σχήμα 78 : Περιοχή προσομοίωσης σεναρίου femto-femto	110
Σχήμα 79 : Παραμετροποίηση Air Interface.....	111
Σχήμα 80: Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης 1	113
Σχήμα 81: Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης 2.....	113
Σχήμα 82: Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης 3.....	114
Σχήμα 83: SINR στην ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με ίδια συχνότητα λειτουργίας	114
Σχήμα 84: Διαδρομή μέτρησης SINR.....	115
Σχήμα 85: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) με ίδια συχνότητα λειτουργίας	115
Σχήμα 86. Data Rate στην ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με ίδια συχνότητα λειτουργίας.....	116
Σχήμα 87 : Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) στην ίδια συχνότητα .	116
Σχήμα 88: SINR σε ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας	118



Σχήμα 89: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας	118
Σχήμα 90: Data Rate στην ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας	119
Σχήμα 91: Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) διαφορετική συχνότητα λειτουργίας	119
Σχήμα 92 : Εισαγωγή μια Indoor Database σε μια Urban Database.....	120
Σχήμα 93: SINR της μακροκυψέλης στην περιοχή προσομοίωσης.....	121
Σχήμα 94: SINR της μακροκυψέλης μέσα στον εσωτερικό χώρο.....	122
Σχήμα 95: Διαδρομή με αφετηρία το σημείο start και τερματισμό το σημείο finish.....	122
Σχήμα 96: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 95).....	123
Σχήμα 97: Data rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 95)	123
Σχήμα 98 : Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης.....	125
Σχήμα 99: SINR των κυψελών σε όλη την περιοχή προσομοίωσης.....	125
Σχήμα 100: SINR της φεμτοκυψέλης μέσα στην εσωτερική περιοχή -παρεμβολές στην εξωτερική περιοχή.	126
Σχήμα 101: Ίδια διαδρομή με αυτή του σχήματος 95 (ίδια συχνότητα λειτουργίας)	126
Σχήμα 102: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 100).....	127
Σχήμα 103 : Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 100)	127
Σχήμα 104: SINR των κυψελών σε όλη την περιοχή προσομοίωσης.....	129
Σχήμα 105: Ίδια διαδρομή με αυτή του σχήματος 103 (διαφορετική συχνότητα λειτουργίας)	129
Σχήμα 106: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 104).....	130
Σχήμα 107: Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 104).....	130
Σχήμα 108: CDF για Ομοστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, ίδια συχνότητα λειτουργίας	132
Σχήμα 109: CDF για Ομοστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, διαφορετική συχνότητα λειτουργίας	132
Σχήμα 110: CDF διάγραμμα σενάριο: διαστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, ίδια συχνότητα λειτουργίας	133
Σχήμα 111 : CDF για διαστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, διαφορετική συχνότητα λειτουργίας	133
Σχήμα 112 : Περιοχή προσομοίωσης στο Downlink σενάριο	135
Σχήμα 113: απόσταση από τους σταθμούς βάσης καθώς κινείται το τερματικό MUE	136
Σχήμα 114: SINR καθώς το MUE κινείται.....	136
Σχήμα 115: Data Rate καθώς το UE κινείται.....	137



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Σχήμα 116: SINR FUE	138
Σχήμα 117 : Data Rate για το FUE	138
Σχήμα 118: Περιοχή προσομοίωσης στο Uplink σενάριο	140
Σχήμα 119 : Average FUE SINR value vs Target SINR	141
Σχήμα 120 : Average iteration times vs Target SINR.....	141
Σχήμα 121: Ρυθμός δεδομένων στο MeNB	142
Σχήμα 122: Χωρητικότητα καναλιού	142
Σχήμα 123: Μέσος ρυθμός δεδομένων στα FeNBs	143



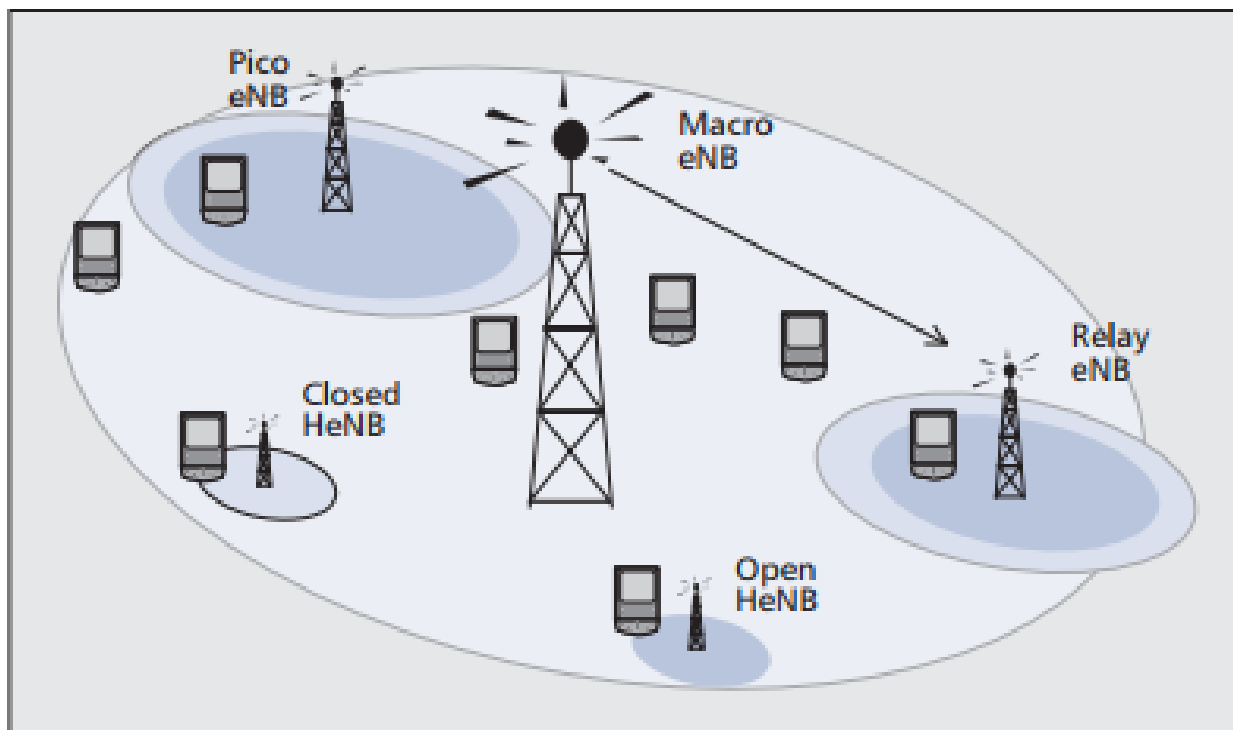
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κίνηση δεδομένων σε κυψελοειδή δίκτυα στην σημερινή εποχή αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό. Η τεχνολογία Long Term Evolution (LTE) και ο εμπλουτισμένος διάδοχός του LTE-A (Long Term Evolution Advanced) δημιουργήθηκε με σκοπό να καλύψει της αυξημένες ανάγκες, και τις αυξημένες απαιτήσεις στον τομέα των κινητών τηλεπικοινωνιών. Τη δεδομένη στιγμή, η τεχνολογία LTE-A αποδεικνύεται τόσο επιτυχημένη που πιθανότατα θα αποτελέσει το πρώτο παγκόσμια αποδεκτό πρότυπο τηλεπικοινωνιών. Οι στόχοι που τέθηκαν κατά το σχεδιασμό και την υλοποίησή της, περιλάμβαναν μεταξύ άλλων μεγαλύτερες ταχύτητες, νέες υπηρεσίες, μικρότερη καθυστέρηση και μεγαλύτερη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, επιτρέποντας παράλληλα ανταγωνιστικό κόστος υλοποίησης σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών τέταρτης γενιάς. Μέρος της επίτευξης των στόχων αυτών, αποδίδονται στην υιοθέτηση της OFDMA τεχνολογίας στην μεταφορά δεδομένων, στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), και την υποστήριξη και προτυποποίηση ετερογενών δικτύων (π.χ. femtocells, picocells, microcell, macrocell, relay nodes κ.ά.) για τη μέγιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος.

Δεδομένου ότι η αποδοτικότητα συνδέσεων πλησιάζει τα θεμελιώδη όριά της, οι περαιτέρω βελτιώσεις στη φασματική απόδοση των συστημάτων είναι μόνο επιτευξιμή με την αύξηση της πυκνότητας των σταθμών βάσης. Ωστόσο, σε ήδη πυκνές αναπτύξεις στα σημερινά δίκτυα, το κέρδος διάσπασης κυψελών μπορεί να είναι περιορισμένο λόγω υψηλής παρεμβολής μεταξύ των κυψελών. Επιπλέον, το υψηλό κόστος δαπανών που σχετίζονται με τις μακροκυψέλες περιορίζει τη βιωσιμότητα μιας τέτοιας προσέγγισης. Στην διπλωματική αυτή εξετάζεται η ανάγκη για μια εναλλακτική στρατηγική, όπου οι σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος είναι επικαλυμμένοι μέσα στην περιοχή κάλυψη των μακροκυψελών, δημιουργώντας αυτό που αποκαλείται **ετερογενές δίκτυο**. Η δημιουργία νέων κυψελών πάνω στις ήδη υπάρχουσες και γενικότερα η δημιουργία ετερογενών δικτύων, μπορεί να προσφέρει ευελιξία, αλλά επίσης προσθέτει μεγάλη πολυπλοκότητα στη διαχείριση του δικτύου και επιβάρυνση σε επίπεδο παρεμβολών. Επειδή υπάρχει μία πληθώρα ανοιχτών ζητημάτων που πρέπει να εξεταστεί, στην παρούσα διπλωματική θα εξεταστούν τα εν λόγω συστήματα από τη μεριά των παρεμβολών, αποτιμώντας την ποιότητα του δικτύου, εξετάζοντας τους μηχανισμούς μείωσης των παρεμβολών και εφαρμόζοντας τους σε κατάλληλα εξειδικευμένα λογισμικά προσομοίωσης (AWE WinProp) και MATLAB.

Παρακάτω, κατατάσσουμε τους σταθμούς βάσης χαμηλής ισχύος ως pico, femto, micro και αναμεταδότες. Εάν οι σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος προορίζονται για υπαίθριες αναπτύξεις, η ισχύς εκπομπής τους κυμαίνεται από 250 mW έως περίπου 2 W. και έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος από τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσης μιας μακροκυψέλης, οι οποίοι μεταδίδουν με ισχύ, η οποία συνήθως κυμαίνονται από 5 έως 40 W. Οι σταθμοί βάσης Femto προορίζονται για εσωτερική χρήση και η ισχύς εκπομπής τους είναι συνήθως 100 mW ή λιγότερο. Σε αντίθεση με τους σταθμούς βάσης pico, οι σταθμοί βάσης femto μπορεί να ρυθμιστούν με μια περιορισμένη σχέση, επιτρέποντας την πρόσβαση μόνο στα μέλη της ομάδας κλειστού συνδρομητή (CSG). Αυτοί οι σταθμοί βάσης femto αναφέρονται συνήθως ως close femtos.

Ένα δίκτυο που αποτελείται από ένα μείγμα μακροκυψελών και κόμβων χαμηλής ισχύος, όπου ορισμένοι από αυτούς μπορούν να ρυθμιστούν με περιορισμένη πρόσβαση και μερικοί μπορεί να στερούνται ενσύρματο backhaul, αναφέρεται ως ετερογενές δίκτυο και απεικονίζεται στο σχήμα 1[2]



Σχήμα 1: Ετερογενής τοπολογία δικτύου που χρησιμοποιεί ένα μίγμα από υψηλής ισχύος (μακρο) και σταθμοί βάσης χαμηλής ισχύος(pico, femto και αναμεταδότες) [2]

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματά τους, τα παραπάνω χαρακτηριστικά εισάγουν και αρκετές τεχνολογικές προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν, με βασικότερη την παρουσία των **παρεμβολών**. Συνολικά, τα φαινόμενα παρεμβολών μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Τις ομοστρωματικές (co-layer) και τις διαστρωματικές (cross-layer) παρεμβολές. Οι πρώτες αφορούν τις παρεμβολές που εμφανίζονται μεταξύ χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικές κυψέλες ίδιου επιπέδου και γειτνιάζουν. Σενάρια τέτοιων παρεμβολών είναι παρεμβολές σε ένα χρήστη femtocell από ένα κοντινό femto BS, παρεμβολές σε ένα χρήστη picocell από ένα κοντινό pico BS, και παρεμβολές σε χρήστη macrocell από γειτονικό macro BS και ούτω κάθε εξής.

Η δεύτερη κατηγορία προκύπτει με την εμφάνιση των ετερογενών δικτύων όπως προαναφέραμε, όταν οι σταθμοί βάσης femtocell και macrocell έχουν πρόσβαση στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Παράδειγμα τέτοιων παρεμβολών είναι οι παρεμβολές που υφίσταται το τερματικό (user equipment-UE) ενός macro χρήστη (MUE) όταν βρεθεί εντός της εμβέλειας ενός femtocell, καθώς και οι παρεμβολές που υφίσταται το τερματικό (user equipment-UE) ενός femto χρήστη (FUE) όταν βρεθεί εντός της εμβέλειας ενός Macrocell. Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό διαφορετικών προσεγγίσεων αντιμετώπισης, διαφορετικής καταλληλότητας και επιδόσεων. Στα δίκτυα 4G, η νέα αρχιτεκτονική του φυσικού επιπέδου επιτρέπει την εύκαμπτη κατανομή πόρων χρόνου και συχνότητας.

Αυτή η πρόσθετη ευελιξία επιτρέπει τα macro και femto / picocells για να μεταφέρουν διαφορετικά time-frequency resource blocks μέσα σε έναν φορέα ή σε διαφορετικούς φορείς (carriers) στο αντίστοιχο UE που εξυπηρετούν. Αυτή είναι μια από τις τεχνικές inter cell interference coordination (ICIC) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατερχόμενη ζεύξη για να μετριάσουν την παρεμβολή δεδομένων.



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Για την αντιμετώπιση των παρεμβολών, έχουν μελετηθεί στην συγκεκριμένη εργασία τεχνικές όπως κατανομή συχνοτήτων, διαχείριση ισχύος και τεχνικές στο παιδί του χρόνου όπως η τεχνική των Almost blank subframe, Symbol level shifting και άλλες που τις περιγράφουμε αναλυτικά στο κεφάλαιο των παρεμβολών.

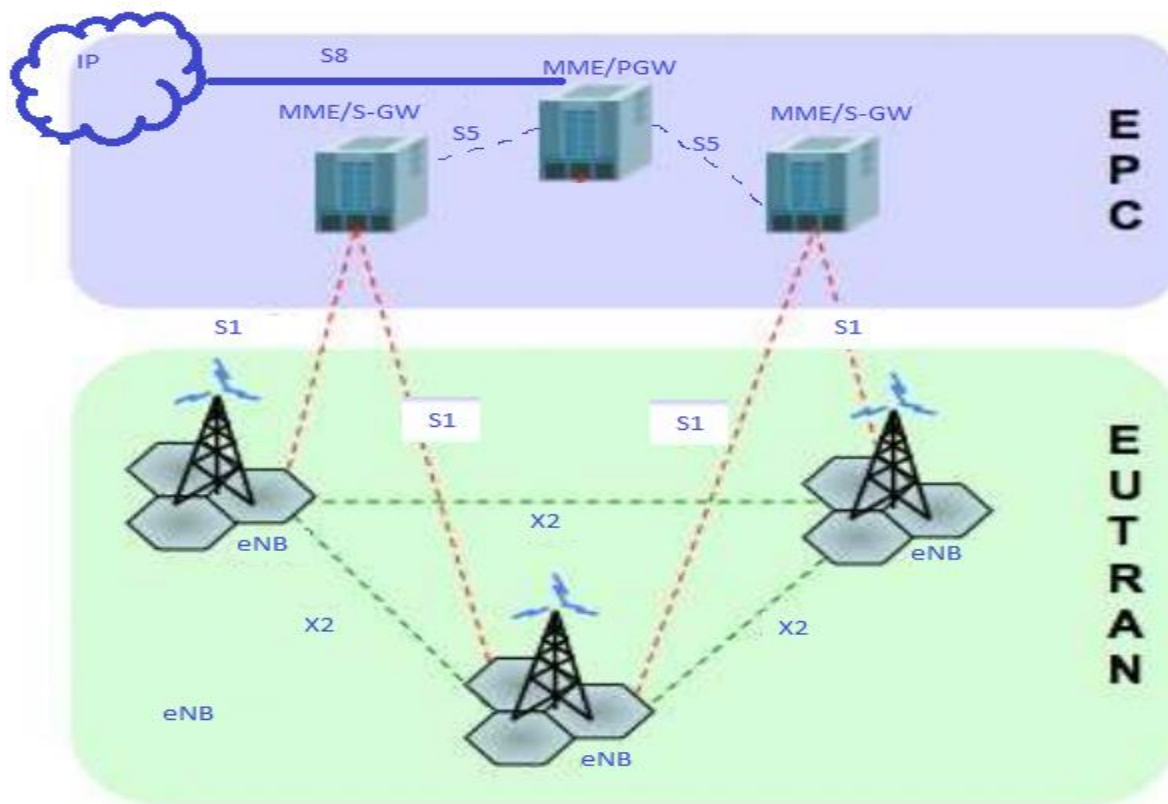
Η παρούσα εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η αρχιτεκτονική του LTE-A καθώς και η αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων. Περιγράφονται επίσης οι τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται το LTE-A και επιτρέπουν την επίτευξη των απαιτητικών σχεδιαστικών στόχων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή για το ετερογενές δίκτυο και κάθε κυψέλης που αποτελεί τμήμα του ξεχωριστά (Macrocell, femtocell, picocell, microcell). Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι παρεμβολές που μπορεί να προκύψουν σε ένα ετερογενές δίκτυο. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τεχνικές αντιμετώπισης των παρεμβολών και στο έκτο κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή των τεχνικών του πέμπτου κεφαλαίου σε εξειδικευμένο λογισμικό και περνούμε τα αποτελέσματα. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο αναλύουμε τα αποτελέσματα των μεθόδων αντιμετώπισης των παρεμβολών και βγάζουμε τα ανάλογα συμπεράσματα.



2 LTE-ADVANCE

2.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ LTE

Ο κύριος στόχος της τεχνολογίας LTE είναι η ανάπτυξη ολοκληρωμένου προηγμένου συστήματος, συμπεριλαμβανομένου του δικτύου κορμού, για την μετάδοση δεδομένων υψηλού ρυθμού, χαμηλής καθυστέρησης και υποστήριξης τεχνολογίας πολλαπλής ραδιοπρόσβασης. Παράλληλα με την ανάπτυξη του UMTS για το LTE μέσω του E-UTRAN ,πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητες διεργασίες με στόχο την εξέλιξη του κεντρικού δικτύου (CN) , έργο που πηρέ την ονομασία System Architecture Evolution (SAE). Η εξέλιξη του CN οδήγησε στη δημιουργία του Evolved Packet System (EPS). Η αρχιτεκτονική του δικτύου πρόσβασης E-UTRAN παρουσιάζεται στο σχήμα 2.[3]. Το E-UTRAN αποτελείται από τα E-NodeBs που συνθέτουν το E-UTRAN επίπεδο χρήστη (user plane) και το επίπεδο ελέγχου (control plane). Κάθε eNB είναι ένας σταθμός βάσης που ελέγχει τα κινητά σε μια ή περισσότερες κυψέλες. Ο σταθμός βάσης που επικοινωνεί με ένα κινητό είναι γνωστός ως ο eNB εξυπηρέτησης του. Ο eNB στέλνει ασύρματες μεταδόσεις σε όλα τα κινητά στην κάτω ζεύξη και δέχεται μεταδόσεις από αυτά στην άνω ζεύξη, χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες επεξεργασίας σήματος της LTE διεπαφής αέρα όπου θα τις αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.



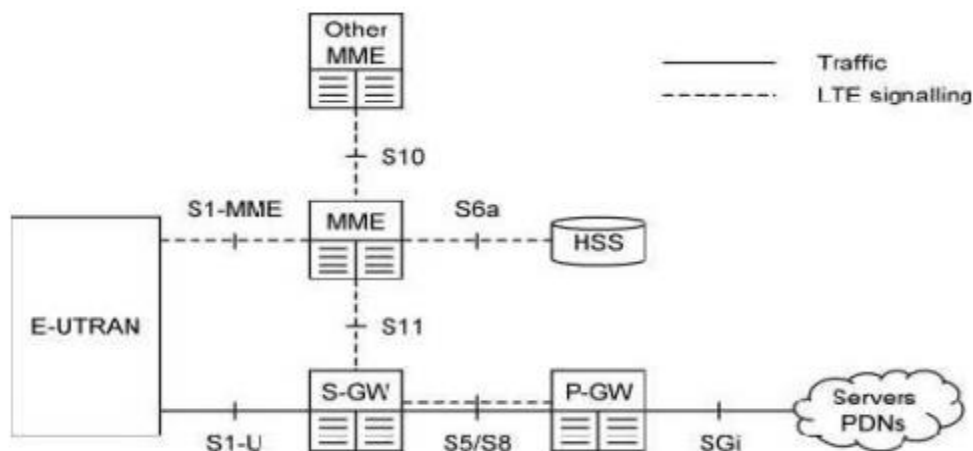
Σχήμα 2: Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του LTE. [3].



Ο eNB ελέγχει την χαμηλού επιπέδου λειτουργία όλων των κινητών του, στέλνοντας τους μηνύματα σηματοδότησης. Κάθε eNB είναι συνδεδεμένος με το EPC μέσω της διεπαφής S1. Μπορεί επίσης να συνδεθεί σε κοντινούς σταθμούς βάσης μέσω της διεπαφής X2, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για σηματοδότηση και προώθηση πακέτων κατά την διάρκεια της παράδοσης. Στο σχήμα 3[4] παρουσιάζονται τα κυρία συστατικά του EPC. ΗSS είναι μια κεντρική βάση δεδομένων που περιέχει τις πληροφορίες για όλους τους συνδρομητές. Η **πύλη δικτύου πακέτων δεδομένων (PDN)(P-GW)** διαθέτει κατάλληλες διεπαφές για να επικοινωνήσει με άλλα εξωτερικά PDN ή με μια πλατφόρμα IMS. Κάθε κινητό εκχωρείται σε διάφορες πύλες PDNs ανάλογα αν επιθυμεί να συνδεθεί σε προσθετά PDNs. Η **πύλη εξυπηρέτησης (S-GW)** ενεργεί σαν ένας δρομολογητής και προωθεί τα δεδομένα μεταξύ του eNB και της πύλης (P-GW). Κάθε κινητό εκχωρείται σε μια ενιαία S-GW, αλλά η S-GW μπορεί να αλλάξει αν το κινητό μετατοπίζεται πολύ μακριά.

Ο **φορέας διαχείρισης κινητικότητας (MME)** ελέγχει την υψηλού επιπέδου λειτουργία του κινητού, στέλνοντάς του μηνύματά σηματοδότησης σχετικά με θέματα όπως η ασφάλεια και η διαχείριση ροών δεδομένων που δεν σχετίζονται με ραδιοεπικοινωνίες. Όπως και με την S-GW, ένα τυπικό δίκτυο μπορεί να περιέχει ελάχιστους MMEs, καθένας από τους οποίους καλύπτει μια ορισμένη γεωγραφική περιοχή. Κάθε κινητό εκχωρείται σε έναν ενιαίο MME, ο οποίος είναι γνωστός ως ο MME εξυπηρέτησής του, αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει αν το κινητό κινείται αρκετά μακριά. Ο MME ελέγχει επίσης τα άλλα στοιχεία του δικτύου, μέσω των μηνυμάτων σηματοδότησης που είναι στο εσωτερικό του EPC.

Η διεπαφή μεταξύ των πυλών εξυπηρέτησης και PDN είναι γνωστή ως S5/S8. Αυτό έχει δύο ελαφρώς διαφορετικές εφαρμογές, δηλαδή το S5, αν οι δύο συσκευές είναι στο ίδιο δίκτυο, και το S8 αν είναι σε διαφορετικά δίκτυα. Για τα κινητά που δεν χρησιμοποιούν την υπηρεσία περιαγωγής, οι πύλες εξυπηρέτησης και PDN μπορούν να ενσωματωθούν σε μια ενιαία συσκευή, έτσι ώστε η διεπαφή S5/S8 να εξαφανίζεται εντελώς. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο λόγω της σχετικής μείωσης της καθυστέρησης.



Σχήμα 3: Κόρια συστατικά του EPC. [4]



2.2 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ

Κάθε διεπαφή από την προηγούμενη ενότητα, συνδέεται με μια στοίβα πρωτοκόλλων, την οποία χρησιμοποιούν τα στοιχεία δικτύου για ανταλλαγή δεδομένων και μηνυμάτων σηματοδότησης. Η στοίβα πρωτοκόλλου έχει δύο επίπεδα. Τα πρωτόκολλα στο επίπεδο χρήστη χειρίζονται δεδομένα που έχουν ενδιαφέρον για τον χρήστη, ενώ τα πρωτόκολλα στο επίπεδο ελέγχου χειρίζονται μηνύματα σηματοδότησης που είναι ενδιαφέροντα μόνο για τα ίδια τα στοιχεία δικτύου τους. Η στοίβα πρωτοκόλλου έχει επίσης δύο κύρια στρώματα. Το ανώτερο στρώμα χειρίζεται πληροφορίες με έναν τρόπο ειδικό για LTE, ενώ το κάτω στρώμα μεταφέρει πληροφορίες από το ένα σημείο στο άλλο. Στο E-UTRAN, είναι γνωστά ως το στρώμα ασύρματου δικτύου και το στρώμα μεταφοράς δικτύου αντίστοιχα.

Υπάρχουν λοιπόν τρία είδη πρωτοκόλλων. Τα πρωτόκολλα σηματοδότησης ορίζουν μια γλώσσα με την οποία δύο συσκευές μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα σηματοδότησης μεταξύ τους. Τα πρωτόκολλα επιπέδου χρήστη χειρίζονται τα δεδομένα στο επίπεδο χρήστη, πιο συχνά για να βοηθήσουν τη διαδρομή των δεδομένων εντός του δικτύου. Τέλος, τα βασικά πρωτόκολλα μεταφοράς, μεταφέρουν δεδομένα και μηνύματα σηματοδότησης από το ένα μέρος στο άλλο. Όπως σημειώθηκε νωρίτερα, ο MME ελέγχει την υψηλού επιπέδου συμπεριφορά του κινητού, στέλνοντάς του μηνύματα σηματοδότησης. Ωστόσο, δεν υπάρχει άμεση διαδρομή μεταξύ του MME και του κινητού, μέσω των οποίων αυτά τα μηνύματα μπορούν να μεταφερθούν. Για να το χειριστεί αυτό, η διεπαφή αέρα διαιρείται σε δύο επίπεδα, γνωστά ως το access stratum (AS) και το non access stratum (NAS). Τα υψηλού επιπέδου μηνύματα σηματοδότησης βρίσκονται στο NAS και μεταφέρονται χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα AS των διεπαφών S1 και Uu.

2.2.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΑΕΡΑ

Η διεπαφή αέρα είναι δομημένη σε μια πολύ επίπεδη στοίβα πρωτοκόλλων σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές της 3GPP, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 4 [4]. Η αριστερή στοίβα αναφέρεται στη μεταφορά μηνυμάτων σηματοδότησης (control plane) ενώ η δεξιά στοίβα αναφέρεται στην μεταφορά πακέτων δεδομένων (user-data, user plane).

Πρωτόκολλο Σύγκλισης Πακέτο-Δεδομένων(Packet Data Convergence Protocol-PDCP)

Πρόκειται για το πρωτόκολλο δευτέρου επιπέδου, που έχει άμεση επαφή με το τρίτο στρώμα δικτύου. Το PDCP πρωτόκολλο εκτελεί συμπίεση Robust Header Compression(ROHC) με σκοπό να ελαττωθεί το φορτίο που μεταφέρεται στην ραδιο επαφή, καθώς και εκτελεί τις διαδικασίες security των ανωτέρων πρωτοκόλλων RRC & NAS.

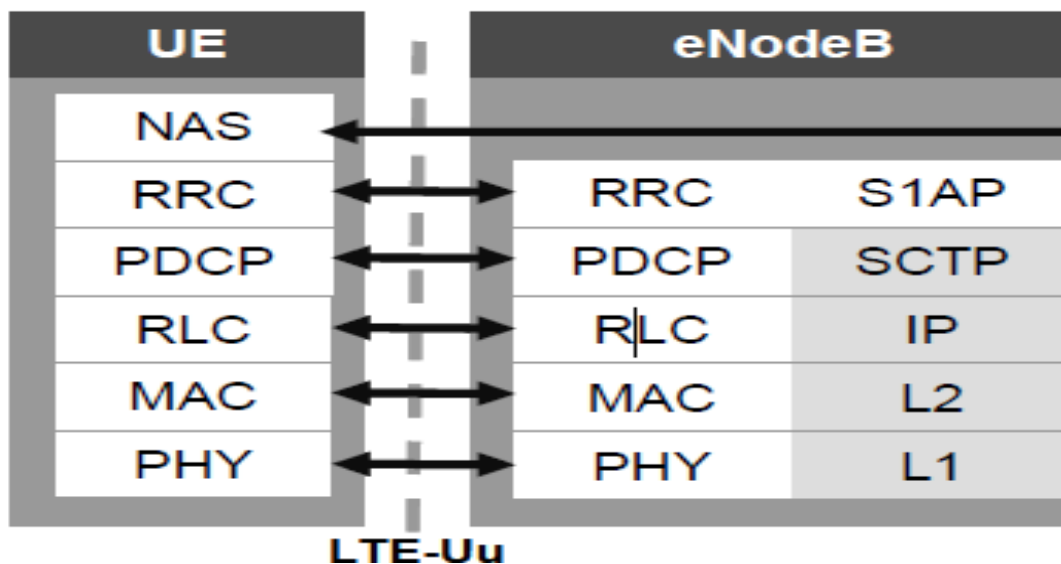
Πρωτόκολλο Ελέγχου Ραδιοζεύξης (Radio Link Control -RLC)

Το RLC είναι το Πρωτόκολλο που αναλαμβάνει τον τεμαχισμό/επανασυναρμολόγηση πακέτων με συμπιεσμένες κεφαλίδες (Headers), τα οποία αποκαλούνται RLC-Μονάδα Δεδομένων Υπερίων (Service Data Units - SDUs) τα οποία προωθεί από το PDCP προς το IP επίπεδο. Το πρωτόκολλο RLC δημιουργεί επίσης τα λεγόμενα λογικά κανάλια (logical channel), και τέλος εκτελεί το δεύτερο επίπεδο αναμετάδοσης εσφαλμένων μηνυμάτων (ARQ).



Έλεγχος Πρόσβασης Μέσου (Medium Access Control-MAC)

Το Mac πρωτόκολλο αντιστοιχεί τα λογικά κανάλια στα κανάλια μεταφοράς και είναι υπεύθυνο για το πρώτο επίπεδο αναμετάδοσης εσφαλμένων μηνυμάτων (HARQ) και βέβαια την πλέον βασική λειτουργία του scheduler, επιλογή μεγέθους του Transport block και dynamic link adaptation. Ο προγραμματισμός της κίνησης γίνεται στο eNode το οποίο έχει μια MAC ανά κυψέλη και για τις δυο ζεύξεις (UL και DL) Το φυσικό επίπεδο αντιστοιχεί το κανάλι μεταφοράς πάνω σε ένα φυσικό κανάλι και εκτελεί κωδικοποίηση καναλιού, προσαρμογή ρυθμού μετάδοσης στο μέγεθος του transport block, interleaving filtering διαμόρφωση καθώς και OFDM mapping.



Σχήμα 4 Στοιβα πρωτοκόλλων διεπαφής αέρα[4]

Το σχήμα 5 [4] απεικονίζει την αντιστοίχιση των καναλιών από τα ανωτέρα επίπεδα της διεπαφής αέρα (RLC layer-logical channel & MAC layer- Transport Channel). Το υπόστρωμα MAC χρησιμοποιεί λογικά κανάλια για την επικοινωνία με τα ανωτέρα στρώματα και κανάλια μετάδοσης για επικοινωνία με το στρώμα φυσικού επιπέδου.



2.2.2 ΛΟΓΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ

Τα **λογικά κανάλια** μπορούν να ταξινομηθούν με δυο τρόπους. Πρώτον τα λογικά κανάλια μεταφοράς μεταφέρουν δεδομένα στο επίπεδο χρήστη, ενώ τα λογικά κανάλια ελέγχου, μεταφέρουν μηνύματα σηματοδότησης στο επίπεδο ελέγχου. Δεύτερον αποκλειστικά λογικά κανάλια διατίθενται σε ένα συγκεκριμένο κινητό. Τα **λογικά κανάλια** είναι:

- Κανάλι ελέγχου ευρυεκπομπής (Broadcast control channel-BCCH): Είναι το κανάλι μέσω του οποίου στέλνεται πληροφορία από το δίκτυο σε όλα τα κινητά τερματικά της κυψέλης για τις ρυθμίσεις του συστήματος.
- Κανάλι ελέγχου τηλεειδοποίησης (Paging control channel-PCCH): Είναι το κανάλι που χρησιμοποιείται για να στέλνει τηλεειδοποίησης σε κινητά τερματικά των οποίων η θέση δεν είναι γνωστή στο δίκτυο.
- Αποκλειστικό κανάλι ελέγχου (Dedicated control channel-DCCH): Είναι το κανάλι που μεταφέρει αποκλειστικά πληροφορίες ελέγχου από και προς το κινητό τερματικό. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιεί για τη διάρθρωση των ρυθμίσεων του τερματικού σε περιπτώσεις μεταπομπής σε άλλη κυψέλη.
- Κανάλι ελέγχου πολυεκπομπής (Multi cast control channel-MCCH): Μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου για την λήψη πληροφοριών σχετικές με πολυεκπομπής.
- Αποκλειστικό κανάλι κίνησης (Dedicated traffic channel-DTCH): το οποίο χρησιμοποιείται για την μεταδώσει κίνηση δεδομένων από και προς το τερματικό χρήστη.
- Κανάλι πολυεκπομπής κίνησης (Multicast traffic channel-MTCH): Είναι το κανάλι που χρησιμοποιείται για να στέλνει υπηρεσίες ευρυεκπομπής και πολυεκπομπής (multimedia broadcast multicast Services) στην κατερχομένη ζεύξη.

2.2.3 ΚΑΝΑΛΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των καναλιών μεταφοράς βρίσκονται στις προσεγγίσεις τους για έλεγχο σφαλμάτων. Ειδικότερα, τα UL-SCH και DL-SCH είναι τα μόνα κανάλια μεταφοράς που χρησιμοποιούν τις τεχνικές ARQ και HARQ, και είναι τα μόνα κανάλια που μπορούν να προσαρμόσουν το ρυθμό κωδικοποίησής τους, σε αλλαγές στο SINR. Τα άλλα κανάλια μεταφοράς χρησιμοποιούν μόνο εμπρόσθια διόρθωση λάθους και έχουν ένα σταθερό ρυθμό κωδικοποίησης.

Τα κανάλια μεταφοράς:

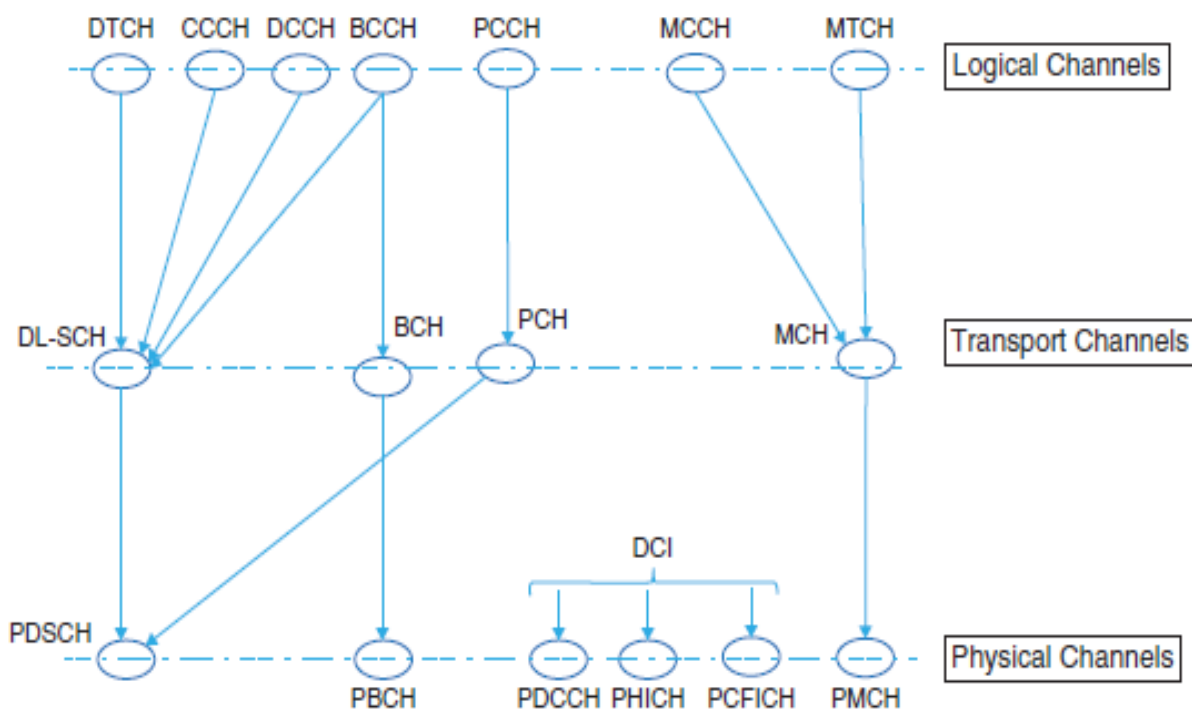
- Κανάλι ευρυεκπομπής (Broadcast channel-BCH): Χρησιμοποιείται για να μεταδώσει προς όλους τους χρήστες βασικά μέρη του BCCH.
- Κανάλι τηλεειδοποίησης (Paging channel-PCH): Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφορίας από το λογικό κανάλι PCCH
- Μεριζόμενο κανάλι κατερχομένης ζεύξης (Downlink shared channel-DL-SCH): Αποτελεί το κύριο κανάλι μεταφοράς της πληροφορίας της κατερχομένης ζεύξης. Υποστηρίζει υβριδικό HARQ και χωρική πολυπλεξία
- Κανάλι πολυεκπομπής (Multicast channel-MCH): Υποστηρίζει υπερθέσεις MBMS
- Μεριζόμενο κανάλι ανερχομένης ζεύξης (Uplink shared channel-DL-SCH): Χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων στην ανερχομένη ζεύξη.



2.2.4 ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ

Στην την κάτω ζεύξη, υπάρχει μια αντιστοίχιση ένα-προς-ένα μεταξύ των φυσικών καναλιών ελέγχου και των πληροφοριών ελέγχου, που αναφέρονται παραπάνω. Ως εκ τούτου, το φυσικό κανάλι ελέγχου κάτω ζεύξης (PDCCH), το φυσικό κανάλι ελέγχου του δείκτη διαμόρφωσης (PCFICH) και το φυσικό κανάλι δείκτη HARQ (PHICH), μεταφέρουν τις πληροφορίες ελέγχου κάτω ζεύξης (DCI), ελέγχουν τους δείκτες διαμόρφωσης ελέγχου (CFIs) και τους δείκτες HARQ (His), αντίστοιχα.

Το relay physical downlink control channel (R-PDCCH) υποστηρίζει τη χρήση της μετεγκατάστασης και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην Έκδοση 10. Οι UCI αποστέλλονται στο PUSCH εάν το κινητό εκπέμπει δεδομένα άνω ζεύξης ταυτόχρονα, και διαφορετικά, στο φυσικό κανάλι ελέγχου άνω ζεύξης (PUCCH). Τα PUSCH και PUCCH μεταδίδονται σε διαφορετικά σύνολα υπό- φερουσών, έτσι η διάταξη αυτή διατηρεί το χαρακτήρα ενιαίου φέροντος της μετάδοσης άνω ζεύξης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του SC-FDMA



Σχήμα 5 : Αντιστοίχιση καναλιών διεπαφής αέρα [4]

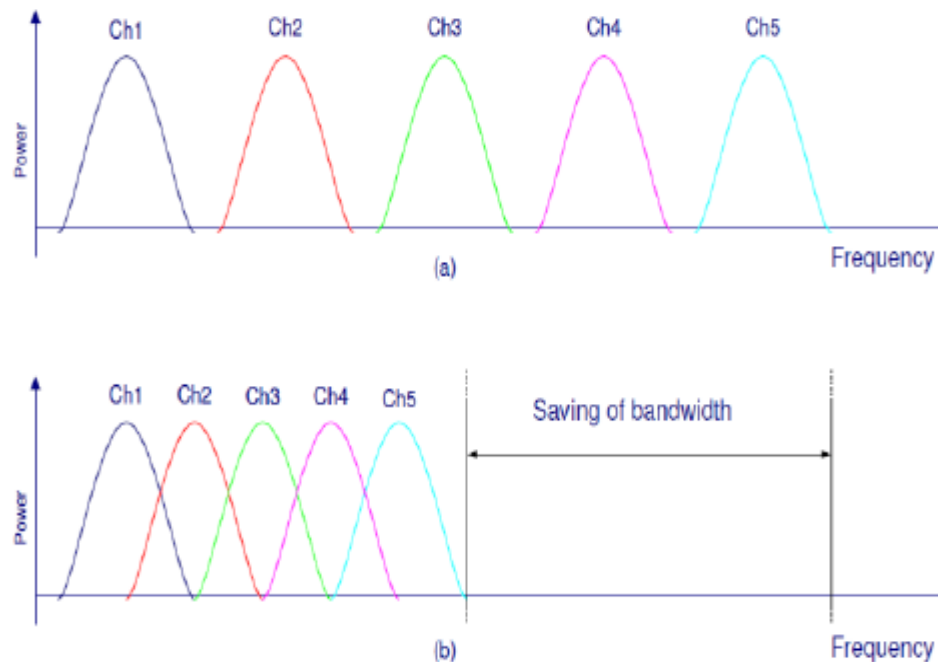


3 LTE-A ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

3.1 OFDM-SC-FDM

3.1.1 ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING -OFDM

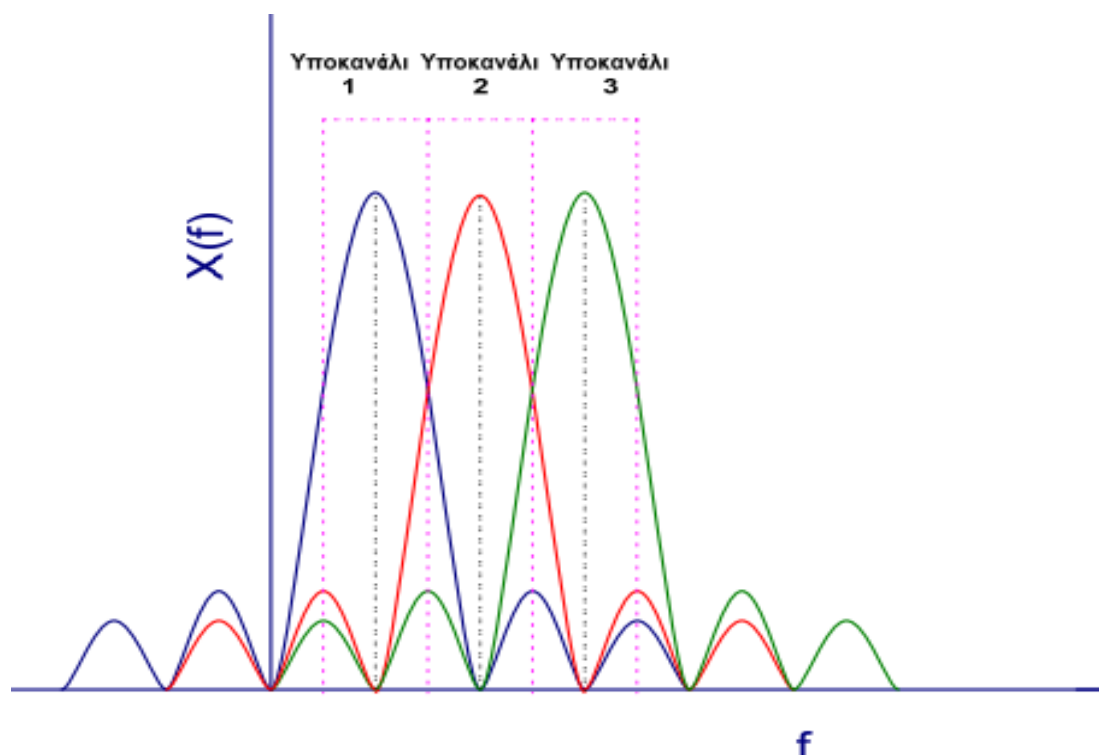
Ένα μεγάλο μειονέκτημα της μετάδοσης με πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας FDM ήταν ότι παρόλο που τα σήματα-σύμβολα ήταν μεγάλης χρονικής διάρκειας, η παράλληλη μετάδοση τους δεν μπορούσε να γίνει χωρίς να υπάρχει κάποια, έστω και μικρή, φασματική επικάλυψη τους στο πεδίο της συχνότητας (Inter-Carrier Interference - ICI). Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό που θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια χρήσιμης πληροφορίας και την υποβάθμιση στην ποιότητα της επικοινωνίας, έπρεπε να κρατούνται μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών υποκαναλιών (subchannels). Οι αποστάσεις αυτές ήταν αρκετά μεγάλες και είχαν ως αποτέλεσμα τη δέσμευση μεγάλου εύρους φάσματος σε σχέση με τη μεταδιδόμενη πληροφορία όπως φαίνεται στο σχήμα 6.[5]



Σχήμα 6: διαφορές μεταξύ του FDM και OFDM[5]



Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) η οποία κρίθηκε ως η καταλληλότερη μέθοδος για μετάδοση υψηλού ρυθμού δεδομένων. Η OFDM αποτελεί μία τεχνολογία μετάδοσης πολλαπλών φερόντων η οποία αναπαριστά το συνολικό εύρος ζώνης ως ένα σύνολο πολλών καναλιών στενής ζώνης. Δηλαδή, η βασική αρχική του OFDM είναι ο διαχωρισμός του διαθέσιμου φάσματος σε παράλληλα κανάλια στενής ζώνης (narrowband) που αναφέρονται ως subcarriers (υπό-φέροντα). Η βασική αρχή της ορθογωνιότητας εξασφαλίζει ότι στα σημεία όπου το φάσμα ενός υποκαναλιού παρουσιάζει κορυφή, εκεί το φάσμα των γειτονικών υποκαναλιών θα παρουσιάζει μηδενισμό. Για να ισχύει αυτό θα πρέπει τα υποκανάλια να έχουν φέρουσες συχνότητες που να είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας βασικής συχνότητας. Παρακάτω στο Σχήμα 7 φαίνονται τρία σύμβολα όμοια με τα προηγούμενα στο πεδίο της συχνότητας σε σύστημα OFDM. Όπου το φάσμα του ενός συμβόλου έχει κορυφή το φάσμα των γειτονικών συμβόλων μηδενίζεται.



Σχήμα 7: Φασματική μορφή 3 τετραγωνικών παλμών μετάδοσης OFDM που αντιστοιχούν σε 3 σύμβολα [5].

3.1.1.1 OFDM-ΚΥΚΛΙΚΟ ΠΡΟΘΕΜΑ(CP)

Αν και η ορθογώνια παράλληλη μετάδοση των συμβόλων αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο αντιμετώπισης της διασυμβολικής παρεμβολής(ISI), εντούτοις όμως δεν εξαλείφει εντελώς το πρόβλημα. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει ένα μικρό διάστημα που κάθε OFDM σύμβολο παρεμβάλει στο αμέσως επόμενο του. Επιπλέον το λαμβανόμενο σήμα ύστερα από την ανάλυση και την αποδιαμόρφωση στο δέκτη και αφού γίνει μετατροπή από τον αναλογικό κόσμο στον ψηφιακό με έναν A/D (Analog to Digital Converter) δεν είναι συνεχούς χρόνου αλλά διακριτό. Το γεγονός αυτό δημιουργεί νέες συνθήκες στην επεξεργασία του σήματος γιατί δεν ισχύουν ακριβώς οι ίδιες μαθηματικές ιδιότητες που ισχύουν στα σήματα συνεχούς χρόνου. Τα προβλήματα ISI παρεμβολής μπορούν να αντιμετωπιστούν αποδοτικά στο



ψηφιακό σύστημα με την προσθήκη ενός επιπλέον τμήματος στην αρχή(η στο τέλος) κάθε OFDM συμβόλου που ονομάζεται κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix)[5]. Λέγεται δε κυκλικό πρόθεμα διότι το τμήμα αυτό είναι ένα μικρό κομμάτι απ' 'το τέλος (η απ' την αρχή αντίστοιχα) του OFDM συμβόλου το οποίο επαναλαμβάνεται στην αρχή(η στο τέλος) του συμβόλου. Το μήκος του κυκλικού προθέματος (Πίνακας 1) αποτελεί μία σημαντική παράμετρο σχεδιασμού σε ένα σύστημα μετάδοσης πολλαπλών φερόντων. Από τη μία, το μήκος πρέπει να είναι αρκετό για να καλύψει την εξάπλωση καθυστέρησης στις περισσότερες περιπτώσεις διάδοσης ενός κυψελωτού δικτύου, ενώ από την άλλη, το μήκος πρέπει να είναι αρκετό για να καλύψει την εξάπλωση καθυστέρησης στις περισσότερες περιπτώσεις διάδοσης ενός κυψελωτού δικτύου.

Πίνακας 1: Μέγεθος κυκλικού προθέματος

Configuration	Subcarrier spacing (Δf) (kHz)	Number of subcarriers per resource block	Number of OFDM symbols per resource block
Normal cyclic prefix	15	12	7
Extended cyclic prefix	15	12	6
	7.5	24	3

3.1.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ OFDM

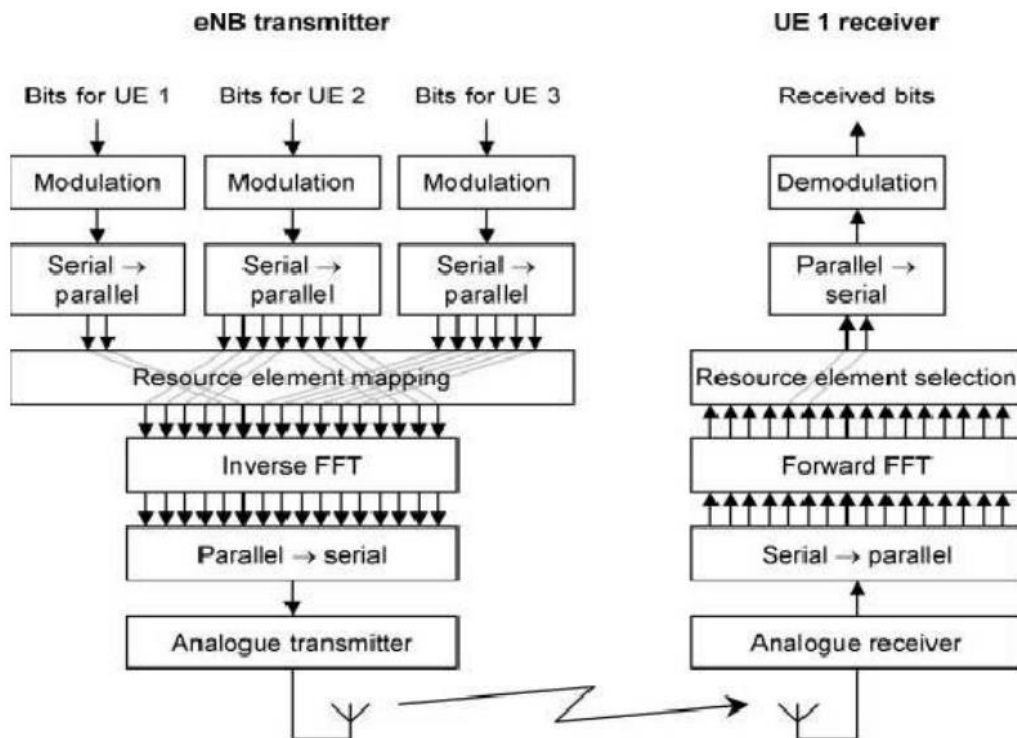
Το Σχήμα 8 αφορά ένα σύστημα ενός OFDM πομπού και δέκτη. Ο πομπός δέχεται ένα ρεύμα bits από πρωτόκολλα ανώτερου στρώματος και τα μετατρέπει σε σύμβολα, χρησιμοποιώντας το επιλεγμένο σύστημα διαμόρφωσης από τον MAC scheduler. Υποθέτουμε ότι το σύστημα λειτουργεί στην κάτω ζεύξη, έτσι ώστε ο πομπός να είναι στο σταθμό βάσης και ο δέκτης να είναι στο κινητό. Ο μετατροπέας σειριακού σε παράλληλο παίρνει στη συνέχεια μια ομάδα συμβόλων και αναμιγνύει κάθε σύμβολο με μια από τις υπό-φέρουσες ρυθμίζοντας το πλάτος και τη φάση του. Το LTE χρησιμοποιεί μια σταθερή απόσταση υπό-φέρουσας των 15 kHz, έτσι η διάρκεια συμβόλου είναι το αντίστροφο της απόστασης υπό-φέρουσας, έτσι είναι περίπου 66.7 μ s. Τώρα έχουμε N κύματα ημιτόνου στις N συχνότητες. Προσθέτοντας αυτά τα κύματα ημιτόνου μαζί, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια ενιαία κυματομορφή στο πεδίο του χρόνου, το οποίο είναι μια χαμηλή αναπαράσταση συχνότητας του σήματος που χρειάζεται να στείλουμε.

Το συνολικό σήμα που θα προκύψει σε χρόνο 66.7 θα επεκταθεί χρονικά με το Cyclic Prefix στα 71.35 μ s. Κατά το σειριακό σε παράλληλο στάδιο μετατροπής, τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν το πλάτος και τη φάση της κάθε υπό-φέρουσας, σαν μια συνάρτηση της συχνότητας. Μετά το στάδιο προσθήκης προς το τέλος, τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τις «σε φάση» και σε τετραγωνισμό συνιστώσες του μεταδιδόμενου σήματος, σαν μια συνάρτηση του χρόνου. Μπορούμε να δούμε ότι τα στάδια ανάμιξης και προσθήκης έχουν απλά μετατρέψει τα δεδομένα από μια συνάρτηση συχνότητας σε μία συνάρτηση χρόνου. Αυτή η μετατροπή είναι πράγματι μια πασίγνωστη υπολογιστική τεχνική που ονομάζεται αντίστροφος διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT).

Ο μετασχηματισμός Fourier μετατρέπει τα δεδομένα από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο συχνοτήτων, έτσι ο πομπός απαιτεί έναν αντίστροφο μετασχηματισμό, ο οποίος διενεργεί την αντίστροφη διαδικασία). Με τη σειρά του, ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier μπορεί να υλοποιηθεί εξαιρετικά γρήγορα χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο, γνωστό ως ταχύς μετασχηματισμός Fourier (FFT). Το κινητό αντιστρέφει τη διαδικασία. Ξεκινά με δειγματοληψία του εισερχόμενου σήματος, το φιλτράρει, και το μετατρέπει κάτω από τη βάση. Στη συνέχεια περνά τα δεδομένα μέσω μιας εμπρόσθιας FFT, για να



ανακτήσει το πλάτος και τη φάση της κάθε υπό-φέρουσας. Θα υποθέσουμε τώρα ότι ο σταθμός βάσης έχει ήδη πει στο κινητό ποιες υπό-φέρουσες να χρησιμοποιήσει, μέσω των τεχνικών χρονοδιαγράμματος. Χρησιμοποιώντας αυτή τη γνώση, το κινητό επιλέγει τις απαιτούμενες υπό-φέρουσες και ανακτά τις πληροφορίες που διαβιβάζονται, ενώ απορρίπτει τις υπόλοιπες.



Σχήμα 8: Σύστημα ενός OFDM πομπού και δέκτη [4]

3.1.2 SC-FDM

Η μετάδοση πληροφορίας στο φυσικό επίπεδο της άνω ζεύξης, από την φορητή συσκευή στο σταθμό βάσης e-NodeB, γίνεται ομοίως με την κάτω ζεύξη υπό μορφή πακέτων. αλλά βασίζεται σε μία παραλλαγή της OFDM, την SC-FDM. Η SC-FDM μειώνει τις στιγμιαίες διακυμάνσεις της ισχύος που εμφανίζονται κατά τη μετάδοση OFDM, συνεπώς αποτελεί καλύτερη λύση για τα UE που χρησιμοποιούν ενισχυτές χαμηλής ισχύος. Η SC-FDM υλοποιείται αντικαθιστώντας το διαμορφωτή OFDM με έναν προ κωδικοποιητή DFT, αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform-Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η βασική διαφορά της μετάδοσης μονού φέροντος είναι ότι κάθε σύμβολο δεδομένων απλώνεται σε ολόκληρο το εύρος ζώνης αντίθετα με την OFDM όπου κάθε σύμβολο αποδίδεται σε ένα subcarrier. Απλώνοντας την ισχύ του σήματος σε όλο το εύρος ζώνης, η SC-FDM μειώνει τη μέση ισχύ εκπομπής εξασφαλίζοντας γραμμική συμπεριφορά ενισχυτή.

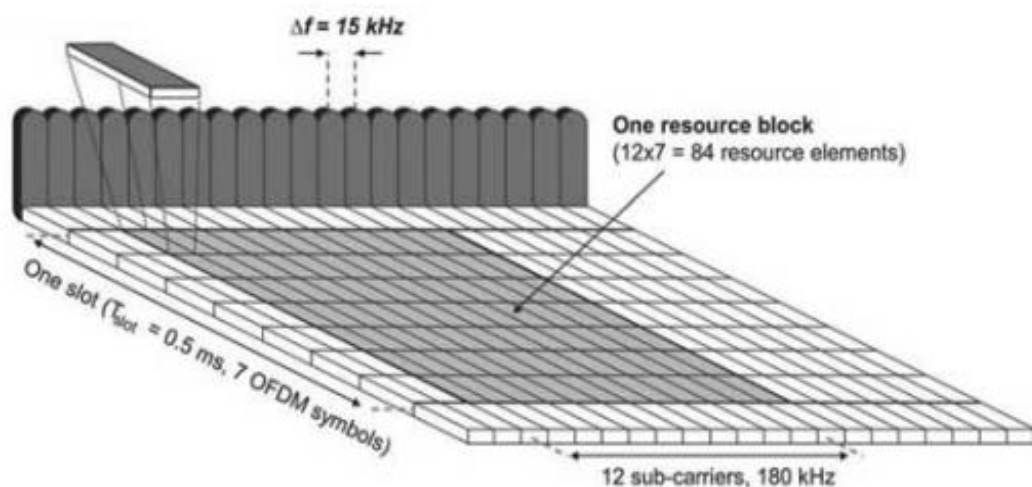


3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ OFDMA/SC-FDMA.

Σύμφωνα με τα πρότυπα 3GPP, έχει επιλεγεί ως τεχνική πολλαπλής πρόσβασης στην διεπαφή αέρος (Air Interface) για την κατερχομένη ζεύξη (Downlink-DL) η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM), ενώ για την ανερχομένη ζεύξη η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας μοναδιαίου φέροντος (Single Carrier Frequency Division Multiple Access-SC-FDMA). Και οι δυο αυτές τεχνικές πρόσβασης υποστηρίζουν ένα μεταβλητό εύρος ζώνης φέροντος (1.4MHz, 3.5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz).

3.2.1 OFDMA

Στην κάτω ζεύξη της διεπαφής αέρα στο LTE η πρόσβαση με τη χρήση της τεχνολογίας OFDM υλοποιείται σε ένα πλέγμα χρόνου - συχνότητας όπου τα φυσικά κανάλια απεικονίζονται στις υποφέρουσες (sub-carriers) πριν μεταδοθούν στον αέρα. Ο άξονας των συχνοτήτων χωρίζεται σε ομάδες των 12 υποφερουσών όπου κάθε υποφέρουσα καταλαμβάνει εύρος φάσματος 15 KHz, επι σύνολο επομένως 12 υποφέρουσες x 15 KHz εύρος φάσματος εκάστη υποφέρουσα=180 KHz. Αυτό ονομάζεται **Physical Resource Block (PRB)**.



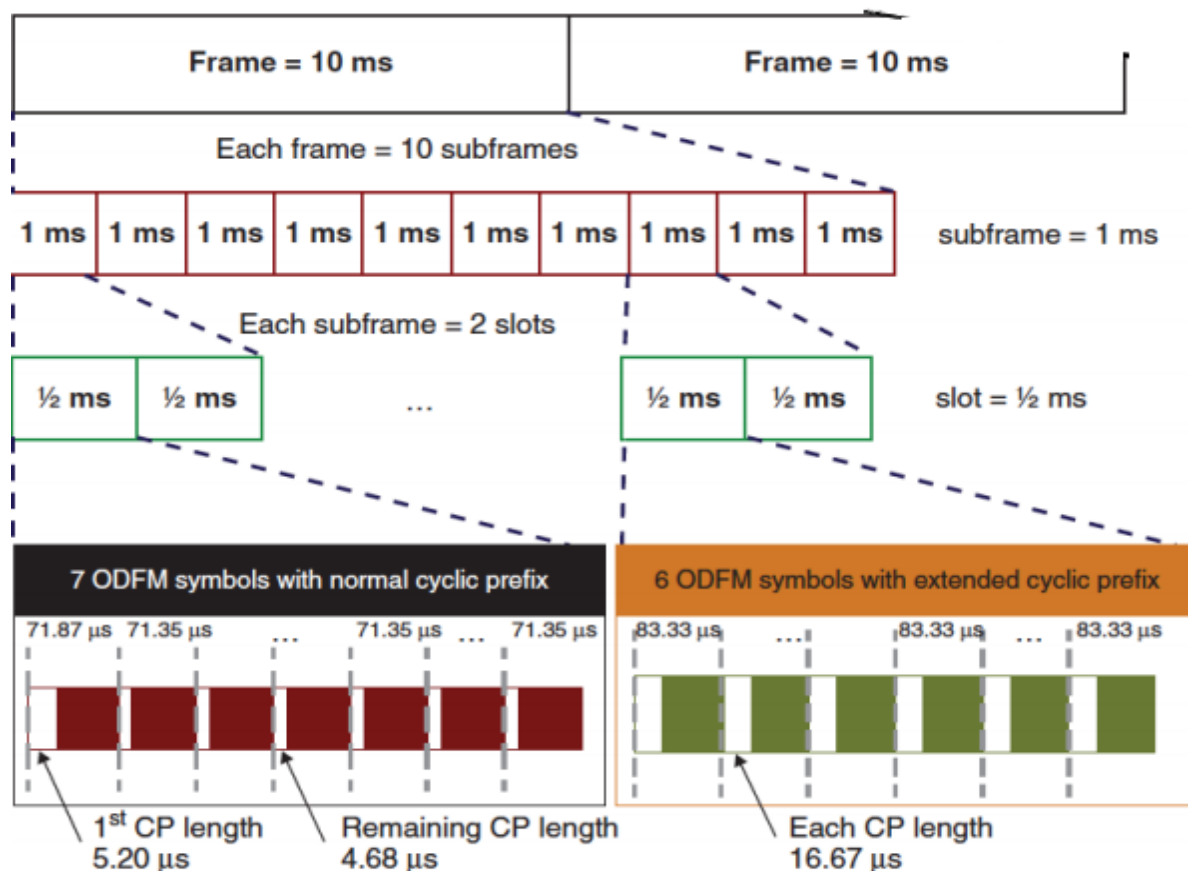
Σχήμα 9: Δομικά στοιχεία OFDM πλαισίου χρόνου – συχνότητας[5]

Στο πεδίο του χρόνου, το LTE οργανώνει τη μετάδοση σε πλαίσια μεγέθους 10 ms, κάθε πλαίσιο υποδιαιρείται σε 10 υπό-πλαίσια μεγέθους 1 ms και κάθε υπό-πλαίσιο αποτελείται από δύο θυρίδες μεγέθους 0.5 ms όπου κάθε θυρίδα αποτελεί από έναν αριθμό συμβόλων OFDM, είτε 7 είτε 6 ανάλογα με το κυκλικό πρόθεμα που επιλέγεται(σχήμα 9)[4]. Η δομή ενός εκ των 12 sub-carriers με ευρος φασματος 15 KHz, απεικονιζόμενο σε χρονικό διαστημα 66,7 μs(0.5/7) ονομάζεται **Resource Element** και απεικονίζει την μονάδα πληροφορίας (αριθμο από bits αναλογα με την διαμορφωση). Μετά την κωδικοποίηση και τη διαμόρφωση, μία μετασχηματισμένη εκδοχή του μιγαδικού διαμορφωμένου σήματος, το στοιχείο φυσικού πόρου (physical Resource Element - RE) αντιστοιχίζεται σε ένα σύστημα συντεταγμένων χρόνου- συχνότητας στο πλαίσιο πόρων (Resource Grid - RG). Το RG έχει το χρόνο στον άξονα x και τη συχνότητα στον άξονα y, η x συντεταγμένη ενός RE υποδεικνύει το σύμβολο OFDM στο



οποίο ανήκει, η y συντεταγμένη υποδεικνύει τον OFDM subcarrier στον οποίο ανήκει, Επομένως ένα RB καθορίζεται ως το σύνολο των RE που αντιστοιχούν σε 12 subcarrier ή σε 180 kHz στο πεδίο της συχνότητας και μίας θυρίδας 0.5 ms στο πεδίο του χρόνου. Τα δομικά στοιχεία ενός OFDM πλαισίου χρόνου συχνότητας φαίνεται στο Σχήμα 9.

Τέλος αναλύοντας το πεδίο του χρόνου στο πλέγμα χρόνου- συχνότητας χρειάζεται να αυξηθεί το χρονικό πλαίσιο αναφοράς από TTI=1ms στα 10ms (σχήμα 10) [5] ώστε να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε χρονική πολυπλεξία των λογικών καναλιών BCCH, P-SCH και S-SCH κατά την μετάδοση του στο downlink. Δημιουργείτε επομένως μια χρονική δομή, η οποία διαρκεί 10ms και ονομάζεται Radio Frame. Σε ένα τέτοιο Radio Frame, στο subframe #0 αποστέλλουμε το PBCH καθώς και τα δυο physical signals P-SCH και S-SCH. Το ίδιο στο subframe #5 αποστέλλουμε τα δυο physical signals P-SCH και S-SCH. Ενώ στα άλλα subframes μόνο δεδομένα χρήστη και σήματα αναφοράς.



Σχήμα 10 : ανάλυση των frames [5]

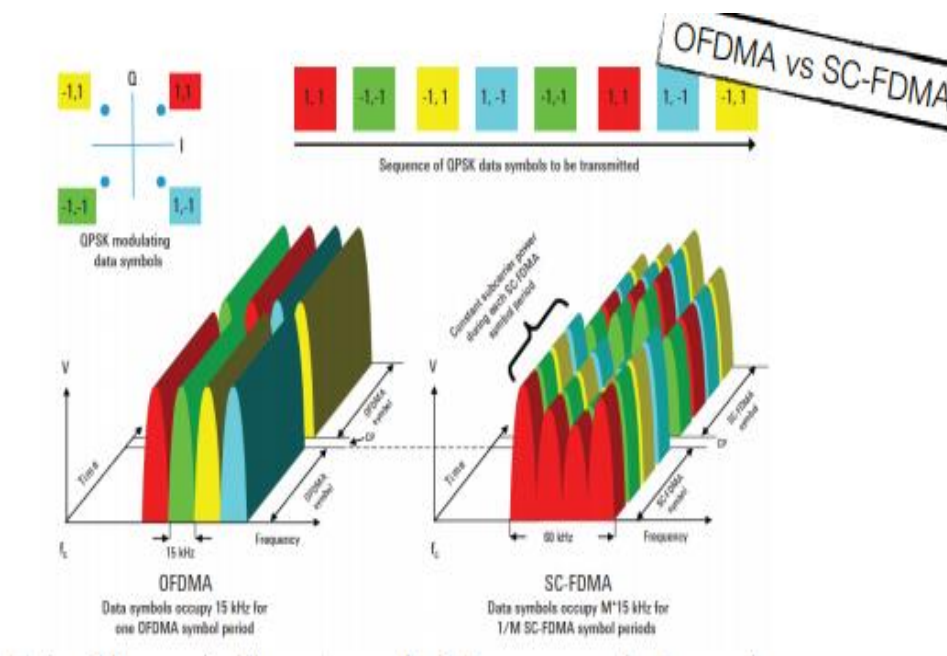


3.2.2 SC-FDMA

Στην ανερχόμενη ζεύξη το LTE βασίζεται σε μία παραλλαγή της OFDM, την SC-FDM η οποία ισχύει και για τους δυο τρόπους λειτουργίας FDD και TDD. Η SC-FDM υλοποιείται αντικαθιστώντας το διαμορφωτή OFDM με έναν προ κωδικοποιητή DFT, αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως DFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform-Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Η βασική διαφορά της μετάδοσης μονού φέροντος είναι ότι κάθε σύμβολο δεδομένων απλώνεται σε ολόκληρο το εύρος ζώνης αντίθετα με την OFDM όπου κάθε σύμβολο αποδίδεται σε ένα subcarrier. Απλώνοντας την ισχύ του σήματος σε όλο το εύρος ζώνης, η SC-FDM μειώνει τη μέση ισχύ εκπομπής εξασφαλίζοντας γραμμική συμπεριφορά ενισχυτή. Η SC-FDM παρέχει τα ίδια πλεονεκτήματα με την OFDM όπως

- διατήρηση ορθογωνιότητας χρηστών στην UL,
- ανάκτηση δεδομένων χρησιμοποιώντας ισοστάθμιση στο πεδίο της συχνότητας και
- καταπολέμηση των πολυδιαδρομικών διαλείψεων

Ωστόσο, η απόδοση της μετάδοσης SC-FDM είναι συνήθως υποδεέστερη της OFDM. Οι διαφορές των δυο αυτών τεχνολογιών φανερώνεται στο σχήμα 11[5]



Σχήμα 11 : διαφορές μεταξύ OFDMA και SC-FDMA[5]

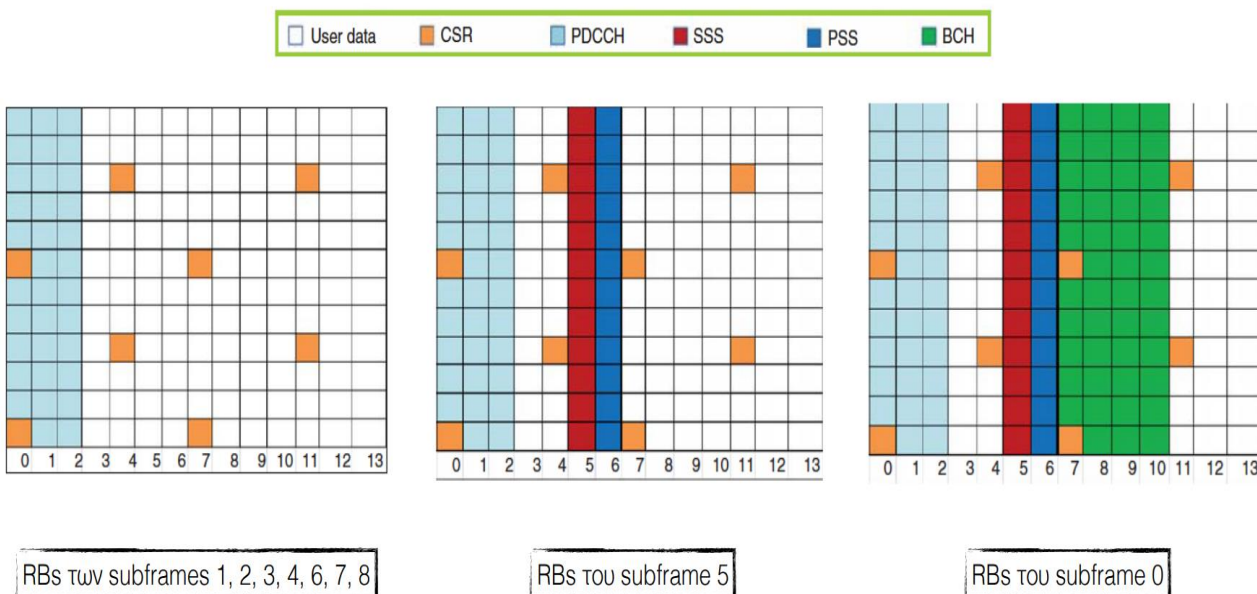


3.2.3 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΠΛΑΓΜΑΤΟΣ ΠΟΡΩΝ

Στο κεφάλαιο 3.2.1 εξηγήθηκε σαφώς η χρονική δομή η οποία διαρκεί 10ms και ονομάζεται Radio Frame. Επομένως σε ένα τέτοιο Radio Frame των δέκα διαδοχικών subframes υπάρχουν εν γένει τριών ειδών subframes όπως φαίνεται στο σχήμα 12 [6]:

- **To lowest data rate subframe #0** το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων χρήστη(κανάλι PDSCH),την μετάδοση των σημάτων ελέγχου, την μετάδοση των σημάτων αναφοράς , την μετάδοση των φυσικών σημάτων Primary Synchronization Signal (PSS) και secondary Synchronization Signal (SSS) και την μετάδοση της πληροφορίας του καναλιού BCCH.
- **To medium data rate subframe #5:** το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων χρήστη(κανάλι PDSCH),την μετάδοση των σημάτων ελέγχου, την επαναληπτική μετάδοση των σημάτων αναφοράς , και την μετάδοση των φυσικών σημάτων Primary Synchronization Signal (PSS) και secondary Synchronization Signal(SSS)
- **Τα high data rate subframes (#1-4,#6-9):** το οποίο χρησιμοποιείται για την μετάδοση δεδομένων χρήστη(κανάλι PDSCH),την μετάδοση των σημάτων ελέγχου και την μετάδοση των σημάτων αναφοράς.

Ακολουθεί ξεχωριστή ανάλυση για όλα τα σήματα που περιέχονται στα 10 Subframes



Σχήμα 12 : δομή πλαισίου [6]



3.2.3.1 ΣΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

3.2.3.1.1 ΣΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΖΕΥΞΗ-DOWNLINK REFERENCE SIGNALS

Τα σήματα αναφοράς στην κάτω ζεύξη αποτελούνται από τα αποκαλούμενα σύμβολα αναφοράς (reference symbols) τα οποία τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις στο πλαίσιο χρόνου- συχνότητας του OFDM. Αυτά τα σήματα αναφοράς χρησιμοποιούνται από την φορητή συσκευή στην λήψη στην κάτω ζεύξη για τις διαδικασίες μέτρησης οντάς σε σύνδεση (connected mode μέτρηση ισχύς σήματος λήψης RSRP καθώς και ποιότητας επικοινωνίας RSRQ), για μετρήσεις ισχύος και ποιότητας σε κατάσταση αδρανής (idle mode), για μετρήσεις και αποφάσεις handovers, για διαδικασίες σύμφωνης αποδιαμόρφωσης της πληροφορίας και τέλος για την εκτίμηση της ποιότητας του καναλιού επικοινωνίας (Channel Quality Estimation). Ειδικά η εκτίμηση καναλιού υπολογίζεται στην φορητή συσκευή και αποστέλλεται ως αναφορά μέτρησης (Channel Quality Index-CQI) από την φορητή συσκευή στο uplink ώστε να χρησιμοποιηθεί από τον MAC scheduler και την μονάδα Link Adaption του eNodeB στην απόφαση scheduling. Τα 3GPP πρότυπα έχουν προκαθορίσει τα σήματα αναφοράς να ονομάζονται και cell specific reference signals. Αυτές οι ακολουθίες των cell specific reference signals είναι ακολουθίες gold με μήκος 31 bits. Ο μέγιστος αριθμός σε κάθε Slot είναι τέσσερα ή οκτώ συνολικά σε ένα Subframe χρονικής διάρκειας 1ms. Κάθε κυψέλη στο δίκτυο LTE έχει μια μοναδική ταυτότητα η οποία το διαφοροποιεί από τις γειτονικές κυψέλες. Αυτή η ταυτότητα ονομάζεται Physical Cell ID-PCI. Κάθε κυψέλη έχει τη δική του μοναδική ακολουθία σημάτων αναφοράς και λέγονται (cell-specific reference signals)

3.2.3.1.2 ΣΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΩ ΖΕΥΞΗ-UPLINK REFERENCE SIGNALS

Τα σήματα αναφοράς στην άνω ζεύξη αποτελούνται από δυο διαφορετικές κατηγορίες. Τα uplink Reference Signals και τα Sounding Reference Signals.

3.2.3.1.2.1 UPLINK REFERENCE SIGNALS

Αυτά τα σήματα αναφοράς χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του ράδιο-καναλιού στην άνω ζεύξη. Εκπέμπονται από κάθε συσκευή στην άνω ζεύξη όταν στέλνει δεδομένα (uplink user data). Χρονικά εκπέμπονται στο τέταρτο DFTS-OFDM block κάθε χρονοθυρίδας (slot) διάρκειας 0,5 ms ενός subframe του 1 ms. Τα σήματα αναφοράς Uplink reference signals χρησιμοποιούνται από τον αλγόριθμο Link Adaption του MAC επιπέδου με απώτερο σκοπό την εκτίμηση της ράδιο ζεύξης της διασυνδεδεμένης συσκευής κατά την μετάδοση δεδομένων στην άνω ζεύξη, την επιλογή του συνδυασμού διαμόρφωσης (Modulation scheme QPSK, 16 QAM, 64 QAM), την επιλογή της % κωδικοποίησης των δεδομένων (Turbo coding).

3.2.3.1.2.2 SOUNDING REFERENCE SIGNALS

Τα σήματα Sounding Reference Signals-SRS χρησιμοποιούνται από το δίκτυο LTE (από τον uplink MAC scheduler) ώστε να μπορέσει ο uplink MAC scheduler να εκτιμήσει την ποιότητα της ράδιο ζεύξης κάθε συνδεδεμένης συσκευής σε όλο το διαθέσιμο ράδιο φάσμα της κυψέλης ώστε να αποδώσει πόρους σε συγκεκριμένες συσκευές να βελτιστοποιήσει την απόδοση του διαδικτύου αποδίδοντας τα αντίστοιχα PRB's ανά συσκευή όπου έχουν την καλύτερη εκτιμωμένη στάθμη λήψης και τέλος να μπορέσει το e-NodeB να εκτιμήσει την χρονική απόκλιση από το χρονισμό του πλαισίου εκπομπής στη διεπαφή αέρα.



3.2.3.2 ΣΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ-ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ L1/L2 ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Ο MAC Scheduler για το Uplink & Downlink, βρίσκεται στο eNodeB με συνέπεια οι συνδεδεμένες φορητές συσκευές να μην γνωρίζουν ποτέ οφείλουν να εκπέμπουν στο uplink-λάβουν στο downlink δεδομένα, σε ποια PRB's και με ποιο Transport Block size. Τα κανάλια σηματοδοσίας πρώτου και δευτέρου επιπέδου επιτελούν αυτό ακριβώς το σκοπούν ενημερώνουν δηλαδή τα συνδεδεμένα τερματικά σχετικά με τον τρόπο μετάδοσης πληροφορίας. Τα φυσικά κανάλια σηματοδοσίας πρώτου και δευτέρου επιπέδου αναφέρονται στον πίνακα 2[6].

Πίνακας 2: Φυσικά κανάλια Ελέγχου

Downlink physical channel	Function
Physical Downlink Control Channel (PDCCH)	Downlink Control Information (DCI)
Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel (PHICH)	HARQ Indicator (HI) and ACK/NACKs for the uplink packets
Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)	Control Format Information (CFI) containing information necessary to decode PDCCH information

Τα σήματα ελέγχου - σηματοδοσίας L1/L2 επιπέδου μπορούν να καταλάβουν μέχρι τα πρώτα τέσσερα OFDM σύμβολα σε κάθε Scheduler Block(SB).Ο ακριβής αριθμός δεσμευμένων OFDM συμβολών εξαρτάται από το channel bandwidth, όπως φαίνεται στον πίνακα 3[6].

Πίνακας 3 :αριθμός OFDM συμβολών ανάλογα με το εύρος καναλιού

Channel Bandwidth[MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Number of OFDM Symbols L1/12 controlling signaling	4	3	3	2	2	1



3.2.3.3 ΣΗΜΑΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΥ

Τα σήματα συγχρονισμού διακρίνονται σε Primary Synchronization Signal (P-SS) και secondary Synchronization Signal (S-SS) σήματα. Τα P-SS και S-SS χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία της ανεύρεσης κυψέλης όταν φορητές συσκευές βρίσκονται σε διαδικασία idle mode και προσπαθούν να διαβάσουν τις παραμέτρους μιας κυψέλης. Η φορητή συσκευή θα σαρώσει (RF scanning) διαδοχικά όλο το φάσμα του δικτύου LTE (σχήμα 13) στην περιοχή που ενεργοποιείται και θα εντοπίσει τα ισχυρότερα Downlink RS σήματα, κατατάσσοντάς τα σήματα αυτά σε έναν αξιόλογο πίνακα βάσει της ισχύος λήψης. Θα προσπαθήσει αρχικά να διαβάσει αρχικά το P-SS της ισχυρότερης κυψέλης. Το βασικό πρόβλημα είναι ότι εφόσον δεν έχει συγχρονιστεί ακόμα δεν γνωρίζει την χρονική δομή του Radio Frame ούτε την χρονική δομή του κάθε sub-frame. Το P-SS χρησιμοποιείται από τη φορητή συσκευή για την εύρεση του time-offset του Radio Frame 10 ms. Επί της ουσίας δεν δίδει καμία πληροφορία έναρξης ή λήξης του Radio Frame. Εφόσον όμως επαναλαμβάνεται εις διπλούν στην χρονική διάρκεια ενός Radio Frame δίδει τη σχετική time-offset 5ms στο Radio Frame. Εντούτοις, αν και η Φορητή συσκευή με τη χρήση του P-SS έχει καταφέρει να εντοπίσει το time-offset 5ms του Radio Frame 10ms, δεν μπορεί να ξεχωρίσει ακόμη αν είναι το πρώτο (sub-frame #0) ή το δεύτερο (sub-frame #5) subframe του 10ms radio frame. Αυτό καλείται και χρονική ασάφεια αντιστάθμισης 5ms (time offset ambiguity 5ms). Αυτό θα λυθεί ακολουθώντας με τη χρήση του S-SS.

- Το P-SS έχει καθοριστεί ότι θα βρίσκεται στο πρώτο subframe εκ των δέκα subframes του Radio Frame και συγκεκριμένα στο έβδομο εκ των επτά συνολικών OFDM symbols. Επαναλαμβάνεται στο έκτο subframes εκ των δέκα subframes του Radio Frame και συγκεκριμένα στο έβδομο εκ των επτά συνολικών OFDM symbols.
- Το S-SS έχει καθοριστεί ότι θα βρίσκεται στο πρώτο subframe εκ των δέκα subframes του Radio Frame και συγκεκριμένα στο έκτο εκ των επτά συνολικών OFDM symbols. Επαναλαμβάνεται στο έκτο subframes εκ των δέκα subframes του Radio Frame και συγκεκριμένα στο έκτο εκ των επτά συνολικών OFDM symbols.

Στο πεδίο συχνοτήτων, ο σταθμός βάσης αντιστοιχεί τα σήματα συγχρονισμού στις κεντρικές 62 υπό-φέρουσες, και παραγεμίζει το προκύπτουν σήμα με μηδενικά έτσι ώστε να καταλαμβάνει τις κεντρικές 72 υπό-φέρουσες (1.08 MHz). Αυτό το δεύτερο εύρος ζώνης είναι η μικρότερη ζώνη μετάδοσης που υποστηρίζει το LTE, η οποία εξασφαλίζει ότι το κινητό μπορεί να λάβει δύο σήματα χωρίς προηγούμενη γνώση του εύρους ζώνης κάτω ζεύξης.



3.2.3.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ

Το κινητό ξεκινάει λαμβάνοντας τα σήματα συγχρονισμού από όλες τις κοντινές κυψέλες. Από το PSS, βρίσκει το χρονοδιάγραμμα συμβόλου και παίρνει κάποιες ελλειπείς πληροφορίες σχετικά με τη φυσική ταυτότητα της κυψέλης. Από το SSS, βρίσκει το χρονοδιάγραμμα πλαισίου, τη φυσική ταυτότητα κυψέλης, τον τρόπο μμετάδοσης (FDD ή TDD) και τη διάρκεια CP (κανονική ή εκτεταμένη).

Σε αυτό το σημείο, το κινητό ξεκινάει τη λήψη RS. Αυτά παρέχουν μια αναφορά πλάτους και φάσης για τη διαδικασία εκτίμησης καναλιού, έτσι είναι απαραίτητα για κάθε τι που ακολουθεί. Το κινητό στη συνέχεια, λαμβάνει το PBCH και διαβάζει την MIB. Με αυτόν τον τρόπο, ανακαλύπτει τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης στο σταθμό βάσης, το εύρος ζώνης κάτω ζεύξης, τον SFN και μία ποσότητα που ονομάζεται η διαμόρφωση PHICH, που περιγράφει το PHICH. Το κινητό μπορεί τώρα να ξεκινήσει τη λήψη του PCFICH, έτσι ώστε να διαβάσει τους CFIs. Αυτοί δείχνουν πόσα σύμβολα διατηρούνται κατά την έναρξη του κάθε υποπλαισίου κάτω ζεύξης για τα φυσικά κανάλια ελέγχου, και πόσα είναι διαθέσιμα για μετάδοση δεδομένων. Τέλος, το κινητό μπορεί να ξεκινήσει τη λήψη του PDCCH. Αυτό επιτρέπει στο κινητό να διαβάσει τις υπόλοιπες SIBs, οι οποίες αποστέλλονται στο PDSCH. Με τον τρόπο αυτό, ανακαλύπτει όλες τις υπόλοιπες λεπτομέρειες σχετικά με το πώς έχει ρυθμιστεί η κυψέλη, όπως οι ταυτότητες των δικτύων που ανήκει.

Operating band index	Uplink (UL) operating band frequency range (MHz)	Downlink (DL) operating band frequency range (MHz)	Duplex mode	Operating band index	Uplink and downlink operating band frequency range (MHz)	Duplex mode
1	1920–1980	2110–2170	FDD	13	777–787	746–756 FDD
2	1850–1910	1930–1990	FDD	14	788–798	758–768 FDD
3	1710–1785	1805–1880	FDD	15	Reserved	Reserved FDD
4	1710–1755	2110–2155	FDD	16	Reserved	Reserved FDD
5	824–849	869–894	FDD	17	704–716	734–746 FDD
6	830–840	875–885	FDD	18	815–830	860–875 FDD
7	2500–2570	2620–2690	FDD	19	830–845	875–890 FDD
8	880–915	925–960	FDD	20	832–862	791–821 FDD
9	1749.9–1784.9	1844.9–1879.9	FDD	21	1447.9–1462.9	1495.9–1510.9 FDD
10	1710–1770	2110–2170	FDD	22	3410–3490	3510–3590 FDD
11	1427.9–1447.9	1475.9–1495.9	FDD	23	2000–2020	2180–2200 FDD
12	699–716	729–746	FDD	24	1626.5–1660.5	1525–1559 FDD
				25	1850–1915	1930–1995 FDD
				33	1900–1920	TDD
				34	2010–2025	TDD
				35	1850–1910	TDD
				36	1930–1990	TDD
				37	1910–1930	TDD
				38	2570–2620	TDD
				39	1880–1920	TDD
				40	2300–2400	TDD
				41	2496–2690	TDD
				42	3400–3600	TDD
				43	3600–3800	TDD

Σχήμα 13 : Ζώνες συχνότητας [6]



3.2.3.4 ΣΗΜΑΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Παρατηρώντας το σχήμα 5 αντιλαμβανόμαστε ότι το MAC κανάλι DL-DCH είναι το κανάλι στο οποίο απεικονίζονται πολλά λογικά κανάλια. Είναι ένα από τα βασικότερα κανάλια διότι διαμοιράζεται μεταξύ λογικών πληροφοριών υπηρεσιών του χρήστη (data Info from DCCH),σηματοδοσία του τρίτου επιπέδου OSI, σηματοδοσία κοινού καναλιού (CCCH) και άλλα πολλά. Επομένως το DL-SCH κανάλι θα πρέπει να απεικονιστεί σε ένα φυσικό κανάλι PDSCH το οποίο και απεικονίζεται σε πληθώρα φυσικών ράδιο πόρων PRB's, τα οποία θα αποδοθούν από τον MAC Scheduler εν τελεί στο πλαίσιο χρόνου φάσματος, εφόσον σε κάθε χρονική στιγμή του 1ms ο scheduler αποδίδει ράδιο πόρους σε πολλούς ταυτόχρονα χρήστες. Εν γένει σύμφωνα με τα πρωτοκολλά και τα πρότυπα της 3GPP, κάθε DL-SCH transport block θα πρέπει να περάσει διαφορά στάδια επεξεργασίας πριν απεικονιστεί στο φυσικό κανάλι PDSCH. Τα στάδια είναι τα ακόλουθα:

CRC Insertion

Στο στάδιο αυτό γίνεται ο υπολογισμός του 24-bit CRC κώδικα για την εύρεση σφαλμάτων στη λήψη του πακέτου.

Channel Coding

Χρησιμοποιούνται 1/3 Turbo codes μαζί με ενσωματωμένο interleaver. Ο interleaver μεταθέτει τα bit εισόδου και καθορίζει το μέγεθος του κώδικα. Οι κώδικες αυτή σπανέ το DL-SCH σε τρία code blocks και προσφέρουν πολύ καλή προστασία των DL-SCH transport block λόγω υψηλών δυνατοτήτων και επιδόσεων διόρθωσης σφαλμάτων στην λήψη. Οι Turbo κώδικες θα περιγράψουν στο επόμενο κεφαλαίο αναλυτικά.

Bit Scrambling

Σε αυτό το στάδιο θα εφαρμοστεί τεχνική Scrambling στο ληφθέν πακέτο από το προηγούμενο στάδιο. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική το DL-SCH code block θα περάσει από μια X-OR λογική πράξη με ένα επιλεγμένο scramble code μοναδικό για κάθε γειτονική κυψέλη. Με αυτό τον τρόπο μειώνουμε την παρεμβολή γειτονικής κυψέλης (Inter-Cell Interference-ICI).

Data Modulation

Εδώ γίνεται η επιλογή της διαμόρφωσης (QPSK,16 QAM,64-QAM) σε συνδυασμό με την επιλογή του code block interleaving & parity selection από την δομική λειτουργική του Link Adaption.

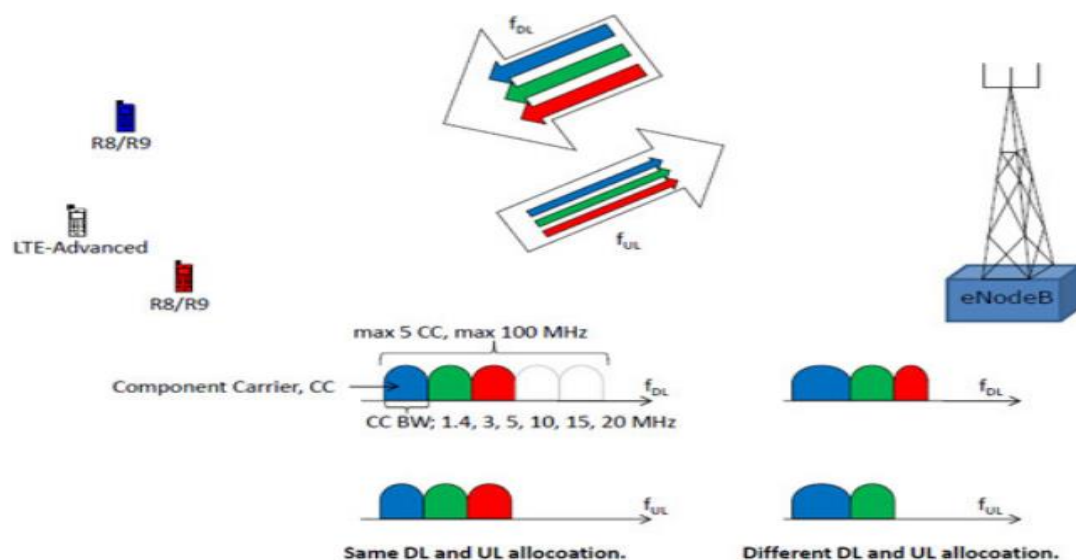
Resource -block mapping

Τέλος τα δημιουργημένα πακέτα πληροφορίας DL-SCH code block θα απεικονιστούν σε φυσικά κανάλια PDSCH.



3.3 CARRIER AGGREGATION

Η συνάθροιση φορέων (Carrier aggregation) χρησιμοποιείται σε LTE-Advanced προκειμένου να αυξηθεί το εύρος ζώνης, και έτσι με βάση αυτό να αυξάνεται και το bitrate. Δεδομένου ότι είναι σημαντικό να διατηρηθεί η συμβατότητα με τα R8 και R9 UEs η συνάθροιση φορέων βασίζεται σε φορείς R8 / R9. Η συνάθροιση φορέων μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για FDD όσο και για TDD. Κάθε φορέας αναφέρεται ως στοιχειώδης φορέας (Component Carrier-CC). Ο στοιχειώδης φορέας μπορεί να έχει εύρος ζώνης 1.4, 3, 5, 10, 15 ή 20 MHz, επί προσθετός μπορούν να συγκεντρωθούν κατ' ανώτατο όριο έως πέντε στοιχειώδης φορείς, οπότε το μέγιστο συνολικό εύρος ζώνης είναι 100 MHz. Στο FDD ο αριθμός των συνυποχρηζόμενων στοιχειωδών φορέων μπορεί να είναι διαφορετικός στην ανερχόμενη ζεύξη από την κατερχόμενη ζεύξη όπως φαίνεται στο σχήμα 14[24].



Σχήμα 14 : Παράδειγμα όπου χρησιμοποιείται FDD [24].

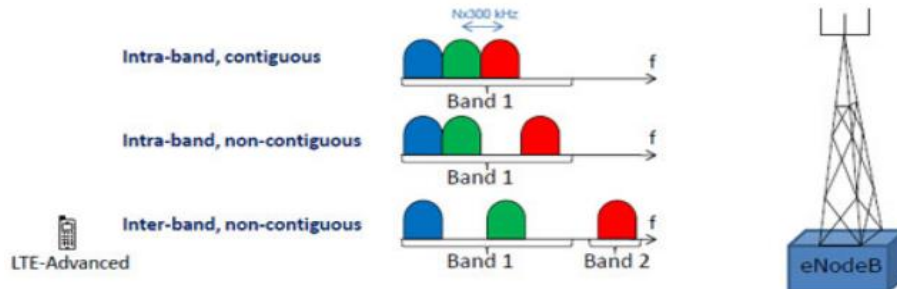
Ωστόσο, ο αριθμός των στοιχειωδών φορέων στην ανερχόμενη ζεύξη είναι πάντα ίσος ή μικρότερος από τον αριθμό των φορέων συνιστωσών στην κατερχόμενη. Αυτό μπορεί να μην είναι πάντοτε δυνατόν, λόγω των σεναρίων κατανομής συχνότητας. Το LTE υποστηρίζει τρεις τρόπους συνδυασμού στοιχειωδών φορέων. Ο πρώτος αφορά το συνδυασμό διαδοχικών στοιχειωδών φορέων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (intra-band contiguous). Ο δεύτερος επιτρέπει το συνδυασμό μη διαδοχικών στοιχειωδών φορέων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (intra-band, non-contiguous). Τέλος, ο τρίτος υποστηρίζει το συνδυασμό στοιχειωδών φορέων που βρίσκονται σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (inter-band, non-contiguous), όπως φαίνεται στο σχήμα 15 [24]



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

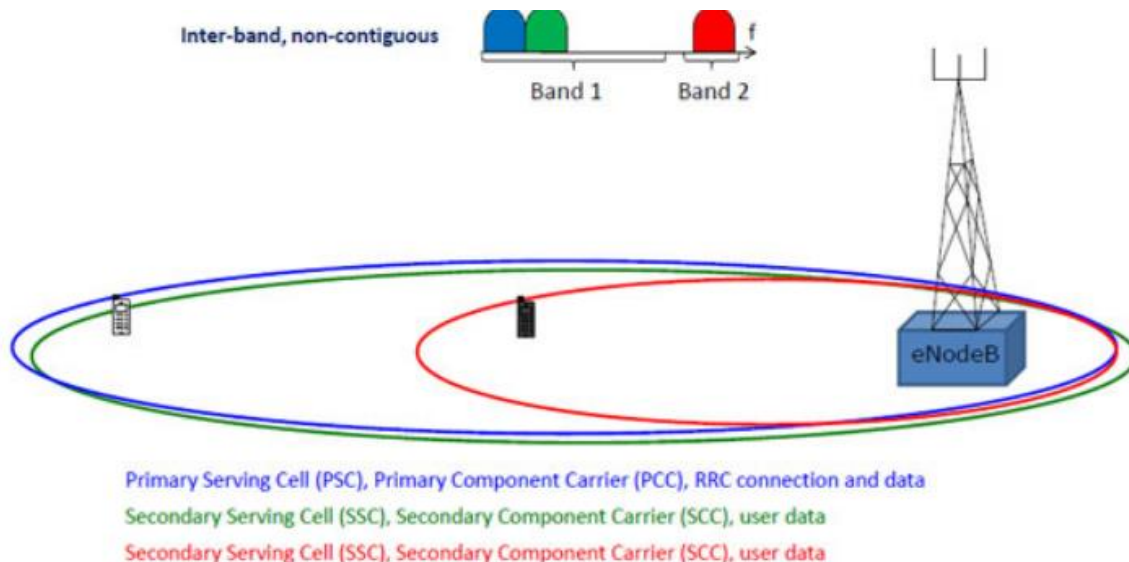
Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης



Σχήμα 15: Οι τρεις κατηγορίες των στοιχειωδών φορέων ανά ζώνη συχνοτήτων [24]

Όταν χρησιμοποιείται συνάθροιση φορέων δημιουργούνται ορισμένες κυψέλες που εξυπηρετούν, ένα για κάθε στοιχειώδη φορέα. Η κάλυψη των κυψελών που εξυπηρετούν μπορεί να διαφέρει, εξαιτίας των στοιχειωδών φορέων που ανήκουν σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων θα βιώσουν διαφορετική διαδρομή, βλ. σχήμα 15 [24]. Η σύνδεση RRC διαχειρίζεται μόνο από μια κυψέλη, η κύρια Κυψέλη η οποία ονομάζεται Primary Serving Cell, όπου εξυπηρετεί μέσω του Primary component carrier (DL and UL PCC). Στην κατερχομένη ζεύξη, ο UE λαμβάνει τα σήματα ελέγχου μόνο από τον Primary component carrier, ενώ τα σήματα δεδομένων μπορεί να τα λαμβάνει ανάλογα από την θέση του και από τους άλλους στοιχειώδη φορείς. Όλοι οι άλλοι στοιχειώδη φορείς αναφέρονται ως του Secondary component carrier (DL και UL SCC), που εξυπηρετούν τις δευτερεύουσες κυψέλες που και αυτές με την σειρά τους εξυπηρετούν τα UEs, όπως φαίνεται στο σχήμα 16 [24]. Τα SCC προστίθενται και αφαιρούνται όπως απαιτείται, ενώ το PCC αλλάζει μόνο κατά την διαπομπή.



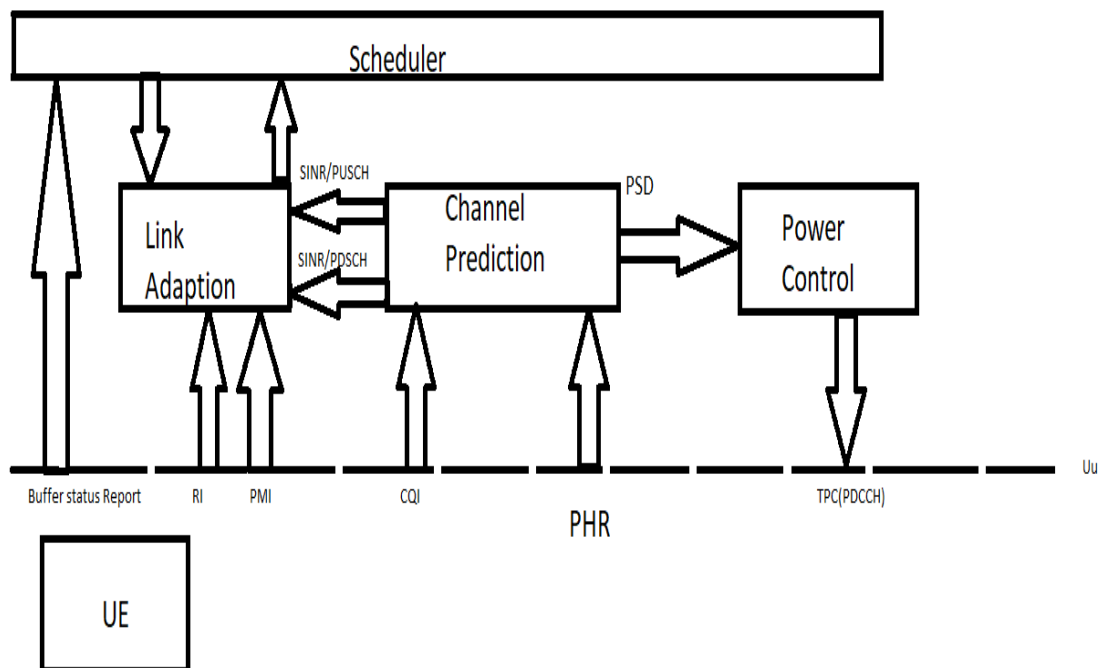
Σχήμα 16: Συνδυασμός στοιχειωδών φορέων ανά ζώνη συχνοτήτων [24]



Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 16 [24] η συνάθροιση φορέων και στους τρεις υπό- φορείς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για το μαύρο UE, το λευκό UE δεν βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης του κόκκινου υπό- φορέα. Σημειώνετε ότι για τους UE που χρησιμοποιούν το ίδιο σύνολο CC, μπορούν να έχουν διαφορετικό PCC.

3.4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΝΑΛΙ

Για να λειτουργήσει σωστά ο MAC Scheduler πρέπει να αλληλεπιδράσει με τα ακόλουθα τρία δομικά μέρη του eNodeB: τη μονάδα Link Adaption (LA), τη μονάδα Channel Prediction (CP) και τη μονάδα Power Control (PC). Η Μονάδα **Scheduler** είναι υπεύθυνη για τη λήψη αποφάσεων Scheduling και την απόδοση του αριθμού των ραδιο πόρων ανά χρήστη σε κάθε ένα Subframe (1ms). Η Μονάδα **Channel Prediction** είναι υπεύθυνη για την εκτίμηση του καναλιού μετάδοσης στο uplink και στο downlink ώστε να εφοδιάσει με την εκτιμωμένη τιμή SINR τη μονάδα Link Adaption καθώς και την εκτίμηση του power spectrum density (PSD) η οποία και αποστέλλεται στη μονάδα Power Control. Η Μονάδα **Link Adaption** είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση της κατάλληλης διαμόρφωσης και κωδικοποίησης στα δεδομένα του MAC transport channel DL-SCH (Modulation & Coding Scheme MSC), για την απόφαση σχετικά με τον αριθμό των Layers και το rank του Precoder Matrix στην ενδεχομένη υλοποίηση μετάδοσης μέσω spatial multiplexing-MIMO 2x2 ή 4x4 και στην επιλογή των παραμέτρων για την υλοποίηση της HARQ λύσης για την διόρθωση – αναμετάδοση εσφαλμένων πακέτων. Τέλος η μονάδα **Power Control** είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση της λειτουργίας ελέγχου ισχύος του καναλιού PUSCH η οποία και αποστέλλεται στη φορητή συσκευή μέσω του καναλιού PDCCH στο downlink. Στο σχήμα 17 παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση.



Σχήμα 17: Αλληλεπίδραση μονάδων Scheduler, Link Adaption & Power Control



3.4.1 DOWNLINK

Στο Downlink η φορητή συσκευή UE λαμβάνει δεδομένα στο κανάλι PDSCH σε συνάρτηση με το κανάλι PDCCH. Για να γίνει η επιλογή του Scheduling των συνδεδεμένων συσκευών και της πληροφορίας στο downlink στο επόμενο sub-frame των 1ms, πρέπει ο σταθμός βάσης eNodeB να λάβει δυο σημαντικές πληροφορίες:

3.4.1.1 Buffer Status Report (BSR)

Η πρώτη πληροφορία είναι η Buffer Status Report μαζί με ένα αίτημα Scheduling request η οποία και δηλώνει στο scheduler ότι η φορητή συσκευή έχει υπερβεί ένα όριο χωρητικότητας στον Buffer και θα πρέπει να της αποδοθούν άμεσα πόροι (Scheduling blocks SB).

3.4.1.2 Channel Feedback Report (CFR)

Η Δεύτερη πληροφορία αφορά μια αναφορά η οποία έχει θεσπιστεί από την 3GPP ως Channel Feedback Report (CFR) η οποία περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους.

- Την παράμετρο **Rank Indicator** η οποία και δηλώνει μια προτίμηση της φορητής συσκευής σχετικά με το ποσά layers θα πρέπει να περιλαμβάνει η spatial multiplexing τεχνική.
- Την παράμετρο **PMI (Precoder Matrix Indicator)** η οποία δηλώνει μια προτίμηση της φορητής συσκευής σχετικά με το βαθμό του πίνακα Precoder Matrix που χρησιμοποιείται στην τεχνική spatial Multiplexing.
- Τέλος την παράμετρο **Channel Quality Index (CQI)** η οποία και υποδηλώνει την εκτίμηση της φορητής συσκευής σχετικά με την ποιότητα του καναλιού μετάδοσης στο δέκτη κατά την downlink μετάδοση

Όπως φαίνεται στο σχήμα 17 οι δυο παράμετροι PMI ,RI εισέρχονται στην μονάδα Link Adaption ως δεδομένα εισόδου για την περαιτέρω εκτίμηση και απόδοση συγκεκριμένου μεγέθους MAC transport block σε bytes. Αντιθέτως η παράμετρος CQI εισέρχεται στη μονάδα Channel Prediction όπου δηλώνει μια προτίμηση καναλιού. Οι 16 διαφορετικές τιμές αντιστοιχούσες στην ποιότητα καναλιού ,είναι προκαθορισμένες από τα πρότυπα της 3GPP.Η αντιστοίχιση των 16 τιμών CQI σε παραμέτρους του Link Adaption φαίνονται στον πίνακα 4

Πίνακας 4 :Αντιστοίχιση των 16 τιμών CQI σε παραμέτρους του LA

CQI	MODULATION	CODE-RATE X 1024	EFFICIENCY
0			
1	QPSK	78120	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758



7	16-QAM	378	1.4766
8	16-QAM	490	1.9141
9	16-QAM	616	2.4063
10	64-QAM	466567	2.7305
11	64-QAM	567	3.3223
12	64-QAM	666	3.9023
13	64-QAM	772	4.5237
14	64-QAM	873	5.1152
15	64-QAM	948	5.5547

Οι παράμετροι αντιστοίχισης της εκάστοτε τιμής του CQI σε παραμέτρους λειτουργίας της μονάδας Link Adaption είναι τρεις.

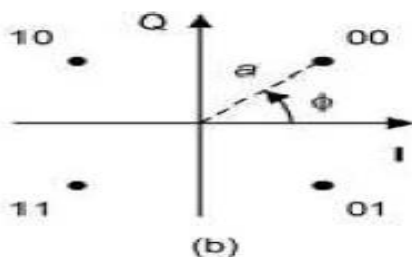
Διαμόρφωση (Modulation)

Η Διαμόρφωση προσδιορίζει την δυναμική προσαρμογή της ποιότητας του καναλιού σε διαφορετική διαμόρφωση πληροφορίας μεταξύ τριών επιλογών. Οι τρεις επιλογές είναι QPSK, 16-QAM, 64-QAM. Ένας διαμορφωτής QPSK λαμβάνει τα εισερχόμενα bits από τα παραπάνω στρωματά δυο την φορά και τα μεταδίδει χρησιμοποιώντας ένα ράδιο κύμα που μπορεί να έχει τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις. Αυτές οι τέσσερις καταστάσεις έχουν τις αντίστοιχες τέσσερις φάσεις, 45° , 135° , 225° , 315° αντίστοιχα (σχήμα 18 QPSK). Κάθε σύμβολο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας δυο άλλους αριθμούς οι οποίους υπολογίζονται ως εξής:

$$I = a * \cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = a * \sin \varphi \quad (2)$$

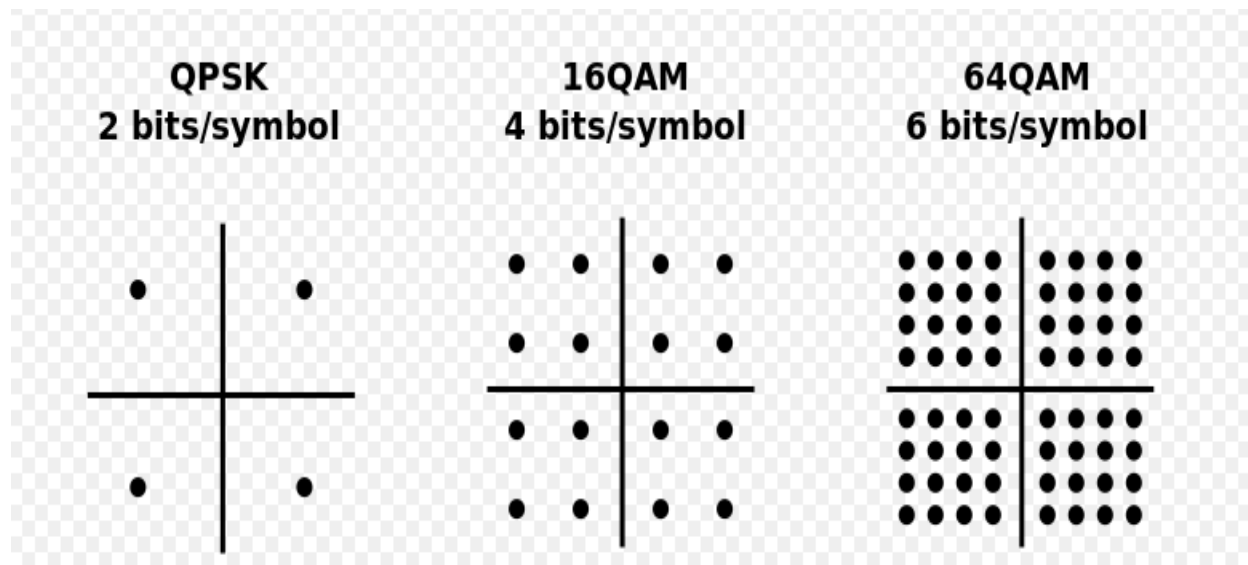
όπου a είναι το πλάτος του μεταδιδόμενου σήματος και φ είναι η φάση του.



Σχήμα 18: Διάγραμμα αστερισμού QPSK



Ο διαμορφωτής 16 Quadrature Amplitude Modulation(16-QAM) λαμβάνει τα εισερχόμενα bits από τα παραπάνω στρωματά τέσσερα την φορά και τα μεταδίδει χρησιμοποιώντας ένα ράδιο κύμα που μπορεί να έχει δεκαέξι διαφορετικές καταστάσεις που έχουν διαφορετικά πλάτη και φάση (σχήμα 19 16QAM). Παρομοίως, το 64-QAM στέλνει έξι την φορά χρησιμοποιώντας 64 διαφορετικές καταστάσεις.



Σχήμα 19 : Ψηφιακές Διαμορφώσεις Παράδειγμα: QPSK, 16QAM, 64 QAM[6]

CODE RATE

Η δεύτερη παράμετρος ονομάζεται Code Rate και προσδιορίζει το πηλίκo μεταξύ του μήκους του πακέτου δεδομένων χρήστη προς το συνολικό μήκος πακέτου δεδομένων χρήστη + δεδομένων κώδικα προστασίας σφαλμάτων (packet bit/packet bit+ redundancy). Στον πίνακα 2 το πηλίκo πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό 24 για καλύτερη παρουσίαση του πηλίκου χωρίς δεκαδικά.

EFFICIENCY

Η τρίτη παράμετρος ονομάζεται efficiency και προσδιορίζει τον αριθμό bit ανά σύμβολο. Το UE εκτιμά το CQI από την μέτρηση του $SINR_{RS}$. Από το CQI report επομένως η μονάδα Channel Prediction του σταθμού βάσης eNodeB υπολογίζει το $SINR_{PDSCH}$ και το προωθεί εν συνέχεια στην μονάδα Link Adaption του MAC Scheduler ώστε να αντιστοιχηθεί στο Modulation & Coding Scheme (MCS) του επόμενου downlink scheduled block (SB). Η επιλογή του MCS, Channel rank/spatial multiplexing και μέγεθος του MAC πακέτου(Transport Block Size, TBS) από την μονάδα Link Adaption θα υλοποιηθεί στον MAC scheduler για το επόμενο Scheduled block(SB). Επομένως τα δεδομένα στο επόμενο PDSCH θα δομηθούν με ένα αντίστοιχο Transport Format Selection (TFS). Το UE για να μπορέσει να αποκωδικοποιήσει το PDSCH στο επόμενο Downlink θα πρέπει να λάβει το επιλεχθέν MCS το οποίο ενσωματώνεται στο PDCCH. Στο PDCCH αποστέλλεται η παράμετρος MCS index, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 5. Η παράμετρος MCS index αντιστοιχεί σε ένα Modulation Order (2 σημαίνει QPSK, 4σημαινει 16-QAM και 6σημαινει 64-



QAM) και ένα μοναδικό Transport Block Size (TBS) index το οποίο με την σειρά του αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό συνδυασμό από coding Rate και αριθμό από scheduled Physical Resource Blocks (SRB).

Πίνακας 5: Αποστολή TFS ως modulation index στο downlink PDCCH για το επόμενο scheduled PDSCH Subframe.

MCS Index	Modulation Order	TBS INDEX
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	4	9
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	6	15
18	6	16
19	6	17
20	6	18
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22
25	6	23



26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	6	Reserved
30	6	Reserved
31	6	Reserved

3.4.2 UPLINK

Στο Uplink η φορητή συσκευή UE αποστέλλει τα δεδομένα του χρήστη στο κανάλι PUSCH και χρησιμοποιεί το κανάλι PUCCH για να αποστείλει όπως είδαμε τις δυο σημαντικές πληροφορίες CFR report και Buffer status report, σχήμα 17. Η ανάλυση αυτών των δυο αναφορών (reports) αφορά την επιλογή του TFS για το επόμενο downlink subframe και του αριθμού N_{RSB} των αποδιδόμενων φυσικών ράδιο πόρων PRB's από τον Mac Scheduler. Επιπλέον η φορητή συσκευή στο uplink θα αποστείλει και μια άλλη αναφορά η οποία ονομάζεται Power Headroom Report (PHR). Η αναφορά αυτή αντιπροσωπεύει στην ουσία τη διαφορά μεταξύ της μεγίστης δυνατής ισχύος εκπομπής της συσκευής $P_{UE_{max}}$ και της αποδιδόμενης από την μονάδα Power Control ισχύος εκπομπής του Scheduler Block στο Uplink στο κανάλι PUSCH, P_{PUSCH} δηλαδή

$$PHR = P_{UE_{max}} - P_{PUSCH} \quad (3)$$

Από αυτή την παράμετρο επόμενος ο Uplink MAC Scheduler υπολογίζει την ισχύ εκπομπής στο επόμενο subframe lms ως

$$P_{PUSCH} = PHR - P_{UE_{max}} \quad (4)$$

Εφόσον ξέρει βέβαια την $P_{UE_{max}}$ η οποία έχει αποσταλεί στο eNodeB κατά την διαδικασία σηματοδότησης αιτήματος διασύνδεσης RRC Connection Request. Ο Uplink MAC Scheduler υπολογίζει το Power Spectral Density PSD_{tx} από τον ακόλουθο τύπο

$$PSBP_{tx} = P_{PUSCH} / BW \quad (5)$$

Μετά εκτίμα το κέδρος του Καναλιού G και το στέλνεις στην μονάδας Power Control όπου θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της επομένης εντολής ισχύος στο Uplink. Έχοντας την συμπεριφορά του Καναλιού γίνεται εκτίμηση του $SINR_{PUSCH}$ και στέλνεται στην μονάδας Link Adaption. Εκεί θα αποφασιστεί το TFS index για το επόμενο scheduled subframe στο uplink. Δηλαδή ο MAC scheduler στο e-NodeB αποφασίζει για το συνδυασμό του TFS καθώς και τον αριθμό των Scheduler Physical Radio Blocks (PRB) και το αποστέλλει στο downlink στη φορητή συσκευή χρησιμοποιώντας το downlink κανάλι PDCCH. Η αποστολή γίνεται και πάλι με μια απεικόνιση σύμφωνη με τα πρότυπα της 3GPP, TS 36.213



οπού αποστέλλει μια τιμή MCS INDEX. Η τιμή αντίστοιχη και πάλι σε ένα modulation order (QPSK,16 QAM,64QAM) και ένα Transport Block Size Index κατά την ίδια διαδικασία με το Link Adaption του PDSCH στο Downlink.

Πίνακας 6: Αποστολή TFS ως modulation index στο downlink PDCCH για το επόμενο scheduled PUSCH Subframe στο Uplink.

MCS Index	Modulation Order	TBS INDEX
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	2	10
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	4	16
18	4	17
19	4	18
20	4	19
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

25	6	23
26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	Reserved	Reserved
30	Reserved	Reserved
31	Reserved	Reserved

Ο Uplink Scheduler αποδίδει ράδιο πόρους (PRB) με δυο διαφορετικούς αλγόριθμους:

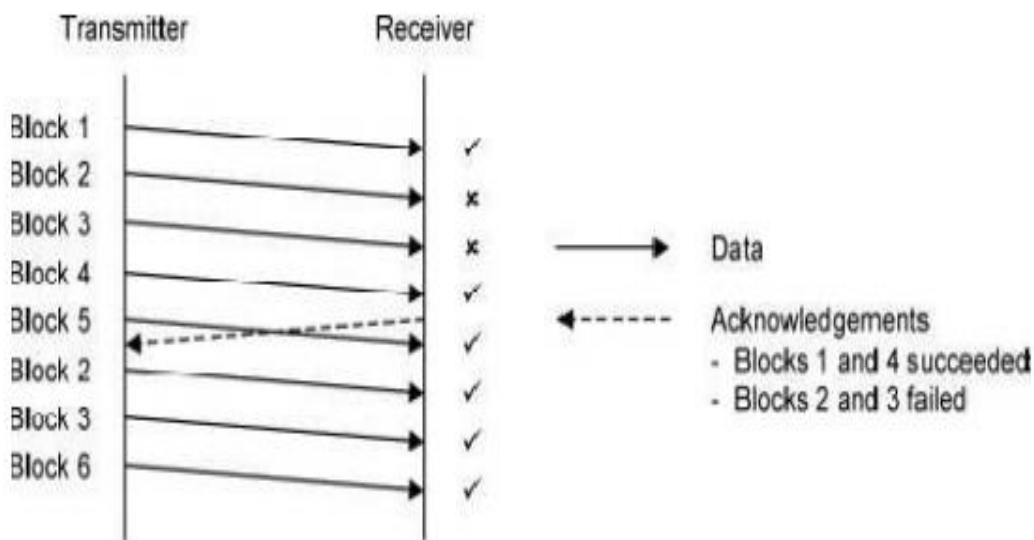
Βραχυπρόθεσμη απόδοση PRB's (max Bandwidth allocation αλγόριθμος ο οποίος αποκαλείται και short term scheduling) οπύ σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές θα αποδώσει εύρος φάσματος $n \times 180 \text{ KHz}$, $n \gg 1$, σε έναν χρήστη και στις υπόλοιπες στιγμές θα προγραμματίσει άλλους χρήστες για μετάδοση δεδομένων.

Μακροπρόθεσμη απόδοση (time spread scheduling αλγόριθμος, οποίος και αποκαλείται long term scheduling), οπύ κάθε διαδοχικό subframe και για μια μεγάλη χρονική περίοδο μπορεί να αποδίδει σε έναν χρήστη ραδιολόγους σε στενό εύρος ζώνης $n \times 180 \text{ KHz}$, $n > 1$ (narrow band scheduling).



3.5 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΙΤΗΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ (ARQ)

Η αυτόματη αίτηση επανάληψης (ARQ) είναι μια άλλη τεχνική διαχείρισης λαθών. Ο πομπός προσθέτει στα δεδομένα κάποια επιπλέον bits γνωστά ως ένας **κυκλικός έλεγχος πλεονασμού (CRC)**. Αφού τα προσθέσει στα δεδομένα του τα μεταδίδει με τον συνηθισμένο τρόπο. Ο δέκτης διαχωρίζει τα δύο πεδία και χρησιμοποιεί τα bits πληροφοριών για τον υπολογισμό των αναμενόμενων CRC bits. Εάν τα τηρούμενα και αναμενόμενα CRC bits είναι τα ίδια, τότε καταλήγει στο ότι οι πληροφορίες έχουν ληφθεί σωστά και στέλνει μια θετική επιβεβαίωση πίσω στον πομπό. Αν τα CRC bits είναι διαφορετικά, καταλήγει στο ότι ένα σφάλμα έχει συμβεί και στέλνει μια αρνητική επιβεβαίωση να ζητήσει μια αναμετάδοση. Η επικοινωνία αυτή μεταξύ πομπού και δέκτη φαίνεται στο σχήμα 20 [6]. Θετικές και αρνητικές επιβεβαιώσεις είναι συχνά συντομογραφίες των ACK και NACK αντίστοιχα. Κανονικά, η ARQ χρησιμοποιεί μια τεχνική που ονομάζεται επιλεκτική αναμετάδοση, στην οποία ο δέκτης περιμένει για αρκετές ομάδες δεδομένων να φτάσουν πριν τα αναγνωρίσει όλα. Αυτό επιτρέπει στον πομπό να συνεχίσει την αποστολή δεδομένων χωρίς να περιμένει για μια επιβεβαίωση, αλλά αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε δεδομένα που αναμεταδόθηκαν, μπορεί να πάρουν πολύ χρόνο για να φτάσουν. Κατά συνέπεια, αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη μόνο για ρεύματα μη πραγματικού χρόνου, όπως ιστοσελίδες και μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

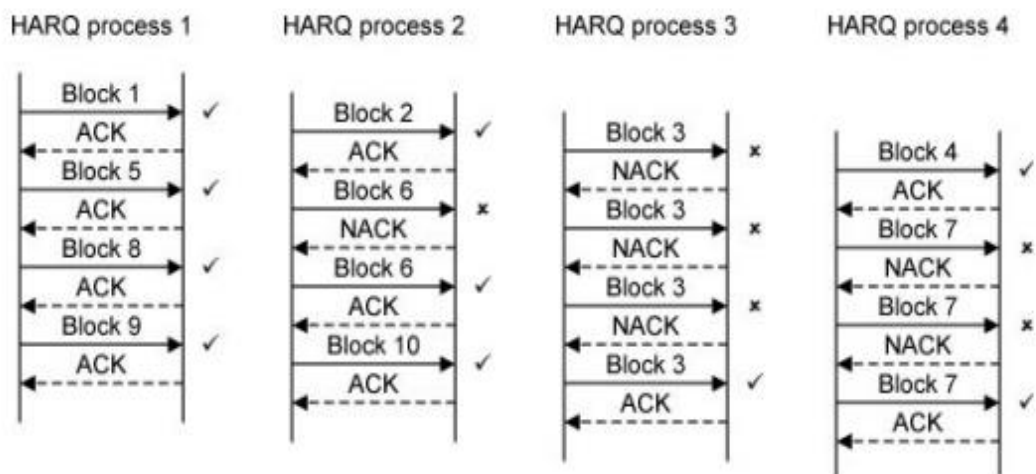


Σχήμα 20: διάγραμμα ενός πομπού και δέκτη χρησιμοποιώντας την ARQ



3.6 ΥΒΡΙΔΙΚΗ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΙΤΗΣΗ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ-HYBRID ARQ

Το υβριδικό ARQ που υποστηρίζεται μόνο σε κανάλια μετάδοσης DL-SCH και UP-SCH παρέχει ανθεκτικότητα στην μετάδοση δεδομένων σε περιβάλλον με ισχυρή παρουσία θορύβου και παρεμβολών. Οι αναμεταδόσεις μέσω του υβριδικού ARQ είναι γρήγορες και βασίζονται στη δημιουργία ενός κλειστού κυκλώματος με καταλλήλους μηχανισμούς ελέγχου ροής. Όταν ο δέκτης λάβει ένα πλαίσιο ,το αποκωδικοποιεί και πληροφορεί τον πομπό μέσω ενός απλού bit επιβεβαίωσης, εάν η διαδικασία αποκωδικοποίησης είναι επιτυχής η εάν απαιτείται επανεκπομπή του πλαισίου. Κανονικά, η HARQ χρησιμοποιεί μια τεχνική αναμετάδοσης που ονομάζεται στάση- και- αναμονή, στην οποία ο πομπός περιμένει για μια επιβεβαίωση πριν την αποστολή νέων δεδομένων ή μια αναμετάδοση. Αυτό απλοποιεί τη σχεδίαση και μειώνει τις χρονικές καθυστερήσεις στο σύστημα, το οποίο μπορεί να κάνει αποδεκτό την HARQ ακόμη και σε ρεύματα πραγματικού χρόνου, όπως η φωνή. Ωστόσο, αυτό επίσης σημαίνει ότι ο πομπός πρέπει να σταματήσει περιδένοντας την επιβεβαίωση, για να φτάσει. Για να προληφθεί η διακίνηση από την πτώση, το σύστημα μοιράζει τα δεδομένα μεταξύ πολλών διεργασιών HARQ. Η επικοινωνία αυτή μεταξύ πομπού και δέκτη φαίνεται στο σχήμα 21. Το υπόστρωμα RLC που βρίσκεται και αυτό στο δεύτερο επίπεδο, μπορεί επίσης να απαιτήσει επανεκπομπή ενός πλαισίου. Συνεπώς στο LTE υπάρχουν δυο μηχανισμοί επανεκπομπή που συνεισφέρουν και οι δυο στην αντιμετώπιση των σφαλμάτων, επιβαρύνοντας όμως την ταχύτητα μετάδοσης λόγω του επιπλέον φορτίου που προσθέτουν στη μεταφερομένη πληροφορία. Υπάρχει ένα τελευταίο πρόβλημα. Αν η αρχική μετάδοση είναι άσχημά επηρεασμένη από παρεμβολές, τότε μπορεί να χρειαστούν αρκετές αναμεταδόσεις. Για τον περιορισμό των χρονικών καθυστερήσεων που προκύπτουν, μια διεργασία HARQ είναι συνήθως ρυθμισμένη έτσι ώστε να τα παρατάει μετά από μερικές ανεπιτυχείς προσπάθειες να μεταφέρει μια ομάδα δεδομένων.



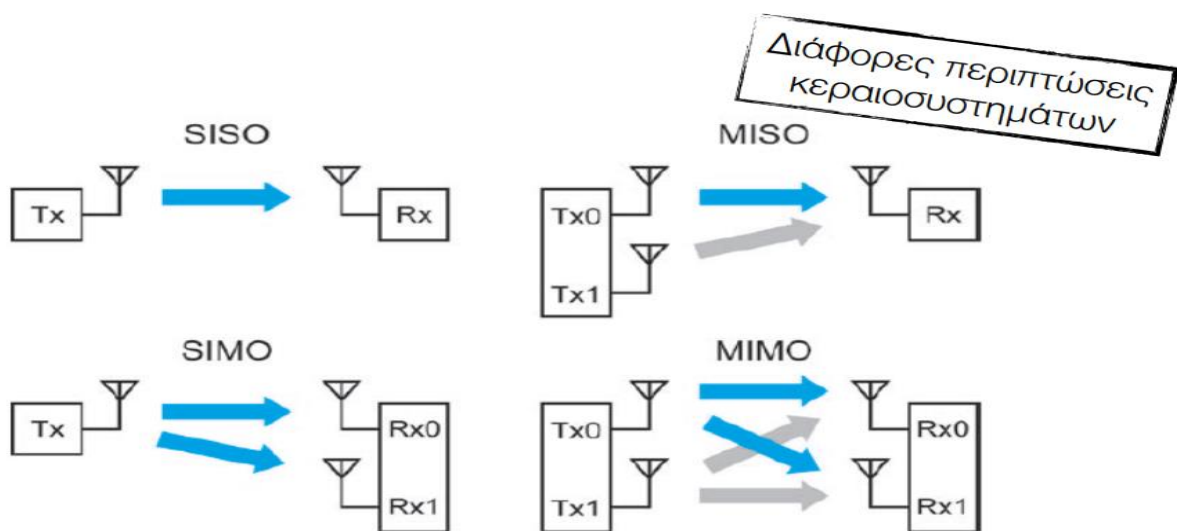
Σχήμα 21: διάγραμμα ενός πομπού και δέκτη χρησιμοποιώντας την ARQ



3.7 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ

Η τεχνολογία κεραιών MIMO είναι μια σημαντική τεχνική στο LTE. Σε αυτή την τεχνική χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραιές και στον δεκτή και στον πομπό για βελτίωση της επικοινωνίας. Η χρήση επιπλέον κεραιών είτε στο σταθμό βάσης e-NodeB είτε στον εξοπλισμό χρήστη UE ανοίγει μια επιπλέον χωρική διάσταση στην προ-κωδικοποίηση και στην ανίχνευση του σήματος. Ανάλογα την διαθεσιμότητα των κεραιών στον πομπό και στον δέκτη διακρίνονται οι εξής κατηγορίες (σχήμα 22) [6]:

- **Single-Input Multiple-Output (SIMO)**: είναι μια απλή μετάδοση ανοδικής ζεύξης κατά την οποία πολλαπλές κεραιές στο σταθμό βάσης επικοινωνούν με μια μόνο κεραία στον εξοπλισμό χρήστη.
- **Multiple-Input Single-Output (MISO)**: είναι μια μετάδοση καθοδικής ζεύξης κατά την οποία πολλαπλές κεραιές στον σταθμό βάσης επικοινωνούν με μια μόνο κεραία στον εξοπλισμό χρήστη.
- **Single-User Multiple Input Multiple Output (SU-MIMO)**: είναι μια από σημείο σε σημείο ζεύξη πολλαπλών κεραιών μεταξύ ενός σταθμού βάσης και ενός εξοπλισμού χρήστη.
- **Multi-User Multiple Input Multiple Output (MU-MIMO)**: χαρακτηρίζει την επικοινωνία αρκετών εξοπλισμών χρήστη ταυτόχρονα με ένα κοινό σταθμό βάσης χρησιμοποιώντας τους ίδιους συχνοτικούς και χρονικούς πόρους



Σχήμα 22: Αναπαράσταση των περιπτώσεων MIMO[6]

Τα πρότυπα LTE και LTE-Advanced σχεδιαστήκαν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο σταθμός βάσης και το κινητό να μπορούν και τα δυο να χρησιμοποιούν πολλαπλές κεραιές για ασύρματη μετάδοση και λήψη. Οι τρεις κύριες τεχνικές οι οποίες θα περιγράψουν είναι: **Επεξεργασία διαφορισμού**, **Χωρική πολυπλεξία και Σχηματισμός δέσμης (Beamforming)**. Οι τεχνικές αυτές έχουν διαφορετικούς στόχους και εφαρμόζονται με διαφορετικό τρόπο η κάθε μια. Ανάλογα με την επιλογή MIMO μπορεί να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης ή η ποιότητα της ζεύξης.

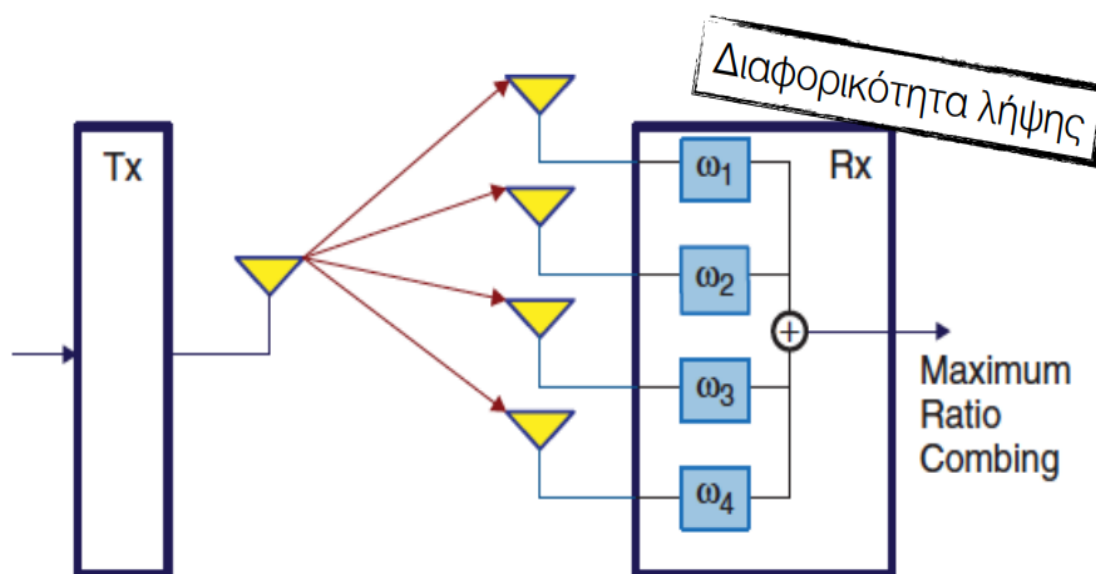


3.7.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΑΦΟΡΙΣΜΟΥ

Η επεξεργασία διαφορισμού είναι μια τεχνική η όποια αυξάνει την ισχύ του λαμβανόμενου σήματος και μειώνει την ποσότητά εξασθένισής με την χρήση πολλαπλών κεραιών. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και στην λήψη αλλά και στην διάδοση.

3.7.1.1 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΛΗΨΗ

Η Διαφορική λήψη χρησιμοποιείται πιο συχνά στην άνω ζεύξη. Τα σήματα φθάνουν στις κεραιές λήψης με διαφορετικές μετατόπισης φάσης, αλλά αυτές μπορούν να αφαιρεθούν από την εκτίμηση του καναλιού κάθε κεραιάς. Ο δέκτης οπου στην άνω ζεύξη είναι ο σταθμός βάσης προσθέτει τα σήματα που έλαβε μαζί σε «σε φάση» χωρίς κάποιο κίνδυνο παρεμβολής αναμεσα τους(σχήμα 23) [6]. Στο δέκτη εφαρμόζονται δύο τεχνικές συνδυασμού, Η MRC (Maximum-Ratio Combining) (MRC) και η SC (Selection Combining). Στην MRC τα λαμβανόμενα σήματα συνδυάζονται μέσω της εφαρμογής βαρών για να βρεθεί η καλύτερη εκδοχή του εκπεμπόμενου σήματος ενώ στην SC το εκπεμπόμενο σήμα εκτιμάται μέσω του σήματος με το υψηλότερο SNR.



Σχήμα 23: αναπαράσταση Διαφορικότητα λήψης[6]

Στο LTE αναμένεται να χρησιμοποιηθεί διαφορική λήψη στην κάτω και στην άνω ζεύξη. Οι κεραιές ενός UE είναι πιο κοντά μεταξύ τους από ότι ενός σταθμού βάσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται το όφελος της διαφορικής λήψης στην κάτω ζεύξη, αλλά η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας κεραιές που μετρούν δυο ανεξάρτητες πολώσεις του εισερχομένου σήματος.



3.7.1.2 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Η διαφορική μετάδοση μειώνει το ποσο εξασθένησης χρησιμοποιώντας δυο η περισσότερες κεραιές στον πομπό. Η διαφορά με την προηγούμενη τεχνική είναι ότι τα σήματα προστίθενται μαζί στην μοναδική κεραιά λήψης με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα καταστροφικής παρεμβολής. Οι τρόποι επίλυσης αυτού του προβλήματος είναι δύο, MIMO OPEN & CLOSED LOOP.

3.7.1.2.1 MIMO OPEN LOOP

Σε γενικές γραμμές, Open Loop τεχνικές σχεδιάζονται για την υψηλή κινητικότητα ή για περιορισμένη ανατροφοδότηση. Οι Open Loop τεχνικές παρέχουν κυρίως ισχύ για την προσαρμογή συνδέσμου θεωρώντας ότι τα τερματικά κινητά έχουν σπάνια CSI (channel state information) ανατροφοδότηση, αξιοποιώντας έτσι τα long-term channel statistics αντί για short-term fading Information(βραχυπρόθεσμη διαφοροποίησης πληροφορίας) Ως εκ τούτου, τα CQI (channel quality indicators) μπορεί να αντιπροσωπεύουν πληροφορίες καναλιού βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα. Δύο διαφορετικοί τύποι Open Loop τεχνικές είναι: space-time coding και random beamforming, οι τεχνικές αυτές έχουν βελτιστοποιηθεί με διαφορετικό τρόπο σε κάθε πρότυπο. Σε αυτήν την περίπτωση δύο ροές πληροφοριών μεταδίδονται μέσω δύο η περισσότερων κεραιών. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη ανατροφοδότηση για το UE αλλά ένα Transmit Rank Indicator το οποίο μεταδίδεται από το UE χρησιμοποιείται για την επιλογή των αριθμών των χωρικών επιπέδων (spatial layers). Η OL-SM τεχνική παρέχει πολύ καλύτερο μέγιστο ρυθμοαπόδοσης από την transmit diversity. Είναι επίσης απλούστερη στην υλοποίηση της και θεωρείται πως θα είναι μία από τις κύριες τεχνικές MIMO μετάδοσης στα LTE συστήματα.

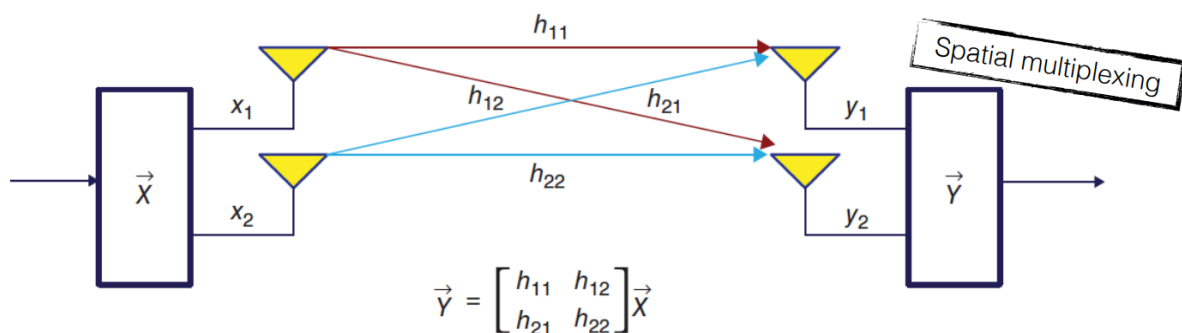
3.7.1.2.2 MIMO CLOSED LOOP

Το CL-MIMO εκμεταλλεύεται το CSI (**channel state information**) στον πομπό (CSIT) για την αύξηση της κάλυψης ή της απόδοσης. Στο CL-MIMO ο πομπός αποκτά το CSI από την **ανατροφοδότηση ή τον θόρυβο του καναλιού** και στη συνέχεια σχηματίζεται ένας a beamforming ή ένας precoding matrix. Οι μεγάλες προκλήσεις βέβαια βρίσκονται στην αποτελεσματική απόκτηση της CSI. Για την ακριβή CSIT, απαιτείται συχνή ενημέρωση για κινητά τερματικά. Ωστόσο, γενικά τα overhead και η καθυστέρηση περιορίζει την ακρίβεια του CSIT. Πρώτον, τη δομή του πλαισίου ορίζει μια καθυστέρηση μεταξύ της μέτρησης του καναλιού και τη μετάδοση πραγματικών beamforming. Δεύτερον, η επιβάρυνση (overhead) για την απόκτηση CSIT αυξάνεται. Επίσης, το CSI από τα τερματικά συλλέγεται, αλλά μόνο τα ευνοϊκά τερματικά σχεδιάζονται για τη μετάδοση. Δυστυχώς, αυτό το κέρδος επιλογής αυξάνεται λογαριθμικά ανάλογα με τον αριθμό των τερματικών αναφοράς. Από την άλλη πλευρά, η feedback/sounding overhead αυξάνεται γραμμικά με τον αριθμό ανάλογα με τον αριθμό των τερματικών αναφοράς.



3.7.2 ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

Η χωρική πολυπλεξία αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης ανάλογα με τον αριθμό των κεραιών εκπομπής καθώς και τα κέρδη της χωρικής πολυπλεξίας επιτυγχάνονται σε ασυσχέτιστες μεταδόσεις MIMO. Αν ο πομπός και ο δέκτης έχουν και οι δυο πολλαπλές κεραιές τότε μπορούμε να δημιουργήσουμε πολλαπλές παράλληλες ροές δεδομένων μεταξύ τους έτσι ώστε να αυξηθεί ο ρυθμός δεδομένων.



Σχήμα 24: Χωρική Πολυπλεξία[6]

Το σχήμα 24[6] δείχνει ένα βασικό σύστημα χωρικής πολυπλεξίας στο οποίο ο πομπός και ο δέκτης έχουν από δυο κεραιές. Τα σύμβολα x_1, x_2 τα λαμβάνει το πρόγραμμα αντιστοίχισης κεραιών από τον διαμορφωτή και τα στέλνει σε κάθε κεραιά οι οποίες με την σειρά τους στέλνουν τα σύμβολα ταυτόχρονα έτσι ώστε να διπλασιάσουν το μεταδιδόμενο ρυθμό δεδομένων. Τα σύμβολα ταξιδεύουν προς τις κεραιές λήψης μέσω τεσσάρων χωριστών ασύρματων διαδρομών έτσι τα λαμβανόμενα σήματα της παραπάνω εικόνα μπορούν να υπολογιστούν από τους παρακάτω τύπους

$$\begin{bmatrix} y_1(n) \\ y_2(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,1}(n) & h_{2,1}(n) \\ h_{2,1}(n) & h_{2,2}(n) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1(n) \\ x_2(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Η πρώτη κεραιά λαμβάνει το γραμμικό συνδυασμό των σημάτων εκπομπής x_1, x_2 :

$$y_1(n) = h_{1,1}(n) * x_1(n) + h_{1,2}(n) * x_2(n) + n_1 \quad (7)$$

Εδώ, x_1 και x_2 είναι τα σήματα που αποστέλλονται από τις δύο κεραιές μετάδοσης, y_1 και y_2 είναι τα σήματα που φτάνουν στις δύο κεραιές λήψης, και n_1 και n_2 αντιπροσωπεύουν το θόρυβο και τις παρεμβολές που ελήφθησαν. Το H_{ij} εκφράζει τον τρόπο με τον οποίο τα σύμβολα που μεταδίδονται έχουν υποστεί εξασθένηση και μετατόπιση φάσης, καθώς ταξιδεύουν στην κεραιά λήψης i από την κεραιά μετάδοσης j .

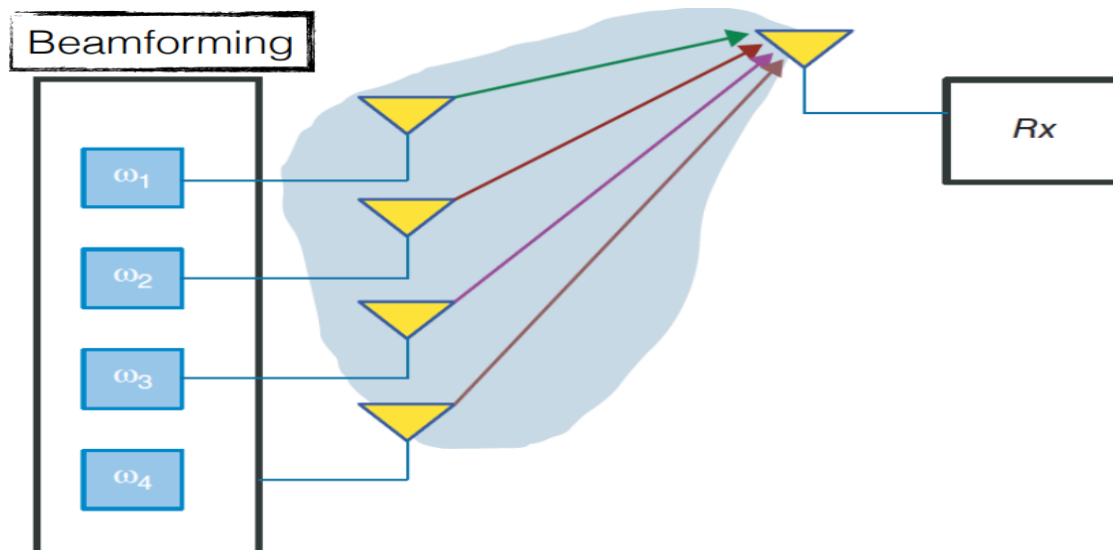


3.7.3 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΔΕΣΜΗΣ (BEAMFORMING)

Η τεχνολογία σχηματισμού δέσμης (ή αλλιώς beamforming) αποτελεί μια τεχνική επεξεργασίας σήματος που χρησιμοποιείται σε διατάξεις αισθητήρων, διατάξεις οι οποίες συλλέγουν ή εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά ή ακουστικά κύματα. Σκοπός της τεχνικής αυτής είναι η μεταβολή (δυναμική ή μη) της κατευθυντικότητας της διάταξης. Αυτό πραγματοποιείται με κατάλληλη εισαγωγή διαφοράς φάσεως στην τροφοδοσία των στοιχείων της διάταξης (με την χρήση phase shifter) και μεταβολή του πλάτους αυτής (μέσω ενισχυτών) σύμφωνα με ένα πακέτο από βάρη.

Τα βάρη αυτά καθορίζονται σύμφωνα με αλγορίθμους υπολογισμού της γωνίας άφιξης (DoA ή AoA Direction/Angle of arrival) των σημάτων που αφικνύονται στην διάταξη αισθητήρων. Θα πρέπει να τονιστεί πως τα παραπάνω αφορούν την λειτουργία ως πομπό. Στην λήψη λειτουργεί ως χωρικό φίλτρο (spatial filter), πράγμα που σημαίνει ότι πραγματοποιεί διαχωρισμό σημάτων με κοινό φασματικό περιεχόμενο χρησιμοποιώντας την πληροφορία του DoA.

Στο beamforming ένας σταθμός βάσης χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές με έναν εντελώς διαφορετικό τρόπο, για να αυξήσει την κάλυψη του. Η τεχνική beamforming χρησιμοποιεί κεραιές εκπομπής για να διαμορφώσει το διάγραμμα ακτινοβολίας ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος κεραιάς στην κατεύθυνση του UE. Η χρήση αυτής της τεχνικής οδηγεί στην αύξηση της ισχύος του σήματος ανάλογα με τον αριθμό των κεραιών εκπομπής(σχήμα 25)[6].



Σχήμα 25: Τεχνική Beamforming[6]



3.7.3.1 *ΤΕΧΝΙΚΕΣ BEAMFORMING*

Οι τεχνικές beamforming που συναντάμε σήμερα χωρίζονται κατά κύριο λόγο σε δύο κατηγορίες, στο fixed και στο adaptive beamforming.

Fixed Beamforming

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί ένα σετ από κβαντισμένους συντελεστές βαρύτητας είτε στην φάση είτε στο πλάτος των ρευμάτων τροφοδοσίας των αισθητήρων, χρησιμοποιώντας κυρίως μόνο την πληροφορία για την τοποθεσία του δέκτη, η οποία υπολογίζεται μέσω της χρήσης αλγορίθμων DoA. Κάνουμε λόγο για κβαντισμένο αριθμό συντελεστών βαρύτητας γιατί οι διατάξεις που υλοποιούν το fixed beamforming αποτελούνται από phase-shifters και ενισχυτικές διατάξεις που είναι απλές και έχουν περιορισμένο εύρος μεταβολών που μπορούν να εισάγουν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα fixed-beamforming αποτελεί ο λεγόμενος switched-beamformer. Η διάταξη αυτή καλύπτει τον χώρο γύρω της με προκαθορισμένες δέσμες που εμφανίζουν μέγιστο κέρδος στο μέσο τους, και επικαλύπτονται μεταξύ τους λόγω των μικρότερων παρασιτικών λοβών που παρουσιάζουν. Η διάταξη ανάλογα με την θέση του δέκτη αποφασίζει να τον μεταγεί στην κατάλληλη ώστε το κέρδος να είναι μέγιστο

Adaptive Beamforming

Τα συστήματα με adaptive beamforming παρέχουν περισσότερους βαθμούς ελευθερίας, καθώς έχουν την ικανότητα να προσαρμόζουν το μμοντέλο ακτινοβολίας στο περιβάλλον του σήματος σε πραγματικό χρόνο. Τα βάρη που καθορίζουν τις διαφορές φάσης και το πλάτος δεν είναι πλέον κβαντισμένα αλλά μπορούν να πάρουν πολύ μεγάλο εύρος τιμών. Αυτό προφανώς απαιτεί πιο πολύπλοκους phase-shifter και ενισχυτές. Τα συστήματα αυτά μπορούν να προσαρμόσουν το κατάλληλο μμοντέλο ακτινοβολίας για κάθε (ανεξάρτητο) μεμονωμένο χρήστη. Το πραγματοποιούν και με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή μεταξύ των χρηστών από πλευρικούς λοβούς.



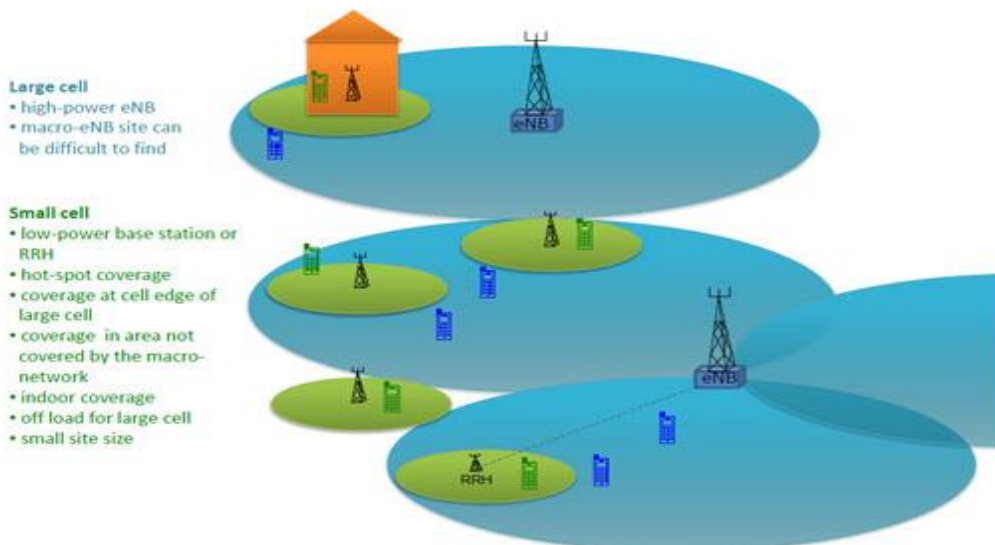
4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ

Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός των δικτύων είναι απαραίτητος για να αντιμετωπιστεί ο αυξανόμενος αριθμός των συνδρομητών κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών και πολυμεσικών εφαρμογών, τα οποία πρέπει να λειτουργούν χρησιμοποιώντας περιορισμένο φάσμα. Οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι έχουν ανταπεξέλθει σε αυτή την πρόκληση με την αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων τους προσθέτοντας νέο φάσμα, ή προσθέτοντας τεχνικές πολλαπλών κεραιών και παράλληλα εφαρμόζοντας πιο αποτελεσματικά σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για τη διακίνηση των δεδομένων στα δίκτυά τους.

Ωστόσο, τα μέτρα αυτά δεν επαρκούν στα πιο πολυσύχναστα περιβάλλοντα και στις άκρες των κυψελών, όπου η απόδοση μπορεί να υποβαθμιστεί σημαντικά. Οι πάροχοι πλέον προσθέτουν μικρές κυψέλες στα μακρο δίκτυά τους για να διαμοιράσουν τα φορτία κίνησης σε περισσότερους κόμβους, στοχεύοντας στη διατήρηση της απόδοσης και της ποιότητας των υπηρεσιών, ενώ εξασφαλίζεται και η πιο αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση του φάσματος.

Ένας τρόπος για την επέκταση ενός υπάρχοντος μακρο δικτύου για να θεωρείται και ομοιογενές, είναι η «πύκνωση» του με την προσθήκη περισσότερων τομέων ανά e-NodeB, ή με την ανάπτυξη περισσότερων μακρο e-NodeB. Ωστόσο, η διαδοχική αύξηση μακρο e-NodeBs στην ίδια επιφάνεια οδηγεί στη διαδοχική μείωση της απόστασης μεταξύ των e-NodeBs. Αυτή η τεχνική μπορεί να επιδιωχθεί μόνο σε κάποιο βαθμό επειδή η εύρεση νέων macro-sites γίνεται όλο και πιο δύσκολη και μπορεί να είναι ακριβή, ιδιαίτερα στα κέντρα των πόλεων.

Μια εναλλακτική λύση είναι η προσθήκη μικρότερων κυψελών με την εγκατάσταση σταθμών βάσης χαμηλής ισχύος (eNBs, HeNBs ή κόμβων αναμετάδοσης) ή με τη χρήση των Remote Radio Heads (RRH) στους υπάρχοντες μακρο- e-NodeBs, ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται το μέγεθος της κυψέλης. Και για τις δυο περιπτώσεις το κόστος είναι μικρότερο, τόσο για την απόκτηση του σημείου εγκατάστασης όσο και για τη προμήθεια του εξοπλισμού που είναι πιο οικονομική όσο μικραίνουν τα μεγέθη των σταθμών.



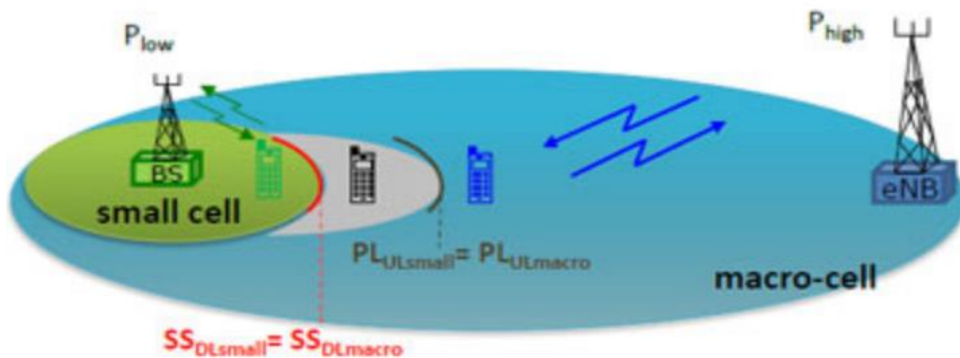
Σχήμα 26: Ετερογενές δίκτυο επικοινωνιών [38]



Οι μικρές κυψέλες κυρίως προστίθενται για αύξηση της χωρητικότητας σε hot spots με υψηλή ζήτηση των χρηστών και ως συμπληρώματα σε περιοχές που δεν καλύπτονται από το μακρο δίκτυο, για εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους αμφότερα. Μπορούν επίσης να βελτιώσουν την απόδοση του δικτύου και της ποιότητας των υπηρεσιών από την εκφόρτωση κίνησης από τις μεγάλες μακροκυψέλες. Το αποτέλεσμα είναι ένα ετερογενές δίκτυο με μεγάλα μακρο e-NodeB σε συνδυασμό με μικρές κυψέλες που παρέχουν αυξημένο bitrate ανά μονάδα επιφάνειας σε σχέση με ένα κορεσμένο ομογενές μακρο δίκτυο. Στο σχήμα 26 [38] φαίνεται ένα παράδειγμα ενός ετερογενούς δικτύου, με τη παράλληλη χρήση μεγάλων και μικρών σταθμών βάσης.

Το πραγματικό μέγεθος των κυψελών δεν εξαρτάται μόνο από την ισχύ εκπομπής του e-NodeB, αλλά παίζει ρόλο και η θέση της κεραίας, όπως επίσης και το περιβάλλον όπου βρίσκεται (π.χ. αγροτική ή αστική περιοχή, εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος). Ο ετερογενής σχεδιασμός των δικτύων είχε ήδη χρησιμοποιηθεί σε κάποια δίκτυα GSM. Οι μεγάλες και μικρές κυψέλες στο GSM διαχωρίζονται μέσω της χρήσης διαφορετικών συχνοτήτων. Αυτή η λύση εξακολουθεί να είναι δυνατή σε LTE, ωστόσο τα δίκτυα LTE χρησιμοποιούν κυρίως λόγο επαναχρησιμοποίησης συχνότητας $N=1$ ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση του φάσματος, κάτι που οδηγεί στην ανάγκη περαιτέρω εξάλειψης της παρεμβολής μεταξύ των γειτονικών σταθμών του δικτύου. Με την εισαγωγή ενός μείγματος σταθμών βάσης με διαφορετικά μεγέθη δημιουργείται ένα ετερογενές δίκτυο, το οποίο απαιτεί πιο πολύπλοκο σχεδιασμό για την ορθή λειτουργία του.

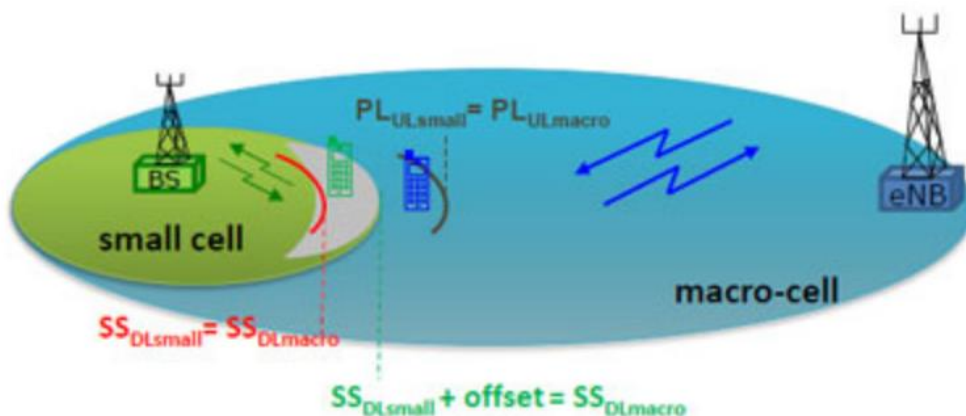
Σε ένα δίκτυο με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας 1, το κινητό τερματικό προσδένεται στο σταθμό με το ισχυρότερο σήμα DL (SSDL), ως εκ τούτου το σύνορο μεταξύ δύο κυψελών βρίσκεται στο σημείο όπου το SSDL είναι το ίδιο και για τις δύο κυψέλες. Σε ομοιογενή δίκτυα, αυτό τυπικά επίσης συμπίπτει με το σημείο για το UL (PLUL) και για τις δύο κυψέλες. Σε ένα ετερογενές δίκτυο, με κόμβους υψηλής ισχύος στις μεγάλες κυψέλες και κόμβους χαμηλής ισχύος στις μικρότερες, το σημείο του SSDL δεν θα είναι απαραίτητως το ίδιο με εκείνο του PLUL, όπως φαίνεται στο σχήμα 27[38]. Αυτή η παράμετρος περιορίζει την ακτίνα της μικρής κυψέλης και κατά συνέπεια, τον αντίκτυπο που επιφέρει στο δίκτυο.



Σχήμα 27: Διαφορά της θέσης του SSDL με το PLUL σε ετερογενή δίκτυα [38]

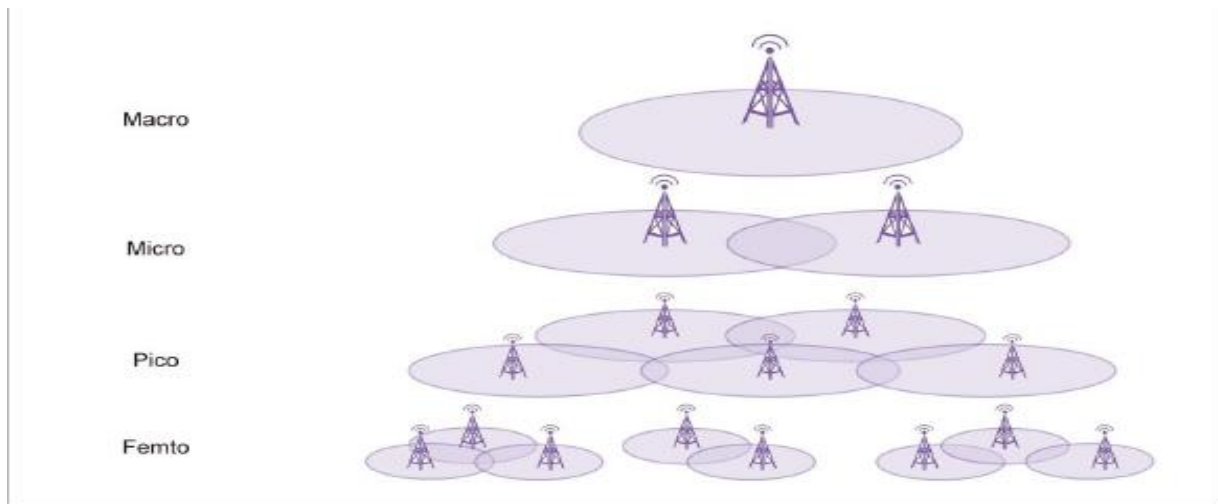


Ένα μείζον θέμα στο σχεδιασμό των ετερογενών δικτύων είναι να διασφαλιστεί ότι οι μικρές κυψέλες εξυπηρετούν πράγματι αρκετούς χρήστες. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι να αυξηθεί η περιοχή που εξυπηρετείται από τη μικρή κυψέλη, το οποίο μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης ενός offset στο SSDL της μικρής κυψέλης. Αυτό ονομάζεται Cell Range Extension (CRE). Ένα αρνητικό αποτέλεσμα του CRE είναι η αυξημένη παρεμβολή στο DL που αντιμετωπίζουν τα κινητά τερματικά που βρίσκονται στην περιοχή της CRE και εξυπηρετείται από το σταθμό βάσης της μικρής κυψέλης, η οποία μπορεί να υποβαθμίσει τη ποιότητα υπηρεσίας.



Σχήμα 28: Διαφορά της θέσης του SSDL με το PLUL σε ετερογενή δίκτυα[38]

Παρακάτω δίνεται αναφορά για τους διάφορους σταθμούς βάσης που μπορεί να συμπεριλάβει ένα ετερογενές δίκτυο σχήμα 29 [44].



Σχήμα 29 :περιοχή κάλυψης όλων των ειδών κυψελών[44]



4.1 ΜΑΚΡΟΚΥΨΕΛΗ (MACROCELL)

Μια μακροκυψέλη παρέχει τη μεγαλύτερη περιοχή κάλυψης σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Οι κεραιές για μακροκυψέλες μπορεί να αναρτηθούν σε ιστούς που στηρίζονται στο έδαφος, σε στέγες ή σε άλλες ήδη υπάρχουσες κατασκευές. Πρέπει να εγκαθίστανται σε τέτοιο ύψος που να μην εμποδίζεται η λειτουργία τους από έδαφος ή κτίρια. Οι μακροκυψέλες παρέχουν ραδιοκάλυψη σε κυμαινόμενες αποστάσεις, που εξαρτώνται από τη χρησιμοποιούμενη συχνότητα, τον αριθμό των κλήσεων που γίνονται και το φυσικό έδαφος.

Η τυπική ισχύς εξόδου ενός σταθμού βάσης μακροκυψέλης είναι μερικές δεκάδες watt. Οι κεραιές για τις μακροκυψέλες είναι τοποθετημένες σε διάφορα μέρη, όπως είναι οι επίγειες κεραιές, σε πολλές στέγες και σε άλλες υπάρχουσες δομές, σε μεγάλο υψόμετρο, που παρέχει μία σαφή άποψη, πάνω από τα γύρω κτίρια, αλλά και από το έδαφος.

Ο όρος Macrocell χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ευρύτερο φάσμα, όσον αφορά το μέγεθος των κυψελών. Οι μακροκυψέλες βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές ή κατά μήκος των εθνικών οδών, με βασικό στόχο την κάλυψη των αγροτικών περιοχών, με σήμα, για την πραγματοποίηση κλήσεων και μετάδοση δεδομένων στο επαρχιακό δίκτυο.

4.2 ΜΙΚΡΟΚΥΨΕΛΗ (MICROCELL)

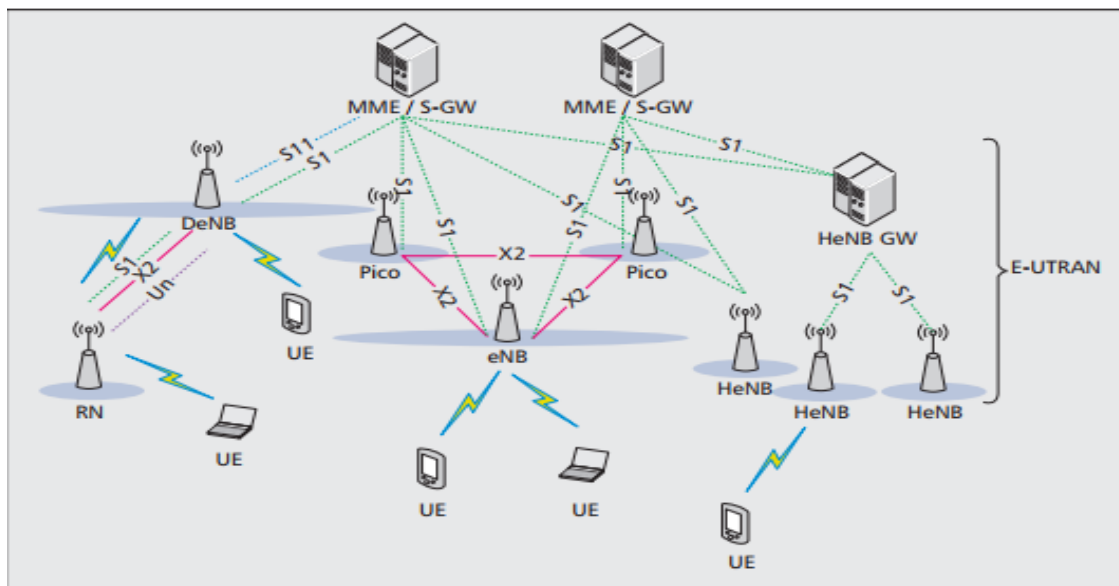
Οι μικροκυψέλες παρέχουν πρόσθετη κάλυψη και χωρητικότητα σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός χρηστών μέσα σε αστικές και προαστιακές μακροκυψέλες. Οι κεραιές για μικροκυψέλες τοποθετούνται στο επίπεδο του δρόμου, συνήθως στους εξωτερικούς τοίχους υπάρχοντων κατασκευών, όπως κτίρια, στύλοι φωτισμού και άλλος δημόσιο εξοπλισμό δρόμου. Οι κεραιές για μικροκυψέλες είναι μικρότερες από τις κεραιές για μακροκυψέλες και, όταν τοποθετούνται σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, είναι δυνατό να μεταμφιεστούν σε χαρακτηριστικά του κτιρίου. Οι μικροκυψέλες παρέχουν ραδιοκάλυψη σε αποστάσεις συνήθως μεταξύ 300 και 1000 μέτρων και έχουν χαμηλότερη ισχύ εξόδου, σε σύγκριση με τις μακροκυψέλες. Αυτή η ισχύς εξόδου κυμαίνεται συνήθως σε λίγα watt.

Η ευελιξία, ως προς το μέγεθος των κυψελών είναι ένα χαρακτηριστικό των τεχνολογιών από τη 2G γενιά για τα κινητά δίκτυα και πέρα, και αποτελεί ένα σημαντικό μέρος του τρόπου με τον οποίον, τα εν λόγω δίκτυα, έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την γενικότερη κατάστασή τους. Οι διάφορες μονάδες ελέγχου, που εφαρμόζονται στα ψηφιακά δίκτυα διευκολύνουν την αποφυγή παρεμβολών από γειτονικές κυψέλες, που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες. Με την υποδιαίρεση των κυψελών και τη δημιουργία περισσότερων περιοχών συντελείται η εξυπηρέτηση περιοχών υψηλής πυκνότητας. Για παράδειγμα, μια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας ή δικτύου μπορεί να βελτιστοποιήσει τη χρήση του ραδιοφάσματος και έτσι, να εξασφαλιστεί ότι η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί. Συγκριτικά, παλαιότερα αναλογικά συστήματα έχουν σταθερά όρια πέρα από τα οποία, επιχειρείται να υποδιαιρεθούν σε κυψέλες. Κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εφικτό και αποδοτικό, καθώς, απλά θα οδηγούσε σε ένα απαράδεκτο επίπεδο παρεμβολών.



4.3 ΠΙΚΟΚΥΨΕΛΗ (PICOCELL)

Οι Πικοκυψέλες αποτελούνται από κανονικούς σταθμούς βάσης (e-NodeB) με τη μόνη διαφορά ότι έχουν χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης από τους παραδοσιακούς σταθμούς βάσης μιας μακροκυψέλης. Είναι, συνήθως, εξοπλισμένες με πανεκατευθυντικές κεραιές, δηλ. όχι τομεακές, και αναπτύσσονται σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους συχνά σε προγραμματισμένο (hot-spot) τρόπο. Στα κυψελοειδή δίκτυα, οι πικοκυψέλες χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την επέκταση της κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους, όπου υπαίθρια σήματα δεν φτάνουν καλά, ή για την προσθήκη χωρητικότητας στο υπάρχον δίκτυο, σε περιοχές με πολύ πυκνή χρήση τηλεφωνικών και δικτυακών υπηρεσιών, όπως σε σιδηροδρομικούς σταθμούς ή στάδια. Οι Πικοκυψέλες παρέχουν κάλυψη και χωρητικότητα σε περιοχές, που καθίσταται δύσκολο ή δαπανηρό να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας την πιο παραδοσιακή προσέγγιση της μακροκυψέλης. Οι Πικοκυψέλες προσφέρουν πολλά από τα πλεονεκτήματα των μικρών κυψελών, όπως και τα Femtocells σε ότι αναφορά, στην βελτίωση της απόδοσης των δεδομένων για τους χρήστες κινητών και στην αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ειδικότερα, η ενσωμάτωση των πικοκυψελών με τις μακροκυψέλες, μέσω ενός ετερογενούς δικτύου, μπορεί να είναι χρήσιμη για το αδιάκοπο Handoff και για την επίτευξη αυξημένης χωρητικότητας δεδομένων κινητής τηλεφωνίας. Οι Πικοκυψέλες είναι διαθέσιμες για τις περισσότερες γενιές κινητών τεχνολογιών και επικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των GSM, CDMA, UMTS και LTE. Η ισχύς εκπομπής τους κυμαίνεται από 250 mW έως περίπου 2 W για υπαίθριες αναπτύξεις, ενώ είναι τυπικά 100 mW ή λιγότερο για εσωτερικές αναπτύξεις. Δεδομένου ότι τα picocells είναι κανονικά eNB από την άποψη της αρχιτεκτονικής, όπως φαίνεται στο σχήμα 30, μπορούν να επωφεληθούν από το συντονισμό μεταξύ παρεμβολών με βάση το X2 (ICIC).



Σχήμα 30 : Κόμβοι ετερογενών δικτύων LTE και οι διαπαφές τους[1].



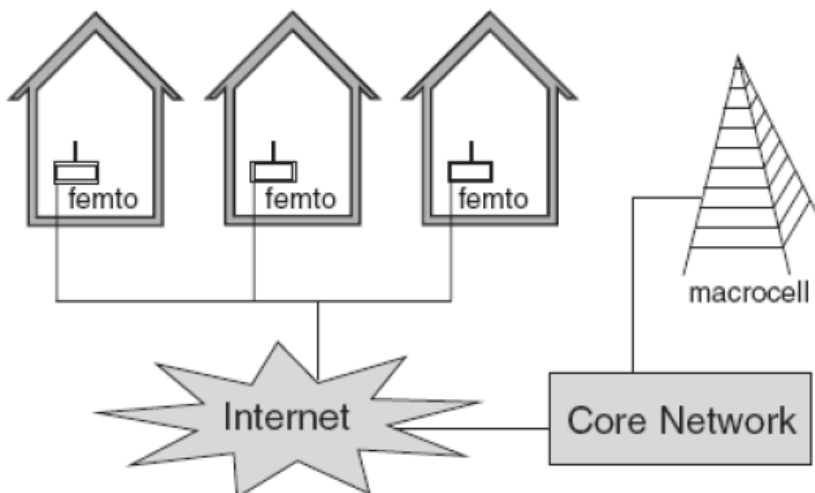
4.4 ΦΕΜΤΟΚΥΨΕΛΗ (FEMTOCELL)

Η φεμτοκυψέλη, γνωστή και ως «σταθμός βάσης εντός σπιτιού», είναι ένα σημείο πρόσβασης σε ένα κυψελοειδές δίκτυο στο οποίο μπορούν να συνδεθούν κινητές συσκευές με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιώντας ως μέσο τα οικιακά DSL, τις ευζωνικές συνδέσεις καλωδίων, τις οπτικές ίνες ή ασύρματες τεχνολογίες τελευταίας τεχνολογίας. Η φεμτοκυψέλη μοιάζει με ένα σημείο πρόσβασης WiFi, βλ. Σχήμα 31. και παρέχει την λειτουργικότητα ενός τυπικού σταθμού βάσης(σχήμα 32)[44]. Ο όρος σημείο πρόσβασης της φεμτοκυψέλης (femtocell access point FAP)χρησιμοποιείται για να αναφερθεί η λειτουργικότητα μιας φεμτοκυψέλης (π.χ. λειτουργίες ενός σταθμού βάσης και ενός δικτύου κορμού) ενώ ο όρος φεμτοκυψέλη αφορά καθαρά την περιοχή κάλυψης.



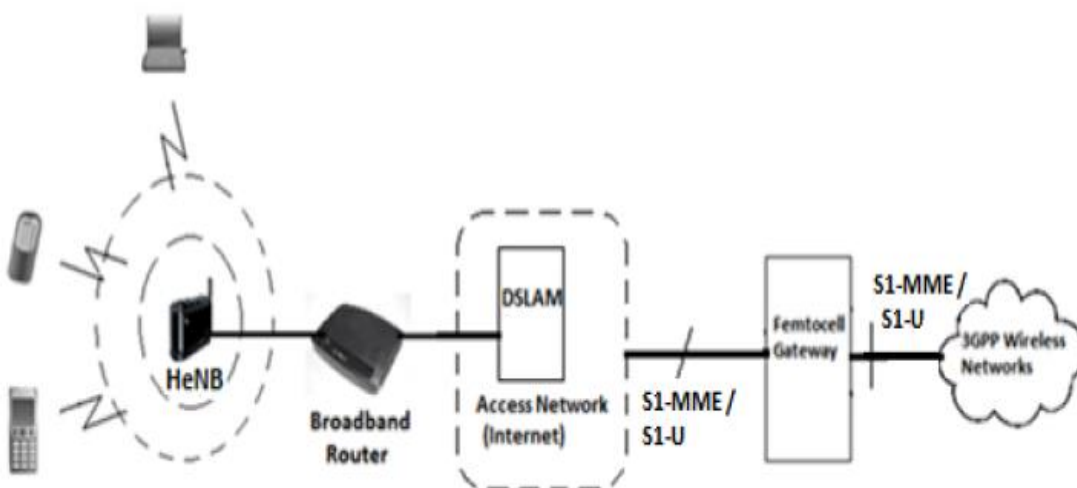
Σχήμα 31: Σχήμα συσκευής Femtocell[44]

Ο όρος FAP μοιάζει με τον όρο σημείο πρόσβασης στο WiFi (access point WiFi WAP) αλλά στην πραγματικότητα είναι πολύ διαφορετικές. Το WAP υλοποιεί τεχνολογίες WiFi όπως IEEE 802.11b, 802.11g και 802.11n ενώ το FAP υλοποιεί κυψελοειδείς τεχνολογίες όπως GSM / GPRS / EDGE, UMTS / HSPA / LTE και κινητά WiMAX (IEEE 802.16e). Ανάλογα με την χωρητικότητα τους τα FAP's μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι τα home FAP's τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν 3 έως 5 χρήστες ταυτόχρονα και η άλλη κατηγορία είναι τα enterprise FAP's τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν 8 έως 16 χρήστες ταυτόχρονα. Ο βασικός στόχος της FAP είναι να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας δεδομένων για τους χρήστες που βρίσκονται στον τομέα της οικίας. Η πιθανότητα οι συνδρομητές να χρησιμοποιήσουν το FAP όλοι μαζί ταυτόχρονα είναι πολύ μικρή, οπότε οι οικιακές φεμτοκυψέλες που υποστηρίζουν περισσότερους από πέντε χρήστες θα θεωρούντουσαν υπερβολικά σε σχέση με την πραγματική ζήτηση. Επιπλέον, η χωρητικότητα των χρηστών περιορίζεται επίσης από τον περιορισμό του εύρους ζώνης του ADSL στην ανερχόμενη ζεύξη. Σύμφωνα με τις τεχνολογίες των κυψελών που χρησιμοποιούνται, το FAP μπορεί να ταξινομηθεί σε UMTS FAP, GSM FAP, WiMAX FAP, LTE FAP κ.ο.κ.



Σχήμα 32 : Τα femtocells συνδέονται με το δίκτυο κορμού (CN) διαμέσου της backhaul σύνδεσης του χρήστη [44]

Στο σχήμα 33[44] παρατηρούμε την αρχιτεκτονική ενός δικτύου femtocell όπου αποτελείτε από έναν σταθμό βάσης χαμηλής ισχύος ο οποίος εκπέμπει σε μια αδειοδοτημένη μπάνατα συχνοτήτων, ένα modem router το οποίο συνδέεται με ένα τοπικό DSLAM μέσω μιας DSL γραμμής και τέλος μια Femtocell πύλη (Femtocell gateway) που επιτρέπει την πρόσβαση σε άλλα δίκτυα και στο Internet, αναφέρεται και ως HeNB-Gateway(HeNB-GW) και αποτελεί τον κόμβο διασύνδεσης ενός δικτύου Femtocell μετρά άλλα 3GPP δίκτυα .Συνδέεται με το EPC μέσω της διεπαφής S1.



Σχήμα 33: Αρχιτεκτονική Femtocell[44]



Τα Femtocells διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Femtocells δημόσιας πρόσβασης. Σε δίκτυα femtocells, ένας εξωτερικός χρήστης θα μπορούσε να λαμβάνει ισχυρότερο σήμα από ένα κοντινό femtocell από ό, τι από ένα μακρινό macrocell. Με δημόσια πρόσβαση, σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης θα συνδεθεί με το femtocell ανεξάρτητα αν είναι ιδιοκτήτης ή συνδρομητής της υπηρεσίας femtocell. Η μέθοδος αυτή ωφελεί τους χρήστες σε εξωτερικούς χώρους, οι οποίοι είναι σε θέση να κάνουν χρήση των κοντινών femtocells, μειώνοντας έτσι τη συνολική χρήση των πόρων του συστήματος (ισχύς, συχνότητα) και ως εκ τούτου και τις παρεμβολές. Αντίστοιχη κατάσταση ισχύει και μεταξύ γειτονικών femtocells. Υπάρχει η πιθανότητα (για παράδειγμα, σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ή πολυώροφα κτίρια), η ισχύς του σήματος των γειτονικών femtocells να είναι υψηλότερη από το femtocell του πελάτη. Με τα femtocells δημόσιας πρόσβασης, ο χρήστης απλά θα συνδεθεί στο femtocell με το καλύτερο σήμα

Ιδιωτικής πρόσβασης femtocells. Στην ιδιωτική πρόσβαση, μόνο μια λίστα εγγεγραμμένων χρηστών – συνδρομητών μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ένα femtocell. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται Closed Subscriber Group (CSG). Μια τέτοια προσέγγιση όμως, όπως θα δούμε αργότερα, αυξάνει σημαντικά τις παρεμβολές. Για παράδειγμα, περαστικοί χρήστες που λαμβάνουν χαμηλό σήμα που προέρχεται από το macrocell, θα πρέπει να αυξήσουν την ισχύ τους, προκαλώντας μεγαλύτερη παρεμβολή στα γειτονικά femtocells.



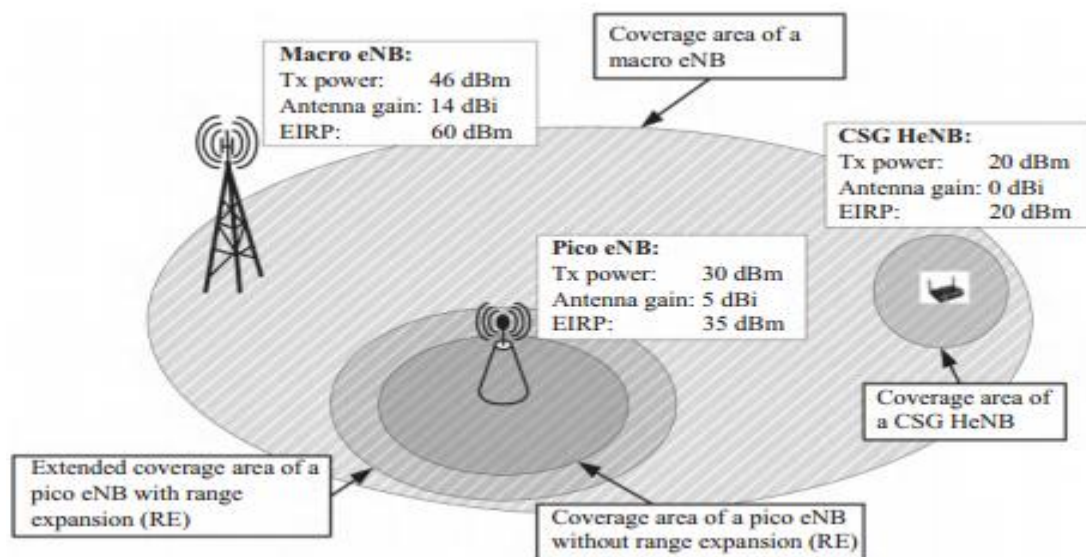
5 ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΚΙΝΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Στα ετερογενή δίκτυα, κυψέλες με διαφορετικά μεγέθη μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την ιεραρχική ανάπτυξη του δικτύου. Ο τύπος και η θέση των σταθμών βάσης (eNB) που δημιουργούν αυτές τις κυψέλες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του κόστους και της απόδοσης του δικτύου. Για παράδειγμα, οι φεμτοκυψέλες που χρησιμοποιούν οικιακά eNBs (HeNBs) μπορούν να εκμεταλλευτούν την υπάρχουσα backhaul σύνδεση μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος εφαρμογής τους. Όσον αφορά τις εξωτερικές πικοκυψέλες μέσω των pico eNBs, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών θα χρειαστούν να παρέχουν την δυνατότητα της backhaul σύνδεσης και να διαχειριστούν πιο κρίσιμες προκλήσεις που αφορούν την επαναχρησιμοποίηση φάσματος. Το σχήμα 34 δείχνει ένα τυπικό ετερογενές δίκτυο με μια μακροκυψέλη/ macro eNB, μια πικοκυψέλη/ pico eNB και μια φεμτοκυψέλη / HeNB. Επιπλέον, η φεμτοκυψέλη είναι μια CSG κυψέλη η οποία επιτρέπει μόνο στα μέλη UE του να έχουν πρόσβαση σε αυτό. Υποθέτοντας ένα λειτουργικό εύρος ζώνης γύρω στα 10 MHz, μια τυπική ρύθμιση της ισχύος μετάδοσης του macro eNB είναι στα 46 dBm (Tx). Υποθέτοντας ότι με κέρδος κεραίας στα 14 dBi (συμπεριλαμβανομένης της απώλειας του τροφοδότη), της μακροκυψέλης αποκτά ισοδύναμη ισότροπη ακτινοβολούμενη ισχύ (equivalent isotropic radiated power EIRP) 60 dBm. Το EIRP της πικοκυψέλης είναι 35 dBm οπότε φυσικά έχει ως αποτέλεσμα μια πολύ μικρότερη κάλυψη από αυτήν της μακροκυψέλης. Από την άλλη πλευρά, η φεμτοκυψέλη έχει το μικρότερο EIRP στα 20 dBm.

Η ανάπτυξη ετερογενών δικτύων (HetNet), όπου οι τοπικοί σταθμοί βάσης μικρής ισχύος και μικρής κάλυψης κατανέμονται στην κάλυψη μιας μακροκυψέλης, θεωρείται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για την επίτευξη επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Οι τοπικοί σταθμοί βάσης, όπως οι σταθμοί βάσης pico, femto και relay που αναπτύσσονται στις οπές κάλυψης, θα μπορούσαν να επεκτείνουν την κάλυψη και να αυξήσουν τη φασματική απόδοση. Όταν όλοι οι ετερογενείς σταθμοί βάσης μοιράζονται το ίδιο φάσμα, εμφανίζονται δύο είδη παρεμβολών:

- Cross-tier interference: Ο θύτης (π.χ. ένας femto σταθμός βάσης) και το θύμα παρεμβολών (π.χ. ο χρήστης μιας μακροκυψέλης) ανήκουν σε διαφορετικά επίπεδα (tier).
- Intra-tier interference: Ο θύτης (π.χ. ένας femto σταθμός βάσης) και το θύμα παρεμβολών (π.χ. ο χρήστης μιας φεμτοκυψέλης) ανήκουν ίδιο επίπεδο (tier).

Κάτω από την επίδραση της παρεμβολής, ορισμένα resource blocks (RBs), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα, έτσι, ο μετριασμός των παρεμβολών στο HetNet λαμβάνει μεγάλη προσοχή στον ακαδημαϊκό και στον βιομηχανικό τομέα.



Σχήμα 34: ένα τυπικό ετερογενές δίκτυο[45]

5.1.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΣ ΔΙΚΤΥΟ

Macro-femto

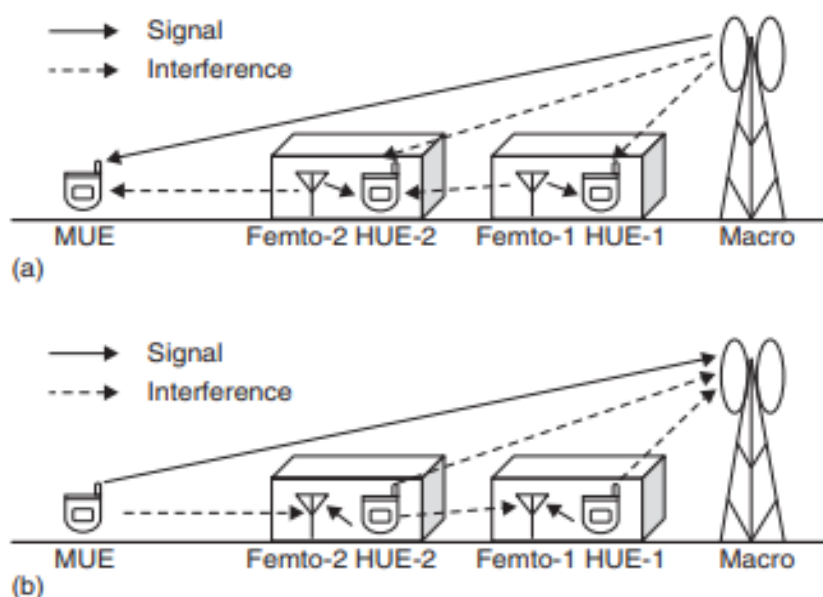
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα ιεραρχικά δίκτυα μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία από διαφορετικές κυψέλες σε διαφορετικές τοποθεσίες και για διαφορετικούς λόγους. Για παράδειγμα, οι φεμτοκυψέλες (HeNBs) μπορεί να επιτρέπουν την πρόσβαση μόνο στα μέλη του σπιτιού. Οι όροι κλειστής πρόσβασης (CSG) και ανοιχτής πρόσβασης (OSG) χρησιμοποιούνται για να αναφερθούν σε ιδιωτικές και δημόσιες φεμτοκυψέλες. Λόγω του γεγονότος ότι το εξουσιοδοτημένο φάσμα είναι περιορισμένο, στις CSG κυψέλες μπορούν να αναπτυχθούν με την ίδια συχνότητα φορέα της μακροκυψέλης. Όταν ένα macro UE, το οποίο δεν είναι μέλος της κλειστής πρόσβασης, προσεγγίζει μια CSG κυψέλη, δεν μπορεί να μεταβιβαστεί σε αυτό την συγκεκριμένη κυψέλη. Από την άλλη πλευρά, το macro-UE μπορεί να λάβει ισχυρή παρεμβολή έτσι ώστε να το κάνει να χάσει τελείως τη σύνδεση του από το macro eNB που το εξυπηρετεί.

Με άλλα λόγια, η CSG κυψέλη μπορεί να δημιουργήσει μια **οπή κάλυψης** σε UEs τα οποία **δεν** είναι μέλη της κλειστής πρόσβασης. Αυτό το πρόβλημα πρέπει να επιλυθεί εάν μια CSG κυψέλη πρόκειται να συνυπάρξει με άλλες κυψέλες στην ίδια συχνότητα λειτουργίας. Στο Σχήμα 35 (α) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα παρεμβολής που προκαλείται από την CSG ανάπτυξη, στην οποία τα UEs (HUEs) 1 και 2 συνδέονται αποκλειστικά με τις φεμτοκυψέλες 1 και 2 αντίστοιχα. Κατά την downlink μετάδοση, το macro UE (MUE) δέχεται ένα σχετικά ισχυρό σήμα από την φεμτοκυψέλη 2 λόγω της κοντινής τοποθεσίας του, αλλά η σύνδεση του με την φεμτοκυψέλη 2 δεν επιτρέπεται λόγω της CSG. Αυτή η ισχυρή παρεμβολή στο downlink από την CSG συχνά εμποδίζει τα σήματα από το μακροκυψέλη, με αποτέλεσμα μια οπή κάλυψης στην περιοχή της μακροκυψέλης. Από την άλλη πλευρά στην ανερχόμενη ζεύξη, οι ρόλοι θύτης – θύμα παρεμβολών αναστρέφονται όπως φαίνεται στο Σχήμα 35 (b). Το MUE χρειάζεται να ξεπεράσει μια σχετικά μεγάλη απώλεια διάδοσης(path loss) στην μακροκυψέλη οπότε μεταδίδει με μεγαλύτερη ισχύ λόγω του προγραμματισμού του ελέγχου ισχύος του MUE από τον MAC



scheduler της μακροκυψέλης. Αυτό με τη σειρά του δημιουργεί πολλές παρεμβολές στις uplink μεταδόσεις των HUE τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, αφού ο παραδοσιακός έλεγχος ισχύος δεν απαιτεί υπερβολική ισχύ μετάδοσης λόγω μιας σχετικά μικρής απώλειας διάδοσης από την φεμτοκυψέλη.

Η κατάσταση παρεμβολής επιδεινώνεται περαιτέρω από το γεγονός ότι δεν υπάρχει σύνδεση backhaul μεταξύ των μακροκυψελών και φεμτοκυψελών, οπότε η ημι-στατική συντονισμένη διακυψελική παρεμβολή (semi-static ICIC) δεν λειτουργεί και η ανάπτυξη των φεμτοκυψελών είναι ασυντόνιστη μεταξύ των χρηστών. Για το macro-femto σενάριο ανάπτυξης έχει αποδειχθεί στο [45] ότι οι τεχνικές ICIC Release-8/9 δεν είναι πλήρως αποτελεσματικές για τον μετριασμό των παρεμβολών, ειδικά όταν οι χρήστες non-CSG / CSG βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με το femto.



Σχήμα 35 :παρεμβολές downlink (α) και uplink(β) σε σενάρια macro-femto[45]

Macro-pico

Οι πικοκυψέλες και οι μακροκυψέλες συνήθως διαχειρίζονται μαζί από τους πάροχους τηλεπικοινωνιών και σε γενικές γραμμές, είναι ανοικτής πρόσβασης. Η περιοχή κάλυψης της πικοκυψέλης δεν περιορίζεται μόνο από την ισχύς μετάδοσης του, αλλά επίσης και σε μεγάλο βαθμό από την διακυψελική παρεμβολή (inter-cell interference) από άλλες κυψέλες. Συνεπώς, εάν τα κριτήρια επιλογής κυψέλης βασίζονται μόνο στις μετρήσεις που κάνει το UE στα ειδικά σήματα αναφοράς όπως το (reference symbol received power RSRP), που λαμβάνει στο downlink μόνο τα UE σε κοντινή απόσταση θα καταλήξουν να εξυπηρετούνται από το pico eNB. Λόγω της υψηλής πυκνότητας ανάπτυξης των μικρών κυψελών, είναι ευεργετικό να επεκταθεί το αποτύπωμα των πικοκυψελών, δηλαδή να εκφορτωθούν UEs από την μακροκυψέλη στην πικοκυψέλη, ώστε να δοθεί η δυνατότητα σε περισσότερους UEs να συνδεθούν με τις μικρές κυψέλες για να επωφεληθούν από την υψηλότερη πυκνότητα ανάπτυξης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της επέκτασης κάλυψης των κυψελών (range expansion RE), όπως φαίνεται στο σχήμα 34.



Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

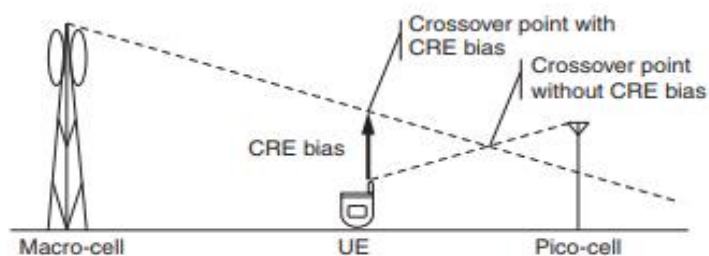
Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Μία από τις προσεγγίσεις για την επέκταση της κάλυψης των πικοκυψελών είναι μια κυψέλη -ειδική απόκλιση στη μέτρηση του UE στα X dB για να ευνοηθεί η σύνδεση με αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, περισσότερα UEs θα είναι διατεθειμένα να συνδεθούν στις πικοκυψέλες αντί στην μακροκυψέλη. Επιπλέον, τεχνικές συντονισμού (time-domain inter-cell interference coordination) μεταξύ των κυψελών για την αντιμετώπιση της διακυψελικής παρεμβολής στο πεδίο του χρόνου, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τους χρήστες οι οποίοι εξυπηρετούνται από την πικοκυψέλη στην άκρη της εμβέλειάς του, για παράδειγμα για την εκφόρτωση της κυκλοφορίας από την μακροκυψέλη σε μια πικοκυψέλη.

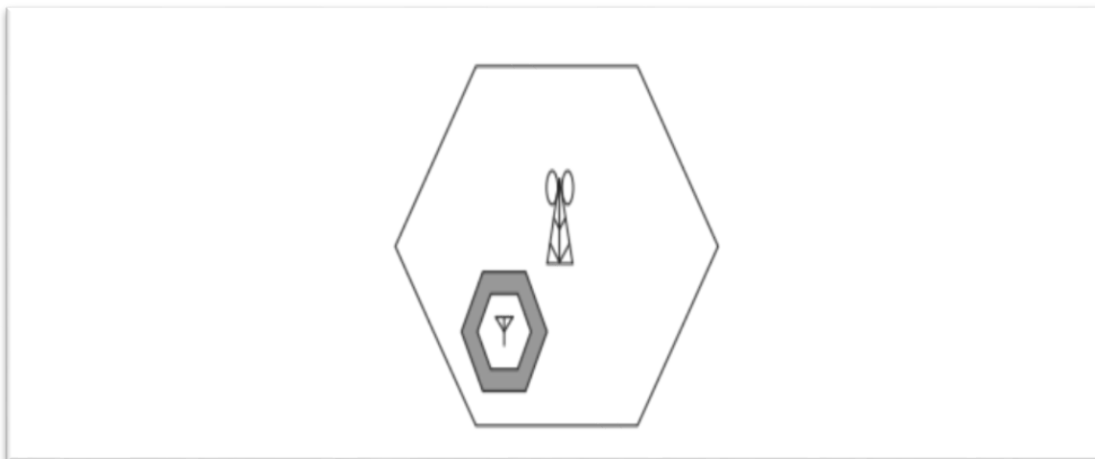
Οι αξιολογήσεις που έγιναν στο πλαίσιο του 3GPP έδειξαν ότι χωρίς καμία κυψελική επέκταση (CRE) της πικοκυψέλης, τα συστήματα ICIC Release-8/9 που περιεγράφηκαν προηγουμένως είναι αποτελεσματικά για την προστασία των καναλιών δεδομένων και των καναλιών ελέγχου τόσο στην κατερχόμενη όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη [24]. Συνεπάγετε λοιπόν ότι το UE συνδέεται με την κυψέλη που έχει την ισχυρότερη ισχύ, δηλαδή η ισχύς λήψης του δέκτη μέσω μιας μέτρησης του σήματος που ονομάζεται reference signal received power (RSRP). Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 36 [45], χωρίς CRE προτίμηση, το σημείο τομής (RSRP) των δυο κυψελών, είναι αρκετά κοντά στην πικοκυψέλη λόγω του μειονεκτήματος του στην ισχύ μετάδοσης σε σχέση με την μακροκυψέλη.

Αυτό όμως μπορεί να μην προσφέρει μεγάλη αποφόρτωση φορτίου κυκλοφορίας από την μακροκυψέλη, αποτρέποντας έτσι το σκοπό της ανάπτυξης των πικοκυψελών. Έτσι με την κυψελική επέκταση η πικοκυψέλη μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες. Ως εκ τούτου, η κυψέλη που εξυπηρετεί επιλέγεται μεταξύ i κυψελών σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο.



Σχήμα 36 : Επέκταση κάλυψης της πικοκυψέλης σε ετερογενές δίκτυο [45]

Έχει επίσης αποδειχθεί ότι σε μια τυπική ανάπτυξη macro-pico με μικρή κυψελική επέκταση, η παρεμβολή κάτω ζεύξης δεν αποτελεί πρόβλημα. Εντούτοις, όταν χρησιμοποιείται υψηλή κυψελική επέκταση, τα pico-UEs που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης υφίστανται σοβαρές παρεμβολές από την μακροκυψέλη όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 37[45].



Σχήμα 37: Το UE στη σκιασμένη περιοχή υποφέρει από υψηλές παρεμβολές [45]

5.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ

Η κατανομή φάσματος σε πολλαπλά επίπεδα είναι μια σημαντική πτυχή της ανάπτυξης και της χρήσης ιεραρχικής αρχιτεκτονικής. Σύμφωνα με το χρησιμοποιούμενο φάσμα, οι αναπτύξεις κυψελών πολλαπλών επιπέδων δηλαδή διαφορετικής εμβέλειας κάλυψης μπορούν να επιτευχθούν για τις παρακάτω περιπτώσεις, καθώς επίσης και η διαχείριση παρεμβολών σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να κατηγοριοποιηθεί.

- **Περίπτωση πολλαπλών φορέων (Multiple carriers case):** Οι κυψέλες πολλαπλών επιπέδων αναπτύσσονται με πολλαπλούς φορείς. Όταν πολλοί φορείς είναι διαθέσιμοι, μπορούν να γίνουν επιλογές για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη ευέλικτων κυψελών. Για παράδειγμα, η μακροκυψέλη και οι κυψέλες μικρής εμβέλειας μπορούν να αναπτυχθούν σε διαφορετικούς φορείς ή στο ίδιο σύνολο φορέων.
- **Περίπτωση ενός φορέα (Single carrier):** Οι κυψέλες πολλαπλών επιπέδων αναπτύσσονται σε κοινό φορέα. Αυτές οι αναπτύξεις ονομάζετε ομο-διαυλικές (co-channel deployment)

Μεγάλες κυψέλες όπως οι μακροκυψέλες καθώς και οι μικρές κυψέλες όπως τα φεμτο- ή πικο- κυψέλες, μπορούν να αναπτυχθούν πάνω από το διαφορετικό σύνολο φορέων για να αποφευχθεί η παρεμβολή μεταξύ βαθμίδων (inter-tier interference). Για τις κυψέλες της ίδιας βαθμίδας, η κατανομή των πόρων (φορέας, ισχύς, χρόνος, χώρος κ.λπ.) μπορεί να γίνει για τη διαχείριση των παρεμβολών εντός της κλίμακας (intra-tier interference management). Με την σωστή κατανομή των πόρων, τα προβλήματα της οπής κάλυψης που προκαλείται από τις CSG κυψέλες σε μη εξουσιοδοτημένα μέλη UE καθώς και ο στόχος της εκφόρτωσης της κυκλοφορίας από τις μακροκυψέλες στις πικοκυψέλες μπορεί να επιτευχθεί. Λόγω της υπερκείμενης αρχιτεκτονικής, όταν η μακροκυψέλη και οι επικαλυπτόμενες μικρές κυψέλες, αναπτύσσονται στον ίδιο φορέα, η διαχείριση παρεμβολών σε όλα τα επίπεδα γίνεται μια σημαντική πτυχή σχεδιασμού που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Οι προηγμένες λύσεις διαχείρισης παρεμβολών τόσο για το κανάλι ελέγχου όσο και για το κανάλι δεδομένων είναι σημαντικές για την υποστήριξη ετερογενών



δικτύων, ειδικά για την υποστήριξη των CSG φεμτοκυψελών καθώς και στην υποστήριξη εκφόρτωσης φορτίου από το macro στο pico.

5.2.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΦΟΡΕΩΝ (MULTIPLE CARRIERS)

Η παρεμβολή στο κανάλι ελέγχου / δεδομένων μπορεί να μετριαστεί για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη πολλαπλών βαθμίδων πολλαπλών φορέων (multiple carrier multi-tier deployment), όπου οι κυψέλες αναπτύσσονται σε πολλαπλούς διαθέσιμους φορείς. Μεγάλες και μικρές κυψέλες μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ξεχωριστό σύνολο φορέων για την αποφυγή παρεμβολών σε διάφορες βαθμίδες. Μεγάλες και μικρές κυψέλες μπορούν επίσης να αναπτυχθούν πάνω από το ίδιο σύνολο φορέων ή να έχουν επικαλυπτόμενους φορείς, όπου μπορεί να γίνει κατανομή πόρων, προκειμένου να αποφευχθεί ή να μετριαστεί η παρεμβολή μεταξύ κυψελών.

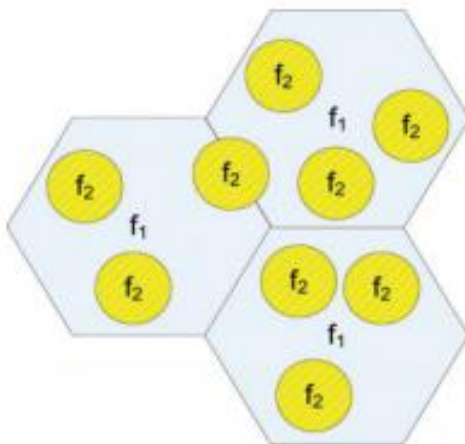
Για παράδειγμα, οι σταθμοί βάσης πολλαπλών επιπέδων μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικούς φορείς με βάση της μέτρησης παρεμβολών από τους άλλους σταθμούς βάσης. Διαφορετικοί πόροι χρόνου / συχνότητας μπορούν επίσης να κατανεμηθούν στα **κανάλια ελέγχου** κάθε κυψέλης για ισχυρή μετάδοση. Ο έλεγχος ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την από κοινού διαχείριση των πόρων στον τομέα χρόνου ή συχνότητας, για τη διαχείριση των παρεμβολών, δηλαδή να επικοινωνούν οι σταθμοί βάσης μεταξύ τους και με βάση τα μηνύματα που λαμβάνουν να εκπέμπουν με την ισχύ που αρμόζει. Στο LTE-Advanced, ο Cross-carrier προγραμματισμός ισχύει σε συστήματα που αναπτύσσονται με συνάθροιση φορέα (carrier aggregation), όπου επιτρέπει τη δυναμική διαχείριση των ράδιο πόρων σε πολλαπλούς φορείς στα υποπλαίσια (subframe=1 millisecond).

Αυτό το σχήμα μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί στα ετερογενή δίκτυα στα οποία το μακρο- eNB προγραμματίζει τους χρήστες του μέσω του καναλιού ελέγχου σε ένα στοιχειώδη φορέα (component carrier) ενώ το HeNB προγραμματίζει τους χρήστες του μέσω του καναλιού ελέγχου σε άλλο στοιχειώδη φορέα. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται κάποιες τεχνικές διαχείρισης παρεμβολών multi-carrier inter-cell για ετερογενή δίκτυα:

- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕΣΩ ΔΙΑΜΕΡΙΣΗΣ ΦΟΡΕΩΝ
- ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΣΩ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΟΣ
- ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ICIC

5.2.1.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΜΕΣΩ ΔΙΑΜΕΡΙΣΗΣ ΦΟΡΕΩΝ

Μια απλή στρατηγική διαχείρισης παρεμβολών για ετερογενή δίκτυα είναι η ανάπτυξη κυψελών διαφορετικών βαθμίδων σε διαφορετικούς φορείς. Οι εμπλεκόμενοι φορείς μπορούν να είναι φορείς εντός της ζώνης (συνεχείς φορείς intra-band carriers contiguous carriers) ή φορείς διαφορετικής ζώνης (μη συνεχόμενοι μεταφορείς inter-band carriers non-contiguous carriers). Δεδομένου ότι οι κυψελών διαφορετικών βαθμίδων χωρίζονται στο πεδίο της συχνότητας, η παρεμβολή μεταξύ κυψελίδων διαφόρων βαθμίδων μπορεί να αποφευχθεί. Ένα παράδειγμα κατανομής φορέων ανά ζώνη συχνοτήτων απεικονίζεται στο Σχήμα 38, όπου οι μακροκυψέλες αναπτύσσονται σε μια ζώνη συχνοτήτων f_1 , για παράδειγμα 800 MHz, και οι μικροκυψέλες αναπτύσσονται σε μια άλλη ζώνη συχνοτήτων f_2 3.5 GHz



Σχήμα 38: Οι μακροκυψέλες αναπτύσσονται στην συχνότητα f_1 και οι πικο-φemto κυψέλες στην f_2 [45]

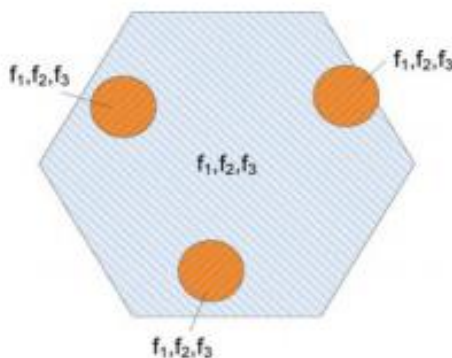
Για να εκφορτώσουμε την κυκλοφορία από τις μακροκυψέλες στις πικοκυψέλες, τα μακρο-UEs μπορούν να παραδοθούν στα πικοκύτταρα εάν μετακινηθούν εντός της περιοχής κάλυψης της πικοκυψέλης. Ένα παρόμοιο σχήμα κατανομής φορέων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ κυψελών ανοικτής πρόσβασης και κυψελών κλειστής πρόσβασης (CSG). Για παράδειγμα, οι κυψέλες ανοικτής πρόσβασης αναπτύσσονται στη συχνότητα f_1 και οι κυψέλες κλειστής πρόσβασης στη συχνότητα f_2 . Αυτό μπορεί να αποφύγει το πρόβλημα της οπής κάλυψης για τα UE που δεν είναι μέλη στις CSG κυψέλες. Στα συστήματα LTE-Advanced, είναι δυνατή η συνάθροιση των φορέων από πολλαπλές βαθμίδες (multiple tiers) για να επεκτείνει το αποτελεσματικό εύρος ζώνης για εκπομπές downlink / uplink. Αυτό ονομάζεται συνάθροιση φορέων (carrier aggregation). Με αυτό τον τρόπο, η μέγιστη / μέση απόδοση του χρήστη μπορεί να αυξηθεί. Στην συνάθροιση φορέων ένας φορέας διαμορφώνεται ως ο κύριος στοιχειώδης φορέας (Primary component carrier PCC) ενώ οι υπόλοιποι μεταφορείς μπορούν να διαμορφωθούν ως δευτερεύον στοιχειώδης φορείς.

Τυπικά, ο φορέας με μεγάλη κάλυψη διαμορφώνεται ως ο κύριος στοιχειώδης φορέας. Δεδομένου ότι οι κυψέλες διαφορετικών βαθμίδων δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με αυστηρό διαχωρισμό φορέων, το εύρος των μικρών κυψελών μπορεί να επεκταθεί, για παράδειγμα με την αύξηση της ισχύος μετάδοσης, έτσι ώστε να μπορούν να εκφορτωθούν περισσότεροι χρήστες στις μικρές κυψέλες όταν οι μακροκυψέλες είναι πολύ φορτωμένες. Διαχείριση παρεμβολών μεταξύ κυψελών με κατανομή φορέων (Inter-cell interference management by carrier partitioning) **περιλαμβάνει σκληρή κατανομή διαφορετικών φορέων σε κυψέλες διαφορετικών βαθμίδων**. Για να βελτιωθεί η επαναχρησιμοποίηση φορέων μεταξύ κυψελών διαφορετικών βαθμίδων, ο έλεγχος ισχύος, η επαναχρησιμοποίηση κλασματικής συχνότητας (fractional frequency reuse FFR), και ο διαχωρισμός πόρων μεταξύ τομέων συχνότητας και χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί εντός του επαναχρησιμοποιούμενου φορέα [25].

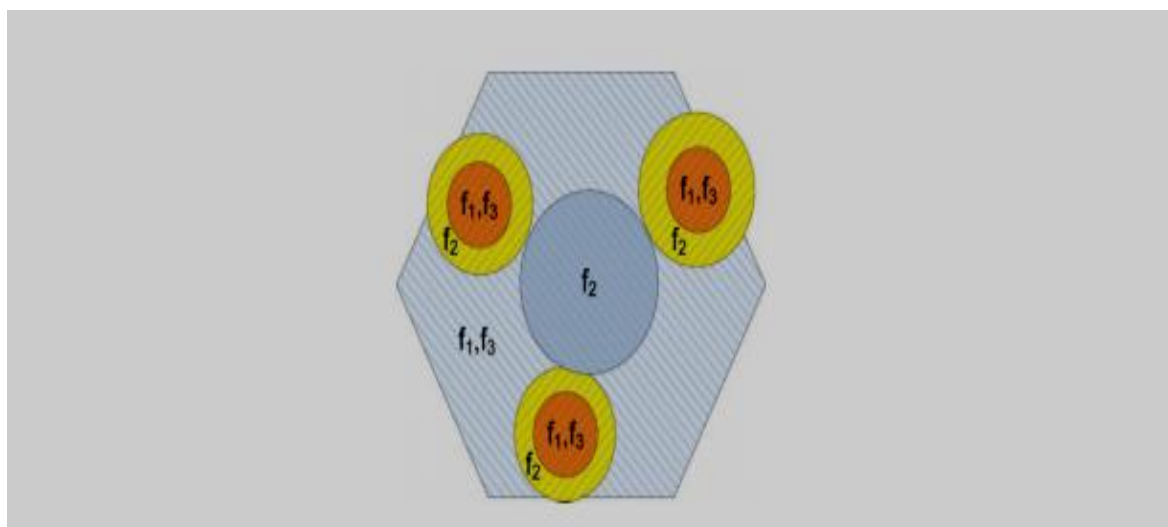


5.2.1.2 ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΣΩ ΕΛΕΓΧΟ ΙΣΧΥΟΣ

Μια εναλλακτική λύση είναι η πλήρης επαναχρησιμοποίηση φορέων όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 39, όπου τρεις φορείς, f_1 , f_2 και f_3 , κατανέμονται στα macrocell και στα picocells. Στο Σχήμα 39, η μακροκυψέλη και τα πυκοκύτταρα μεταδίδουν σε πλήρη ισχύ στους φορείς f_1 , f_2 και f_3 . Ωστόσο, λόγω της άμεσης παρεμβολής μεταξύ των κυψελών, η κάλυψη των picocells είναι περιορισμένη. Η εμβέλεια των picocells μπορεί να επεκταθεί με έναν απλό έλεγχο ισχύος βασισμένος στον φορέα της μακροκυψέλης όπως απεικονίζεται στο σχήμα 40[45], όπου η μακροκυψέλη μεταδίδει στους φορείς f_1 , f_3 με πλήρη ισχύ και με μειωμένη ισχύ στον φορέα f_2 , ενώ το picocell εξακολουθεί να εκπέμπει στους φορείς f_1 , f_2 και f_3 με πλήρη ισχύ.



Σχήμα 39: πλήρως επαναχρησιμοποίηση συχνότητας[45]



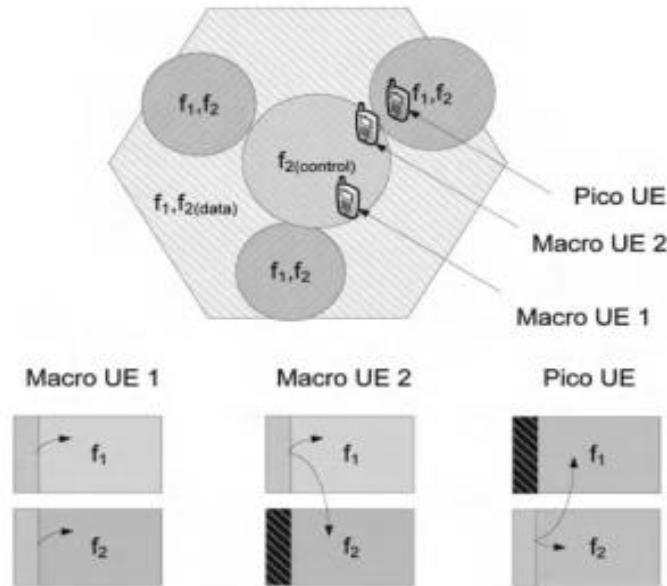
Σχήμα 40: Μείωση της ισχύς στην f_2 της μακροκυψέλης για την επίτευξη της αύξησης εμβέλειας των πυκοκυψελών [45]



5.2.1.3 ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ICIC

Η συνάθροιση φορέων βασισμένη στην συντονισμένη διακυψελική παρεμβολή (CA-based ICIC) ισχύει για τα σύστημα LTE-Advanced [25] ως μέσο διαχείρισης της διακυψελικής παρεμβολής στο κανάλι ελέγχου για ετερογενή δίκτυα. Αυτή η τεχνική βασίζεται στο ότι οι χρήστες είναι ικανοί να εφαρμόσουν συνάθροιση φορέων, δηλαδή, μπορούν να λαμβάνουν ταυτόχρονα δεδομένα από πολλούς φορείς. Στο ICIC based on CA, το σύνολο φορέων που διατίθενται για ένα σταθμό βάσης (eNB) χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, όπου ένα υποσύνολο χρησιμοποιείται για έλεγχο καθώς και για μετάδοση δεδομένων ενώ το άλλο είναι μόνο για μετάδοση δεδομένων. Η διαχείριση παρεμβολής μεταξύ κυψελών στο **κανάλι ελέγχου** γίνεται με την κατανομή διαφορετικών φορέων που χρησιμοποιούνται για το κανάλι ελέγχου για τις κυψέλες διαφορετικών βαθμίδων. Οι παρεμβολές μεταξύ των κυψελών στα δεδομένα μπορούν να αντιμετωπιστούν χρησιμοποιώντας τεχνικές συντονισμού παρεμβολών κατερχόμενης ζεύξης (downlink interference coordination techniques). Το ICIC που βασίζεται σε CA απεικονίζεται στο Σχήμα 41 όπου για τις μακροκυψέλες ο φορέας f1 χρησιμοποιείται για μετάδοση σημάτων ελέγχου και δεδομένων, και ο φορέας f2 χρησιμοποιείται μόνο για τη μετάδοση δεδομένων (macro UE 2). Για τα picocells, ο φορέας f2 χρησιμοποιείται για μετάδοση σημάτων ελέγχου και δεδομένων, και ο φορέας f1 χρησιμοποιείται μόνο για τη μετάδοση δεδομένων (pico UE). Πρέπει να σημειωθεί ότι για τα UE που δεν είναι ικανά να εφαρμόσουν συνάθροιση φορέα, οι μακρο-UE θα συνδέονται απλά με τον φορέα f1 και οι pico-UEs στον φορέα f2. Οι UE σε κατάσταση αναμονής μπορεί να «κατασκηνώσουν» μόνο σε φορείς που χρησιμοποιούνται για έλεγχο(control). Σημειώνεται ότι ο φορέας «χωρίς έλεγχο» δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το κανάλι ελέγχου του φορέα είναι εντελώς απενεργοποιημένο από το δίκτυο. Αντίθετα, το κανάλι ελέγχου του φορέα μπορεί να μεταδοθεί με μειωμένη ισχύ έτσι ώστε να μετριαζεται η επίδραση της παρεμβολής μεταξύ των κυψελών. Αυτό είναι ισοδύναμο με τη χρήση μιας τεχνικής ελέγχου ισχύος στα κανάλια ελέγχου των ετερογενών κυψελών. Στο παράδειγμα που απεικονίζεται στο σχήμα 41[45], το κανάλι δεδομένων της μακροκυψέλης στον φορέα f2 μεταδίδεται με πλήρη ισχύ και το κανάλι ελέγχου της μακροκυψέλης στον φορέα f2 μεταδίδεται με μειωμένη ισχύ. Τα Μακρο-UE κοντά στο κέντρο του macrocell (macro UE 1) μπορεί επίσης να λάβει το κανάλι ελέγχου στο φορέα f2.

Για να ενεργοποιήσετε τον προγραμματισμό των δεδομένων στον φορέα χωρίς έλεγχο, το μήνυμα ελέγχου για τη μετάδοση δεδομένων σε αυτόν τον φορέα μπορεί να αποσταλθεί από άλλον φορέα, χρησιμοποιώντας το γνωστό χαρακτηριστικό **προγραμματισμού διασταυρούμενου φορέα (Cross-carrier scheduling)**. Χρήστες που έχουν ρυθμιστεί με Cross-carrier scheduling πρέπει να παρακολουθούν και να αποκωδικοποιούν τα μηνύματα ελέγχου για πολλαπλούς φορείς **από έναν μόνο φορέα**. Η ρύθμιση του cross carrier scheduling είναι ημι-στατική η οποία εκτελείται μέσω ελέγχου ραδιοσυχνότητας (radio resource control RRC).



Σχήμα 41: Cross carrier προγραμματισμός για το Macro UE 2 και για το Pico UE [45]

5.2.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΟΣ ΦΟΡΕΑ (SINGLE CARRIER)- CO-CHANNEL

Η διαχείριση ομοδιαυλικών παρεμβολών (Co-channel inter-cell interference management) είναι πολύ δύσκολη καθώς οι κυψέλες πολλαπλών επιπέδων αναπτύσσονται στον ίδιο φορέα, οπότε δεν διατίθεται η ευελιξία στον τομέα του φορέα. Αυτή η ενότητα αναλύει πρώτα τις αιτίες και τα σενάρια για τις ομοδιαυλικές παρεμβολές σε ετερογενή δίκτυα και στην συνέχεια μερικές λεπτομερείς τεχνολογίες διαχείρισης ομοδιαυλικής παρεμβολής στο κανάλι ελέγχου και στο κανάλι δεδομένων, αντίστοιχα. Από τη θεωρία των πληροφοριών γνωρίζουμε ότι η φασματική απόδοση ενός συστήματος επικοινωνίας καθορίζεται κυρίως από τον λόγο σήματος προς θόρυβο-συν-παρεμβολή (SINR) στον δέκτη. Γενικά, ένα χαμηλό SINR αντιστοιχεί σε χαμηλή επιτεύξιμη φασματική απόδοση, ενώ μια υψηλή αντιστοιχεί σε μια υψηλότερη. Το SINR σε έναν δέκτη μπορεί να γραφτεί ως:

$$\text{SINR} = \frac{P}{I+N} \quad (8)$$

όπου P είναι η λαμβανόμενη ισχύς στον δέκτη του μεταδιδόμενου σήματος, I είναι η παρεμβολή που λαμβάνεται από άλλους σταθμούς βάσης και N είναι η διακύμανση του προσθετικού λευκό Gaussian θορύβου. Συνεπώς, το χαμηλό SINR συμβαίνει συνήθως σε οποιοδήποτε από τα δύο σενάρια: λόγω υψηλού θορύβου ή υψηλής παρεμβολής. Στην περίπτωση υψηλού θορύβου ή παρεμβολή -συν θορύβου (I + N) καθορίζεται κυρίως από τον θόρυβο (N). Επομένως, μια φυσική λύση για την ενίσχυση του SINR είναι η αύξηση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (P). Ένας απλός τρόπος είναι να ενισχυθεί η ισχύς μετάδοσης. Αντίθετα στην περίπτωση υψηλής παρεμβολής δεν μπορεί να το αντιμετωπίσει με την ίδια λύση. Το σενάριο υψηλής παρεμβολής είναι το επικρατέστερο σενάριο για τα κυψελοειδή δίκτυα και το SINR δεν μπορεί να βελτιωθεί απλά ενισχύοντας την ισχύ μετάδοσης. Αυτό συμβαίνει επειδή η ενίσχυση της ισχύος μετάδοσης μπορεί να αυξήσει την ισχύ του ληφθέντος σήματος, αλλά θα δημιουργήσει επίσης



ισχυρές παρεμβολές σε κινητούς σταθμούς άλλων κυψελών και συνεπώς θα μειώσει τις αντίστοιχες τιμές SINR. Γενικά, υπάρχουν πολλοί τρόποι αύξησης του SINR για ένα στοχευμένο κινητό σταθμό χωρίς να αυξάνεται η ισχύς μετάδοσης. Ένας τρόπος είναι να ρυθμιστούν τα ετερογενή δίκτυα έτσι ώστε σταθμοί χαμηλής ισχύος όπως τα picocells, femto cells ή / και οι αναμεταδότες αναπτύσσονται εντός της περιοχής κάλυψης της μακροκυψέλης. Επιπλέον, επειδή οι σταθμοί χαμηλής ισχύος είναι συνήθως αποτελεσματικοί εξυπηρετώντας μόνο τους κινητούς σταθμούς κοντά, μπορεί να επιτευχθούν κέρδη διαχωρισμού κυψελών από ετερογενή δίκτυα. Ωστόσο, τα ετερογενή δίκτυα εισάγουν επίσης διακυβελικές παρεμβολές αφού τα μεταδιδόμενα σήματα από τους σταθμούς βάσης χαμηλής ισχύος θα παρεμβάλουν στα σήματα της μακροκυψέλης αν βρίσκονται στον ίδιο φορέα συχνότητας. Επειδή όμως τα picocells, femtocells και οι αναμεταδότες συνήθως χρησιμοποιούν πολύ χαμηλή ισχύ μετάδοσης από τις μακροκυψέλες, η διακυβελική παρεμβολή δεν θεωρείται τόσο σοβαρή αλλά σε ορισμένες περιοχές όπως η περιοχή κάλυψης των μικρών κυψελών η εισαγόμενη παρέμβαση στο UE της μακροκυψέλης μπορεί να είναι ισχυρή.

5.2.2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΣΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στα Release 8 και 9 (Rel-8/9), των συστημάτων LTE τα διαγράμματα παρεμβολών μεταξύ κυψελών (ICI) για τα κοινά κανάλια έχουν σχεδιαστεί για ομοιογενή δίκτυα. Κάτ. 'αρχήν, παρόμοιες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ετερογενή δίκτυα LTE-Advanced 10 (Rel-10) για τα κοινά κανάλια. Ωστόσο, δεν υπάρχουν συγκεκριμένα συστήματα διαχείρισης παρεμβολών για το κανάλι ελέγχου σε συστήματα Rel-8/9 LTE. Επί πλέον, λόγω της ανάπτυξης σταθμών βάσης χαμηλής εμβέλειας εντός της κάλυψης του macrocell, η διακυβελική παρεμβολή για ετερογενή δίκτυα είναι πολύ πιο σοβαρή από ό, τι για τα ομοιογενή δίκτυα. Στα συστήματα LTE-Advanced, ένα UE δεν μπορεί να αποκωδικοποιήσει το κανάλι ελέγχου εάν το λαμβανόμενο SINR του αντίστοιχου καναλιού είναι **κάτω από -6 dB**. Επομένως, ορίζουμε την πιθανότητα διακοπής ως το λόγο των UEs των οποίων τα SINRs είναι κάτω από -6 dB προς το συνολικό αριθμό των UEs. Στα συστήματα Rel-10 LTE-Advanced, υπάρχουν δύο σημαντικές μέθοδοι για τον συντονισμό της παρεμβολής μεταξύ των κυψελών (coordinate the inter-cell interference) για ετερογενή δίκτυα:

- Time Domain Coordination
- Power Settings Solution

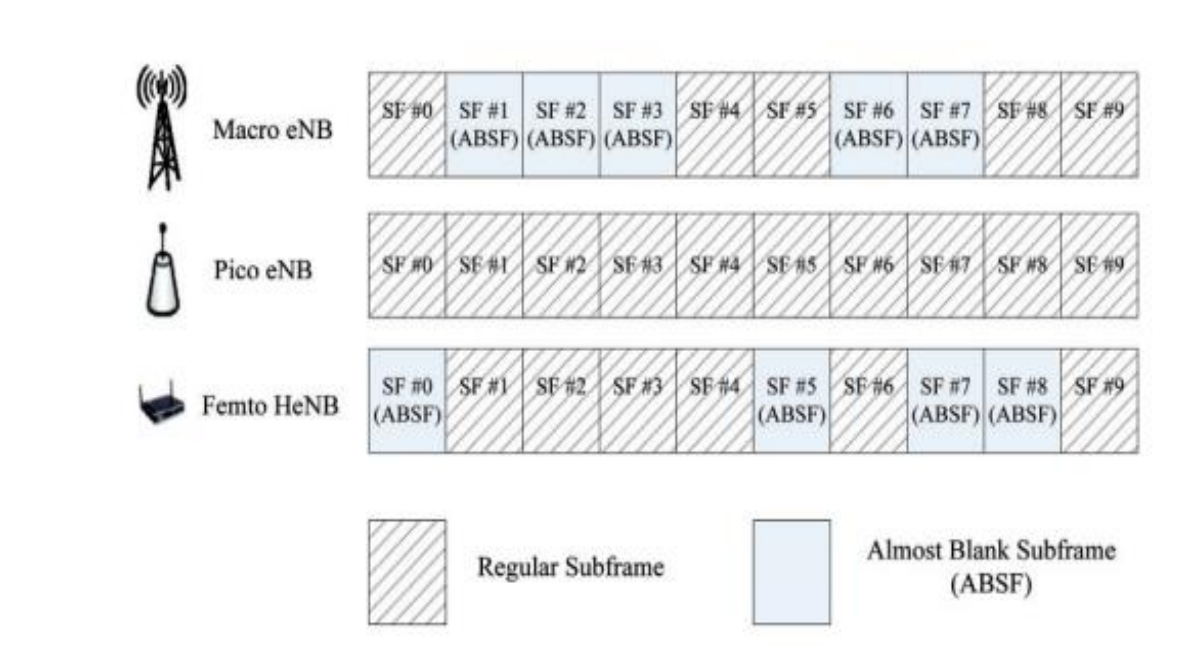
5.2.2.1.1 Time Domain Coordination

Όσο αφορά τον συντονισμό στο πεδίο του χρόνου τα σήματα τα οποία προέρχονται από πολλούς σταθμούς βάσης συντονίζονται στο χρόνο. Στα συστήματα LTE και LTE-Advanced, η χρονική διάρκεια του προγραμματισμού είναι ένα υποπλαίσιο όπου η διάρκεια του είναι 1 ms. Στο Rel-10 LTE-Advanced εκτός από τα κανονικά υποπλαίσια, προστίθεται ένας νέος τύπος υποπλαίσια που ονομάζονται σχεδόν κενά υποπλαίσια (Almost blank subframes ABS) εισάγεται με σκοπό το συντονισμό των παρεμβολών μεταξύ των κυψελών (inter-cell interference coordination ICIC) στα ετερογενή δίκτυα. Στα κανονικά υποπλαίσια μεταδίδονται όλα τα κανάλια ελέγχου, τα κοινόχρηστα / κανάλια δεδομένων, καθώς και τα σήματα αναφοράς. Ωστόσο, στα ABS υποπλαίσια μεταδίδονται μόνο οι πιο σημαντικές πληροφορίες που απαιτούνται για να λειτουργήσει το σύστημα για παλαιούς κινητούς σταθμούς Rel / 8/9 LTE / UE. Έτσι κατά τη διάρκεια της μετάδοσης ABS, τα σήματα που μεταδίδονται ουσιαστικά είναι κοινά σήματα αναφοράς (Common reference signals CRS), καθώς επίσης τα κανάλια συγχρονισμού, το κανάλι αναζήτησης σε περίπτωση ρύθμισης και άλλες υποχρεωτικές πληροφορίες συστήματος. Σε σύγκριση με ένα κανονικό υποπλαίσιο, η μέση ισχύς μετάδοσης από ένα σχεδόν κενό υποπλαίσιο συχνά μειώνεται κατά περίπου 10 dB, υποθέτοντας ότι οι σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν δύο κεραίες μετάδοσης. Η βασική αρχή



της διακυβελικής παρεμβολής στο πεδίο χρόνου (time-domain inter-cell interference coordination (ICIC) απεικονίζεται στο Σχήμα 42 για ένα σενάριο με ανάπτυξη καναλιών macrocell, picocell και femtocell HeNBs. Στο Σχήμα, 42 [45] δέκα υποπλάισια σχηματίζουν ένα πλαίσιο (10 ms) όπου SF # 0 αντιπροσωπεύει τον αριθμό υποπλάισιο 0 και το ABSF αντιπροσωπεύει τα σχεδόν κενά υποπλάισια (ABS). Ο συντονισμός παρεμβολής στο πεδίο του χρόνου μεταξύ των κυψελών (time domain inter-cell interference coordination) βασίζεται στην ακριβή και συγχρονισμένη ανάλυση του υποπλάισιου στο πεδίο του χρόνου μεταξύ όλων των κυψελών της ίδιας γεωγραφικής περιοχής. Κατά τη διάρκεια μετάδοσης υποπλαισίων όπου τα femto CSG HeNBs χρησιμοποιούν ABSF (για παράδειγμα, SF # 0, SF # 5 και SF # 8 στο Σχήμα 42) τα macro-UEs σε κοντινή απόσταση από τα femto μπορούν να εξυπηρετούνται σε αυτά τα υποπλάισια από το macrocell eNB (λήψη πληροφοριών ελέγχου), διαφορετικά κατά τη διάρκεια των κανονικών υποπλαισίων από τα HeNBs femto CSG θα αντιμετώπιζαν ισχυρή διακυβελική παρεμβολή. Παρομοίως κατά τη διάρκεια μετάδοσης υποπλαισίων όπου το macrocell eNB χρησιμοποιεί τα σχεδόν κενά υποπλάισια (SF # 1-3, SF # 6 και SF # 7 στο Σχήμα 42), δημιουργούνται λιγότερες παρεμβολές για τους χρήστες που εξυπηρετούνται από τα picocell και τα femtocell. Αυτό σημαίνει ότι τα picocell και τα femtocell είναι σε θέση να εξυπηρετούν UEs από μια μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή κατά τη διάρκεια αυτών των υποπλαισίων. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι η χρήση ABS από τις μακροκυψέλες καθιστά δυνατή την αύξηση της εκφόρτωσης της κυκλοφορίας στους κόμβους χαμηλής ισχύος. Επομένως, ο αριθμός υποπλαισίων που έχουν ρυθμιστεί ως σχεδόν κενά υποπλάισια για μια κυψέλη πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά για μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος.

Προκειμένου να ωφεληθούμε από τη συντονισμένη παρεμβολή μεταξύ των κυψελών στο πεδίο του χρόνου (ICIC base Time) η κεντρική χρονοδρομολόγηση (packet scheduler) και η προσαρμογή στο ασύρματο κανάλι (Link Adaption) πρέπει να γνωρίζουν τα μοντέλα για τα ABS σε διάφορους κόμβους μετάδοσης που περιλαμβάνουν macrocell eNBs, picocell eNBs και femtocell HeNBs. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των ABS από το macrocell, το picocell θα πρέπει να προγραμματίζει μόνο τους χρήστες που είναι κοντά στην μακροκυψέλη (υπό την προϋπόθεση πιθανής υψηλής παρεμβολής από την μακροκυψέλη). Από την άλλη τα macro-UEs που είναι κοντά σε ένα CSN HeNBs και δεν είναι εξουσιοδοτημένα από αυτά θα πρέπει να προγραμματιστούν μόνο κατά τη διάρκεια των σχεδόν κενών υποπλαισίων του αντίστοιχου femto CSG HeNB. Το ABS πρότυπο είναι περιοδικό με περίοδο 40 υποπλαισίων για λειτουργία FDD. Για την TDD λειτουργία η περίοδος του ABS πρότυπου εξαρτάται από την ρύθμιση uplink / downlink. Η περιοδικότητα 40 υποπλαισίων για το FDD επιλέχθηκε για να μεγιστοποιήσει την προστασία των κοινών καναλιών (Common channel), συμπεριλαμβανομένης της uplink HARQ εκτέλεσης. Το ABS πρότυπο ρυθμίζεται με ημι-στατικό τρόπο και σηματοδοτείται μεταξύ των eNBs μέσω της διασύνδεσης X2 ή μέσω του HeNB gateway, αν δεν υπάρχει διεπαφή X2. Εφόσον η περίοδος του ABS πρότυπου είναι 40 ms, Η σηματοδότηση μέσω της X2 γίνεται με την ανταλλαγή των bitmap's μήκους 40. Ωστόσο, για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση της τεχνικής time-domain, οι σταθμοί που μεταδίδουν σε μια δεδομένη περιοχή και είναι του ίδιου τύπου συνιστάται να χρησιμοποιούν το ίδιο ABS πρότυπο.



Σχήμα 42: ICIC στο πεδίο του χρόνου για ετερογενή δίκτυα[45]

Για άλλους τύπους σταθμών μετάδοσης όπως macrocell και picocell, το LTE-Advanced υποστηρίζει μηχανισμούς για κατανομημένες δυναμικές ρυθμίσεις των προτύπων ABSF που επιδιώκουν να μεγιστοποιήσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Για παράδειγμα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 42, για την περίπτωση του σεναρίου macro-pico, το macrocell eNB είναι που αναμένεται να χρησιμοποιήσει τα σχεδόν κενά υποπλάισια. Συνήθως, το macrocell ενεργεί ως κύριος (master), αποφασίζοντας ποια υποπλάισια θέλει να ρυθμίσει ως σχεδόν κενά υποπλάισια. Στο Rel-10 LTE-Advanced το macro eNB έχει διάφορες πηγές πληροφοριών για να αποφασίσει τον αριθμό ABS και το σχετικό μοτίβο. Για παράδειγμα:

- Το macro eNB μπορεί να αποφασίσει το μοτίβο ABS με βάση τις απαιτήσεις QoS των UE που εξυπηρετεί το ίδιο.
- Το macro eNB μπορεί να αποφασίσει το μοτίβο ABSF σε συνεργασία με το picocell με βάση τις πληροφορίες φόρτωσης (load Information) που λαμβάνει από το picocell μέσω της διεπαφής X2. Στις πληροφορίες φορτίου, το picocell και το macrocell μπορούν να μοιράζονται το επιδιωκόμενο επίπεδο μετάδοσης ισχύος τους και να συντονίζονται στο σχεδόν κενό υποπλάισιο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα συντονισμένης παρεμβολής μεταξύ κυψελών στο πεδίο του χρόνου (ICIC base Time) μπορεί να λειτουργήσει καλά για τα ετερογενή δίκτυα.

Τα πρότυπα ABSF διαμορφώνονται από την κυψέλη εξυπηρέτησης, οι γειτονικές κυψέλες γύρω από το UE δημιουργούν μια περίπλοκη και δυναμική παρεμβολή που παρατηρείται από το UE που αλλάζει από το υποπλάισιο σε υποπλάισιο.



5.2.2.1.2 Power Settings Solution

Οι ρυθμίσεις ισχύος (**Power Settings**) είναι ειδικές για τα σενάρια δικτύων macro-femto. Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής είναι να μειωθεί η ισχύς μετάδοσης του CSG femto-HeNB έτσι ώστε να μπορεί να μειωθεί και η παρεμβολή από το CSG femto HeNB στο macro-UE. Γενικά, ο σκοπός αυτής της τεχνικής στο femto CSG είναι διττός (διπλός):

- Μείωση της παρεμβολής στα macro-UEs
- Διατήρηση της κάλυψη και της απόδοσης (throughput) στα HeNB UEs

Σχετικές περιπτώσεις ρύθμισης ισχύος

Σε γενικές γραμμές, ανάλογα με το αν υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του θύματος παρεμβολών MUE (victim MUE) και του θύτη HeNB (Aggressor eNB), υπάρχουν δύο τύποι περιπτώσεων ρύθμισης ισχύος (PS): **χωρίς ανταλλαγή πληροφοριών και με ανταλλαγή πληροφοριών**. Στην πρώτη περίπτωση, δεν υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του θύματος παρεμβολών MUE και του θύτη HeNB που προκαλεί την παρεμβολή (interfering HeNB). Το HeNB ρυθμίζει την ισχύ εκπομπής με βάση μόνο τις αναφορές που λαμβάνει από το macro-eNB και από τους HUEs που εξυπηρετεί. Επομένως, δεν υπάρχει πρόσθετη διεπαφή που πρέπει να οριστεί μεταξύ του θύματος παρεμβολών MUE και του θύτη HeNB. Στην δεύτερη περίπτωση υπάρχει ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του θύματος παρεμβολών MUE και του θύτη HeNB. Συνεπώς, ο HeNB ελέγχει τη ισχύ εκπομπής όχι μόνο με βάση τις αναφορές που λαμβάνει από το macro-eNB και από τους HUEs που εξυπηρετεί αλλά λαμβάνει υπόψη και τις αναφορές του θύματος παρεμβολών MUE. Επομένως, πρέπει να υπάρχει πρόσθετη διεπαφή για αυτή την περίπτωση ρύθμισης ισχύος. Υπάρχουν πολλές προτεινόμενες ρυθμίσεις ισχύος σε αυτές τις δύο κατηγορίες:

5.2.2.1.2.1 Πρώτη περίπτωση: χωρίς ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ του θύματος παρεμβολών MUE και του θύτη HeNB (MUE → HeNB)

Τα πιο επικρατέστερα συστήματα στην κατηγορία αυτή είναι:

Μέθοδος ρύθμισης ισχύος 1 (PS1):

$$P_{TX} = \text{median}(p_{max}, p_{min}, \alpha * p_M + \beta) \text{ [dBm]} \quad (9)$$

όπου P_{TX} είναι η ισχύς μετάδοσης του CSG-femtocell, το P_{max} είναι η μέγιστη ισχύς, P_{min} είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη ισχύ, το P_M υποδηλώνει την ισχύ που λαμβάνει το femtocell από το ισχυρότερο macrocell και τα α και β είναι προκαθορισμένες παράμετροι για το αντίστοιχο CSG femtocell. Από την μέθοδο PS1 συμπεραίνετε ότι η ισχύς μετάδοσης ενός CSG femtocell εξαρτάται από την απόσταση που έχει με το πλησιέστερο macrocell. Αυτό συμβαίνει επειδή το P_M είναι μια μονοτονική φθίνουσα συνάρτηση της απόστασης μεταξύ του femtocell και του πλησιέστερου macrocell. Επίσης, η PS1 μέθοδος δείχνει ότι όταν ένα femtocell είναι πιο μακριά από ένα macrocell, θα πρέπει να χρησιμοποιεί χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης. αυτό συμβαίνει επειδή κοντά στο αντίστοιχο femtocell CSG, οι λαμβανόμενες ισχύς σημάτων των macro-UE που δεν είναι μέλη είναι συνήθως χαμηλές. Αυτή η μέθοδος ρύθμισης ισχύος μπορεί να επιτύχει αποτελεσματικά τον στόχο του μετριασμού των παρεμβολών μεταξύ των κυψελών, αλλά δεν συμβάλλει στη βελτίωση της κάλυψη και της απόδοσης των φεμτοκυψελών. Αφ' ετέρου, μπορεί να κατασκευαστεί ένα σχήμα ρύθμισης ισχύος με βάση τη διατήρηση της κάλυψης καθώς και της απόδοσης των Home-UEs.



Μέθοδος ρύθμισης ισχύος 2 (PS2):

$$P_{TX} = \text{median}(p_{max}, p_{min}, p_{HUE_RECEIVED} + x + PL) \text{ [dBm]} \quad (10)$$

όπου $P_{HUE_received}$ είναι η λαμβανόμενη παρεμβολή συν την ισχύ θορύβου στο HUE, το x είναι η στοχευμένη τιμή SINR στο HUE και PL είναι η απώλεια διαδρομής μεταξύ του HUE και του αντίστοιχου HeNB. Σε αυτή τη μέθοδο, η ισχύς μετάδοσης του HeNB καθορίζεται με βάση την παραλαβή SINR στο HUE. Στην PS2 μέθοδο, μπορούμε να δούμε ότι ο έλεγχος της ισχύος μετάδοσης του HeNB με βάση την λαμβανόμενη ισχύ από το macro eNB στο HeNB (PM) μπορεί να επιτύχει αποτελεσματικά τον πρώτο στόχο (ελαχιστοποίηση των παρεμβολών από HeNB σε μη μέλη macro-UE), αλλά δεν βοηθά τον δεύτερο στόχο (βελτιώνοντας την απόδοση των HUE).

Μέθοδος ρύθμισης ισχύος 3 (PS3):

$$P_{TX} = \text{median}(p_{max}, p_{min}, \gamma * p_M + (1 - \gamma) * p_H + PL) \text{ [dBm]} \quad (11)$$

Όπου PM, η λαμβανόμενη ισχύς από το MeNB στο HeNB, PH, είναι η λαμβανόμενη ισχύς από το HeNB στο HUE. Πάνω από αυτές τις παραμέτρους, προσθέτουμε επίσης την απώλεια διαδρομής (PL) μεταξύ του HUE και του αντίστοιχο HeNB ως μετατόπιση της εξίσωσης ρύθμισης ισχύος. Στην μέθοδο PS3, το γ είναι κλιμακωτό μεταξύ 0 και 1 για την εξισορρόπηση των δύο επιδράσεων:

- Η πρώτη επίδραση βασίζεται σε PM που μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη του πρώτου στόχου.
- Η δεύτερη επίδραση βασίζεται στο PH που μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη του δεύτερου στόχου.

5.2.2.1.2.2 Δεύτερη περίπτωση: Με ανταλλαγή πληροφοριών (MUE → HeNB)

Για να είμαστε συγκεκριμένοι, το σχήμα ρύθμισης ισχύος περιγράφεται ως εξής:

Μέθοδος ρύθμισης ισχύος 4 (PS4)

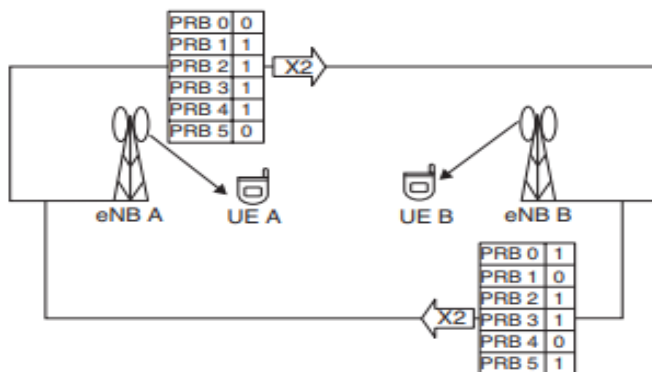
$$P_{TX} = \text{median}(p_{max}, p_{min}, \alpha * p_{SINR} + \beta) \text{ [dBm]} \quad (12)$$

όπου το PSINR είναι το SINR μεταξύ του macro eNB → MUE και closest HeNB → MUE.



5.2.2.2 ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΣΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι μέθοδοι διαχείρισης παρεμβολών στα κανάλια ελέγχου που περιεγραφήκαν στην Ενότητα 5.2.2.1 μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την μείωση της παρεμβολής στα κανάλια δεδομένων. Σε αυτή την ενότητα θα εισαγάγουμε επιπλέον μεθόδους για την διαχείριση των παρεμβολών στο κανάλι δεδομένων στα ετερογενή δίκτυα. Οι παρεμβολές στο LTE ελέγχονται ημι-στατικά στον τομέα συχνοτήτων, με **συνδυασμό** τον έλεγχο ισχύος από τους σταθμούς βάσης της μακροκυψέλης, γνωστούς επίσης ως ενισχυμένους σταθμούς βάσης (enhanced nodeBs eNBs). Ο συντονισμός διευκολύνεται από τη σηματοδότηση μεταξύ των σταθμών μέσω της διεπαφής X2. Ένα bitmap που ονομάζεται relative narrowband transmission power (RNTP) αντιπροσωπεύει την κατάσταση φορτίου για κάθε resource block όπου ανταλλάσσεται μεταξύ των σταθμών βάσης για να ενισχύσει την αντιμετώπιση της διακυβελικής παρεμβολής. Με βάση αυτό το bitmap οι σταθμοί βάσης ανταλλάζουν τις πληροφορίες προγραμματισμού που έχουν τεθεί από τον MAC Scheduler για κάθε Resource block. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 43, ο σταθμός βάσης A στέλνει το bitmap RNTP για τα έξι PRB's του μέσω της διασύνδεσης X2 για να πληροφορήσει τον σταθμό βάσης B ότι η ισχύς μετάδοσης για τα PRB 1, 2, 3 και 4 θα είναι κάτω από ένα ορισμένο κατώφλι για μια διαμορφώσιμη περίοδο του χρόνου, ενώ οι τιμές PRB 0 και 5 θα είναι υψηλότερες. Ομοίως, ο σταθμός βάσης B στέλνει το bitmap RNTP μέσω της διεπαφής X2 για να ενημερώσει τον σταθμό βάσης A ότι οι ισχύς μετάδοσης για τα PRB 0, 2, 3 και 5 θα είναι κάτω και τα PRB 1 και 4 θα είναι πάνω από το όριο. Ως αποτέλεσμα, και τα δύο eNB μπορούν να επιχειρήσουν να δώσουν προτεραιότητα στον προγραμματισμό της μετάδοσης δεδομένων χρήστη (PDSCH) για την ελαχιστοποίηση της παρεμβολής μεταξύ κυψελών στον τομέα συχνοτήτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρόλο που το RNTP παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αναμενόμενο επίπεδο παρεμβολής σε κάθε PRB, η ακριβής συμπεριφορά του Mac Scheduler του σταθμού βάσης κατά τη λήψη του RNTP δεν είναι τυποποιημένη. Η Ένδειξη υψηλής παρεμβολής (HII) είναι η διπλή λειτουργία του RNTP στην ανερχόμενη ζεύξη (UL), που προέρχεται από έναν σταθμό βάσης για να ενημερώσει τα γειτονικούς σταθμούς βάσης ότι θα προγραμματίσει ορισμένους UEs με υψηλή ισχύς μετάδοσης και συνεπώς υψηλή παρεμβολή σε άλλους χρήστες σε αυτές τις θέσεις συχνότητας. Εκτός από έναν προληπτικό δείκτη όπως ο HII, ένας ενεργός δείκτης που ονομάζεται δείκτης υπερφόρτωσης (OI) μπορεί να ανταλλάσσεται μέσω της X2 για το UL ICIC. Ο δείκτης OI έχει τρεις τιμές, χαμηλή, μεσαία και υψηλή όπου οι τιμές αυτές προσδιορίζουν τα επίπεδα παρεμβολής που λαμβάνονται για κάθε PRB του eNB. Όμοια με το RNTP, η ακριβής συμπεριφορά για τους σταθμούς βάσης που λαμβάνουν HII ή OI δεν είναι τυποποιημένη. Αυτά τα ημι-στατικά προγράμματα ICIC ανανεώνονται κάθε 20 ms, ώστε να μην έχουμε υψηλό φορτίο στην σηματοδότηση της διεπαφής X2.



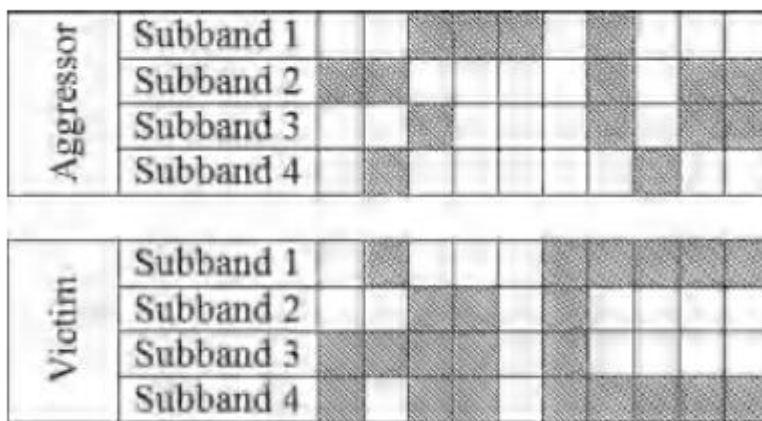
Σχήμα 43:παράδειγμα RNTP bitmap[45]



5.3 ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΚΥΨΕΛΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ(e-ICIC) ΣΤΑ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ

5.3.1 E-ICIC ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Στις προδιαγραφές των Release-8/9/10 ορίζεται μόνο η μέγιστη ισχύς μετάδοσης των σταθμών βάσης χαμηλής ισχύος. Ωστόσο η ρύθμιση της ισχύς εκπομπής των σταθμών βάσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως για παράδειγμα η περιοχή, η παρεμβολή που μπορεί να προκαλέσει στις γειτονικές κυψέλες και άλλους πολλούς. Για παράδειγμα, είναι σημαντικό να ρυθμιστεί η ισχύς μετάδοσης του CSG για να μειωθεί το μέγεθος της οπής κάλυψης που “βλέπουν” τα macro UEs.



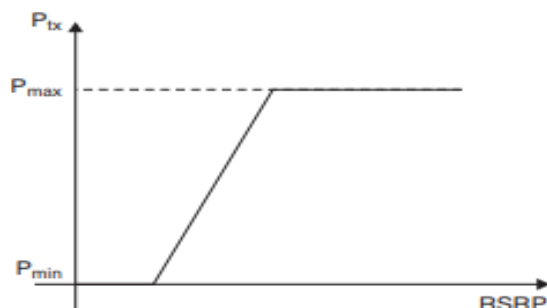
Σχήμα 44: Δυναμικός προγραμματισμός μεταξύ κυψελών [45]

Ρύθμιση της ισχύς εκπομπής της φεμτοκυψέλης με βάση την ισχυρότερη ισχύ λήψης από την μακροκυψέλη

Αυτό βασίζεται στις μετρήσεις RSRP που εκτελεί το femtocell στο ισχυρότερο P_M σήμα που λαμβάνει από μια μακροκυψέλη, έτσι ώστε η ισχύς μετάδοσης P_{TX} του να είναι ρυθμισμένη σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$P_{TX} = \max(\min(\alpha * p_M + \beta, P_{max}), p_{min}) \quad [\text{dBm}], \quad (13)$$

όπου P_{max} και P_{min} είναι η μέγιστη και ελάχιστη ισχύς μετάδοσης της φεμτοκυψέλης αντίστοιχα, α και β είναι παράμετροι που ελέγχουν την κλίση και το δυναμικό εύρος του ελέγχου ισχύος αντίστοιχα. Ένα παράδειγμα της συνάρτησης εκπομπής (11) φαίνεται στο σχήμα 45[45].



Σχήμα 45: απεικόνιση της συνάρτησης εκπομπής (5.7)[45]

Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου μετάδοσης είναι ότι δεν απαιτεί ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ σταθμών βάσης ή οποιαδήποτε μορφή μέτρησης της κινητής συσκευής MUE. Η ισχύς μετάδοσης εξαρτάται από την απώλεια διάδοσης συν από την κάλυψη της μακροκυψέλης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η απώλεια διείσδυσης λόγω του τοίχου και η απώλεια εσωτερικής διάδοσης μεταξύ του MUE και του femtocell που προκαλεί την παρεμβολή μπορούν να ληφθούν υπόψη για πιο ακριβή έλεγχο παρεμβολών. Αυτό μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους [26]:

- Το MUE εκτελεί RSRP μετρήσεις στην φεμτοκυψέλη και τις στέλνει στην μακροκυψέλη (δηλαδή απώλειες διάδοσης μεταξύ φεμτοκυψέλης και MUE)- η μακροκυψέλη μεταδίδει την αναφορά RSRP στην φεμτοκυψέλη μέσω backhaul,
- Το femtocell “ακούει” την uplink μετάδοση του MUE και χρησιμοποιεί αυτό το uplink RSRP για να προσεγγίσει το downlink RSRP, ωστόσο η ανάθεση των resource block στο MUE πρέπει πρώτα να μεταβιβαστεί στην φεμτοκυψέλη μέσω της backhaul σύνδεσης.

Ρύθμιση της ισχύς εκπομπής της φεμτοκυψέλης με βάση των SINR μετρήσεων των UE.

Με τον έλεγχο του SINR του FUE, η παρεμβολή που δέχεται το MUE κοντά σε CSG μπορεί να μειωθεί, ρυθμίζοντας την ισχύ μετάδοσης της φεμτοκυψέλης βάσει [27]:

$$p_{FUE_{RECEIVED}} = 10 * \log_{10}(10^{intf/10} + 10^{N_0/10}) + x \quad [\text{dBm}] \quad (14)$$

$$p_{HeNB} = \max(\min(p_{Lest} + p_{FUE_{RECEIVED}}, P_{max}), p_{min}) \quad [\text{dBm}] \quad (15)$$

Όπου η μεταβλητή Intf αντιπροσωπεύει την παρεμβολή που δέχεται το FUE από την μακροκυψέλη, η μεταβλητή N0 αντιπροσωπεύει τον θόρυβο, η x αντιπροσωπεύει το επιδιωκόμενο όριο του SINR για το FUE, η P_{Lest} είναι η εκτιμώμενη απώλεια διάδοσης μεταξύ της φεμτοκυψέλης και του FUE, και οι μεταβλητές P_{max} και P_{min} ορίζονται όμοια με αυτές του (5.2). Μια άλλη μέθοδος ελέγχου της ισχύς μετάδοσης η οποία βασίζεται στις SINR αναφορές του MUE δίνεται στην ακόλουθη εξίσωση.

$$P_{TX} = \max(\min(\alpha * p_{SINR} + \beta, p_{max}), p_{min}) \quad [\text{dBm}] \quad (16)$$



Όσον αφορά την άνω ζεύξη η αντιμετώπιση των παρεμβολών μεταξύ δυο επίπεδων (Cross tier interference) γίνεται με την εφαρμογή τριών μεθόδων. Με βάση τον τύπο 8 το SINR της μακροκυψέλης μπορεί να βελτιωθεί αν μειώσουμε την ισχύ εκπομπής των femto UE που προκαλούν την παρεμβολή. Οι τρεις μέθοδοι αφορούν ακριβώς αυτή την τεχνική να μειώνουν δηλαδή την ισχύ εκπομπής τα τερματικά τα οποία προκαλούν την παρεμβολή.

ΜΕΘΟΔΟΣ Α: Η μέθοδος αυτή είναι η απλούστερη μέθοδος. Συμβολίζουμε με γ_0 το SINR κατώφλι. Το MeNB κάνει τακτικά έλεγχο για το SINR ($\text{SINR} \leq \gamma_0$), εάν δεν ισχύ η συνθήκη τότε η μακροκυψέλη στέλνει μήνυμα σηματοδότησης μέσω της backhaul σύνδεσης σε όλες τις γειτονικές φεμτοκυψέλες ώστε αυτά με την σειρά τους να ειδοποιηθούν τα FUE να μειώσουν την ισχύ εκπομπής. Τα FUEs τότε μειώνουν την ισχύ εκπομπής τους κατά ΔP . Το MeNB ξανά κάνει έλεγχο ($\text{SINR} \geq \gamma_0$) εάν δεν ισχύει η συνθήκη η σηματοδότηση στις φεμτοκυψέλες εξακολουθεί να γίνεται μέχρι να επιτευχθεί η συνθήκη. Τα FUE μειώνουν την ισχύ εκπομπής κατά $\Delta P = 1 \text{ dBm}$ τόσες φορές όσο και ο αριθμός των μνηυμάτων σηματοδότησης.

ΜΕΘΟΔΟΣ Β: Η Διαφορά αυτής της μεθόδου με την πρώτη είναι ότι δεν χαμηλώνουν όλα τα FUEs την ισχύ εκπομπής τους έλα ένα υποσύνολο από αυτά. Το υποσύνολο αποτελείται από τα FUEs τα οποία η ισχύς λήψης στον δέκτη από αυτά ξεπερνάει ένα κατώφλι. Το κατώφλι ορίζεται από τον τύπο:

$$\text{Threshold} = \text{median}(I_1, I_2, I_3, \dots, I_N) \text{ [dBm]} \quad (17)$$

Το MeNB κάνει έλεγχο της συνθήκης αν δεν ισχύ, αυξάνει το κατώφλι οπότε αυξάνεται και ο αριθμός των FUE που θα μειώσουν την ισχύ εκπομπής. Τα FUE μειώνουν την ισχύ εκπομπής κατά $\Delta P = 1 \text{ dBm}$;

ΜΕΘΟΔΟΣ Γ: Η Μέθοδος αφορά μια διαφοροποίηση της μεθόδου Β όπου εδώ κάθε φορά που αυξάνεται το κατώφλι παράλληλα αυξάνεται και η τιμή του ΔP . Για παράδειγμα για $t=0$, τα FUE θα μειώσουν κατά ΔP ενώ για $t=1$ τα FUE' θα μειώσουν κατά $\Delta P = \Delta P + 1$;

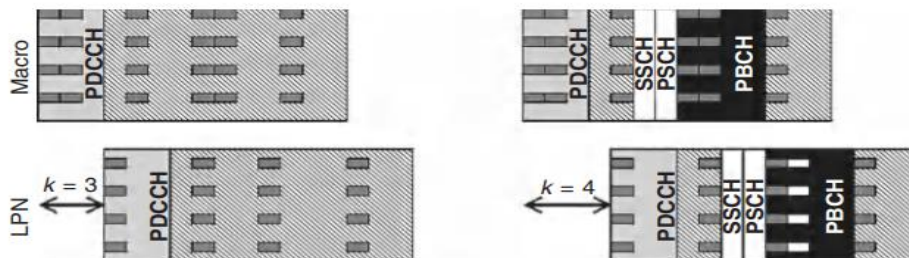
5.3.2 E-ICIC ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Οι λύσεις που παρέχονται στο πεδίο του χρόνου αποτελούν και αυτές τμήμα του e-ICIC και αναφέρονται στο Release-10. Οι λύσεις στο πεδίο του χρόνου υποθέτουν ότι μπορεί να επιτευχθεί συγχρονισμός χρόνου σε όλες τις συμμετέχουσες ετερογενείς στρώσεις.

Symbol shifting – Δεδομένου ότι το PDCCH καταλαμβάνει όλο το εύρος ζώνης, μια απλή προσέγγιση για να αποφευχθεί η άμεση σύγκρουση των καναλιών ελέγχου μεταξύ του θύτη και της κυψέλης η οποία θεωρείται το θύμα παρεμβολών (victim cell) είναι να απενεργοποιηθούν (offset) k σύμβολα μεταξύ τους. Η τεχνική Symbol shifting βοηθά επίσης στον έλεγχο της παρεμβολής των CRS σημάτων. Ανάλογα με τη διαμόρφωση κεραίας των ετερογενών στρωμάτων, διάφορες τιμές του k (αριθμός OFDM συμβολών) μπορεί να είναι απαραίτητες για την αποφυγή παρεμβολών σε διαφορετικά κανάλια ελέγχου. Λαμβάνοντας υπόψη το σχήμα 46 ως παράδειγμα, τα σύμβολα $k = 3$ και 4 απαιτούνται για την προστασία των σημάτων PDCCH και BCH αντίστοιχα. Η τεχνική Symbol shifting είναι συμβατή με το FDD, καθώς οι μεταδόσεις UL και DL είναι σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων. Για το TDD, ωστόσο, τεχνική Symbol shifting μπορεί να προκαλέσει υπερβολική παρεμβολή UL-DL μεταξύ των μετατοπισμένων συμβόλων.

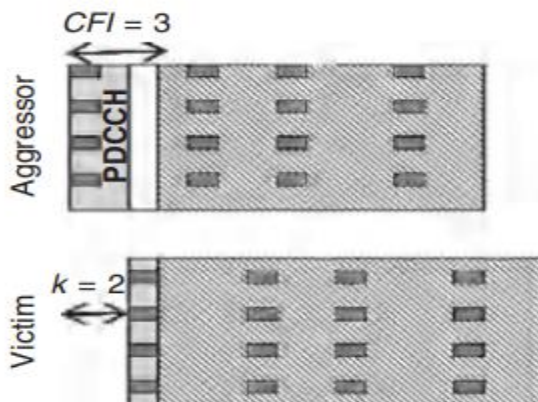


Η τεχνική **Symbol level shifting** μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την προστασία του πρώτου συμβόλου OFDM στο οποίο υπάρχουν τα ακόλουθα σήματα physical control format indicator channel (PCFICH) , physical HARQ indicator channel (PHICH) τα οποία μεταφέρονται μαζί με το PDCCH. Το PCFICH βρίσκεται στο πρώτο σύμβολο OFDM, υποδεικνύοντας το εύρος συμβόλων του PDCCH ενώ το PHICH μεταδίδεται είτε στο πρώτο είτε και στα τρία σύμβολα.



Σχήμα 46: απεικόνιση της Symbol shifting τεχνικής[45]

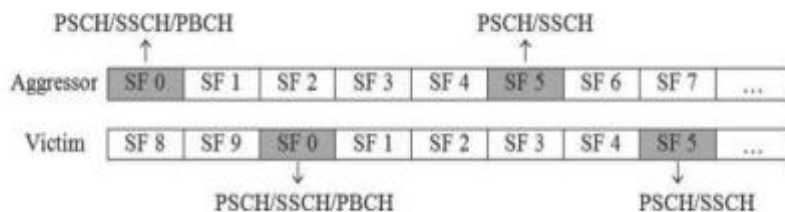
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 47 [45], το aggressor cell θέτοντας στο PCFICH το αριθμό 3 ενώ το PDCCH μεταδίδεται μόνο στα δυο πρώτα, με $k=2$ μετατόπισης συμβολών, το πρώτο σύμβολο OFDM του victim cell δεν υποφέρει από οποιαδήποτε παρεμβολή. Αυτό είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο όταν οι κυψέλες έχουν ελαφρύ φορτίο. Μία εναλλακτική λύση περιλαμβάνει ένα υπερδιάστατο PCFICH και ένα ελαφρώς φορτισμένο PDCCH. Με $CFI = 3$, το ελαφρώς φορτισμένο PDCCH βρίσκεται αραιά και στα τρία OFDM σύμβολα, έτσι ώστε ορισμένα resource elements να είναι μηδενισμένα για έλεγχο παρεμβολών. Οι παλαιό τύποι UEs είναι σε θέση να λειτουργούν στο ελαφρώς φορτισμένο PDCCH κανάλι εφόσον κατασκευάζονται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανόνες για τυφλή αποκωδικοποίηση του PDCCH. Αν και μπορεί να αποφευχθεί η άμεση σύγκρουση των PCFICH σημάτων μεταξύ των macro και των picocell με το σωστό σχεδιασμό ID- κυψελών, το PCFICH ενδέχεται να υποστεί παρεμβολή από τα CRS σήματα. Η Symbol shifting τεχνική μπορεί να συμβάλει στην άμβλυνση αυτού του προβλήματος, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις οι περιορισμοί του συστήματος ενδέχεται να καταστήσουν αυτήν τη μέθοδο μη αποτελεσματική. Εάν το PCFICH δεν αποδιαμορφωθεί σωστά, μπορεί να οδηγήσει σε τεράστια απώλεια απόδοσης λόγω λανθασμένης τιμής CFI. Όταν το PCFICH δεν είναι αξιόπιστο, μπορεί να είναι δυνατό η τιμή CFI να ρυθμιστεί ημι-στατικά, και το UE να ενημερώνετε με RRC σηματοδότηση. Μια άλλη πιθανότητα είναι να ρυθμίζετε πάντοτε την τιμή έκφρασης του συμβόλου PHICH στο μέγιστο, έτσι ώστε να μην είναι απαραίτητη η ανίχνευση PCFICH.



Σχήμα 47 προστασία του πρώτου OFDM συμβόλου[45]

Η περιττή αποτυχία της ραδιοζεύξης (RLF) μπορεί να δηλωθεί εξαιτίας της κακής ποιότητας μέσου σύνδεσης που προκύπτει από την παρεμβολή του PDSCH του aggressor στα CRS του victim, παρόλο που η σύνδεση αυτή ήταν ακόμα δυνατή με την εφαρμογή του ενισχυμένου ICIC. Το πρόβλημα της αποτυχίας της ραδιοζεύξης(RLF) μπορεί να μετριαστεί με το να αφήσουμε κενά τα REs της aggressor κυψέλης τα οποία επικαλύπτουν τα CRS του victim cell.

Subframe level shifting- Παρόλο που η τεχνική symbol level shifting μπορεί να εφαρμοστεί για την αποτροπή παρεμβολών στο PBCH, στο TDD τμήμα όμως του PBCH θα προκαλεί παρεμβολή στο SSCH. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική subframe shift . Για το FDD, το s μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Το σχήμα 48 δείχνει ένα σύστημα FDD με $s = 2$ στο οποίο αποφεύγονται οι παρεμβολές στα ακόλουθα σήματα PSCH / SSCH / PBCH των διαφορετικών επιπέδων.

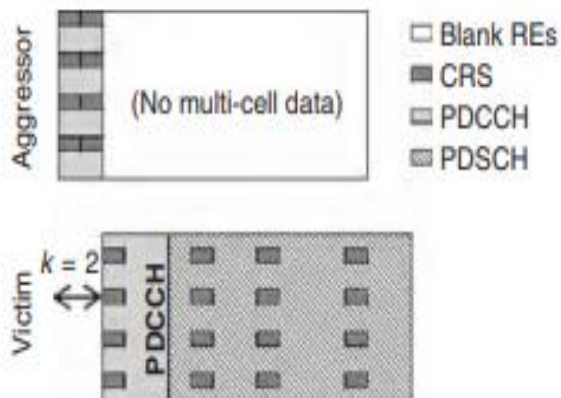


Σχήμα 48: Απεικόνιση της Subframe shifting τεχνικής $=2$ για μείωση παρεμβολής στα PSCH,SSCH και PBCH των διαφορετικών επιπέδων [45]

MBSFN subframe – Ένα multi-cast/broadcast single frequency network (MBSFN) υποπλάσιο, όπως υποδηλώνει το όνομά του έχει σχεδιαστεί για τη μεταφορά multi-cast/broadcast πληροφοριών. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία των CRS, PCFICH και PHICH σημάτων στην περιοχή που τοποθετούνται τα PDCCH στο resource Grid. Ως αποτέλεσμα, το εύρος του PDCCH είναι το πολύ δύο σύμβολα OFDM στα MBSFN υποπλάσια. Τα υπόλοιπα σύμβολα OFDM πέρα από την περιοχή των PDCCH σημάτων προορίζονται για δεδομένα πολλαπλών κυψελών και δεν υπάρχουν unicast δεδομένα ή CRS. Όλα τα UE γνωρίζουν την κατανομή των MBSFN και μη-MBSFN υποπλαισίων ανεξάρτητα από το αν η multi-cast/broadcast λήψη υποστηρίζεται από μεμονωμένα UE. Με την symbol και /ή subframe shift τεχνική, τα κανάλια ελέγχου του victim θα μπορούσαν να υποφέρουν ακόμα από παρεμβολές από τα PDSCH σήματα του aggressor. Εάν κατά την διάρκεια των MBSFN υποπλαισίων του aggressor δεν



στείλουμε δεδομένα πολλαπλών κεραιών τότε μπορούμε να μειώσουμε τις παρεμβολές που προκαλούνται στα αντίστοιχα επικαλυπτόμενα κανάλια victim. Η τεχνική MBSFN subframe μπορεί να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με τις symbol και subframe shift τεχνικές για καλύτερο χειρισμό παρεμβολών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 49 [45].



Σχήμα 49: MBSFN υποπλαίσιο με $k=2$ μετατοπίσεις συμβολών[45]

Ωστόσο, τόσο για FDD όσο και για TDD, ορισμένα υποπλαίσια δεν μπορούν να οριστούν ως MBSFN υποπλαίσια. Αυτά τα υποπλαίσια είναι αυτά που μεταφέρουν PDSCH / SSCH, PBCH ή paging πληροφορίες, δηλαδή τα $\{0, 4, 5, 9\}$ υποπλαίσια για FDD και $\{0, 1, 5, 6\}$ υποπλαίσια στο TDD.

5.3.3 E-ICIC ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Στην προηγούμενη ενότητα περιεγραφήκαν οι παλαιότερες μέθοδοι συντονισμένης διακυψελικής παρεμβολής (ICIC), οι οποίες είναι βασικά τεχνικές ICIC στο πεδίο των συχνοτήτων, βασιζόμενοι στον προγραμματισμό των χρηστών για την επίτευξη αποφυγής παρεμβολών με βάση το RNTP. Ως εκ τούτου, αυτά τα συστήματα είναι χρήσιμα μόνο για κανάλια που μπορούν να προγραμματιστούν, αλλά όχι για κανάλια ελέγχου. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε περαιτέρω τεχνικές στο πεδίο της συχνότητας για το ενισχυμένο ICIC (enhanced ICIC).

Resource reservation – Ένας απλός τρόπος κατανομής των πόρων μεταξύ των μακροκυψελών και των σταθμών βάσης χαμηλής ισχύος είναι η FDM τεχνική. Για παράδειγμα, ολόκληρο το εύρος ζώνης μπορεί να χωριστεί σε δύο ζώνες, μια για τους χρήστες που εξυπηρετούνται από την μακροκυψέλη και η άλλη για τους χρήστες που εξυπηρετούνται από την φεμτοκυψέλη. Με αυτό τον τρόπο η ζώνη συχνοτήτων που αντιστοιχεί στην μακροκυψέλη δεν απειλείται από οποιαδήποτε οπή κάλυψης που προκαλείται από τις φεμτοκυψέλες. Μια άλλη σχετική έννοια αναφέρεται ως προσαρμοστική επιλογή συχνότητας (adaptive frequency selection), όπου το femtocell επιλέγει προσαρμοστικά τη φέρουσα συχνότητά με βάση το μικρότερο RSRP που δέχεται μέσω τις διεπαφής X2 από την μακροκυψέλη και από ορισμένες πληροφορίες προτεραιότητας επανεπιλογής κυψέλης που σηματοδοτούνται από τα ανώτερα στρώματα. Στο παράδειγμα που φαίνεται στο Σχήμα 50[45], το Femto-A επιλέγει τη ζώνη 2 που αντιστοιχεί στη ζώνη με το μικρότερο

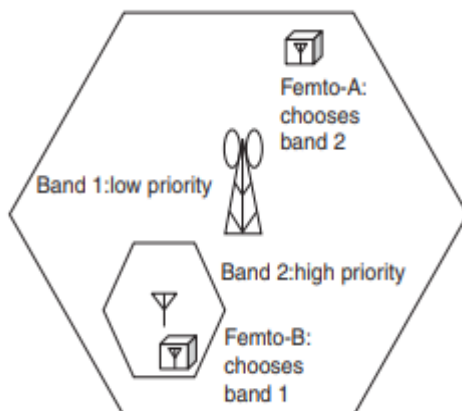


Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

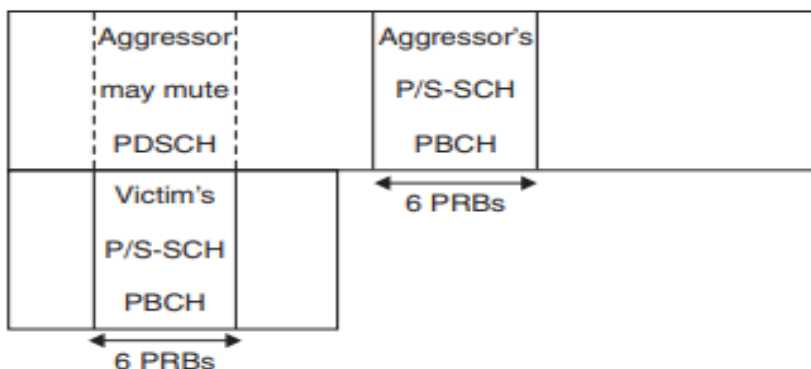
Τσίπης Λευτέρης

RSRP. Σε περίπτωση που πολλαπλά στρώματα επικαλύπτονται το ένα με το άλλο, όπως και στο Femto-B, επιλέγει τη ζώνη συχνότητας φορέα 1 χαμηλότερης προτεραιότητας.



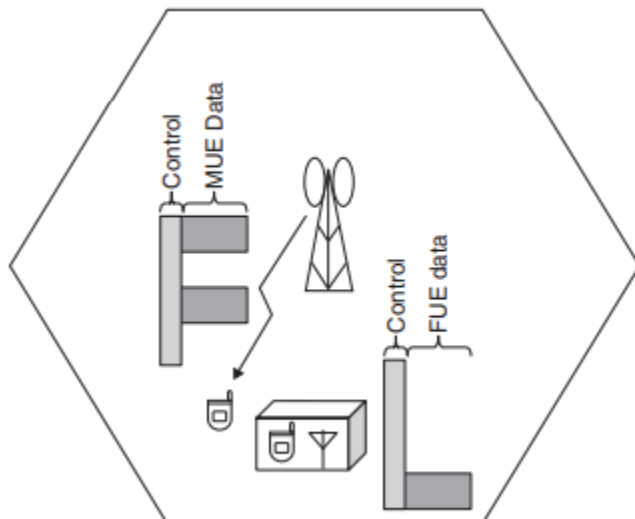
Σχήμα 50: Resource reservation τεχνική.[45]

Carrier offset – Αν η διαφορά στην χρήση του εύρους ζώνης μεταξύ του του aggressor και του victim cell είναι αρκετά μεγάλη, η απενεργοποίηση του φορέα σε περισσότερα από 6 Resource blocks μπορεί να συμβάλει στην μείωση της παρεμβολής στα PSCH, SSCH και PBCH κανάλια. Το aggressor cell μπορεί να μειώσει την ισχύ μετάδοσης στην περιοχή συχνότητας που επικαλύπτει τα έξι PRB που περιέχουν τα SCH / PBCH του victim cell η μη προγραμματίζοντας το PDSCH εκεί, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 51 [45].



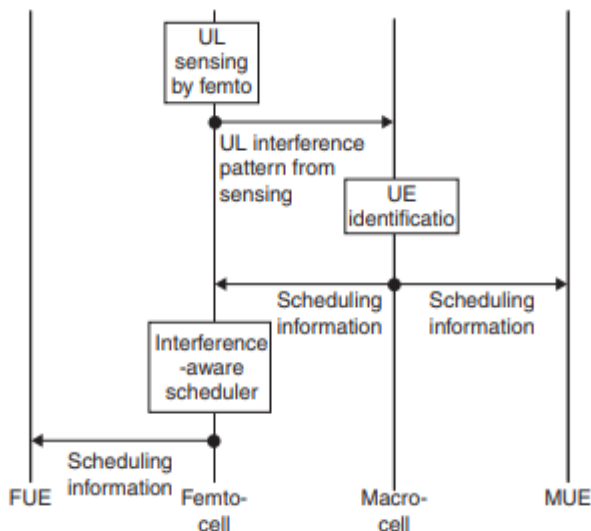
Σχήμα 51 : Τμήμα εύρους ζώνης που επικαλύπτεται με την απενεργοποίηση του φορέα [45]

Μια παρόμοια ιδέα είναι να περιοριστεί η μετάδοση των PDSCH σημάτων του aggressor cell μέσα σε μια περιορισμένη υποζώνη, έτσι ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η παρεμβολή στο victim cell. Αυτό μπορεί να γίνει με ημι-στατικό τρόπο για παράδειγμα, η τοποθέτηση των resource block του victim cell εξαρτάται από την τοποθεσία του UE. Όταν το HeNB αποκτήσει τις πληροφορίες θέσης, θα γνωρίζει ποια resource blocks θα εκχωρηθούν σε ένα κοντινό macro-UE και θα αποφύγει τη χρήση τους, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 52 [45].



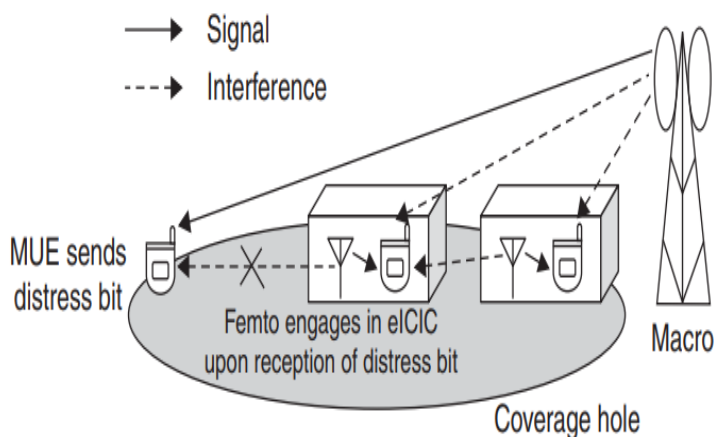
Σχήμα 52: Περιορισμός στο εύρος ζώνης [45]

Victim detection - Με την ανίχνευση της μετάδοσης των MUE στην ανερχόμενη ζεύξη κοντά στην περιοχή κάλυψης του HeNB, από τα χαρακτηριστικά σήματα αναφοράς στο uplink, τα femtocell είναι σε θέση να εξακριβώνουν την παρουσία του MUE έτσι ώστε να αποφευχθεί η άσκοπη ενεργοποίηση του e-ICIC. Αν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση backhaul, η ανίχνευση του θύματος παρεμβολών μπορεί να βασίζεται σε αναφορές MUE που αποστέλλονται στο παρεμβαλλόμενο femtocell μέσω του backhaul. Για παράδειγμα, η ταυτότητα του victim-UE μπορεί να προσδιοριστεί στην πλευρά της μακροκυψέλης έτσι ώστε ο συντονισμένος προγραμματισμός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελαττωθεί η παρεμβολή στο PDSCH από το femtocell. Τα βήματα για αυτό το παράδειγμα φαίνονται στο Σχήμα 53 [45]. Η φεμτοκυψέλη εκτελεί ανίχνευση της μετάδοσης του MUE στο uplink και στέλνει το πρότυπο παρεμβολής στην μακροκυψέλη. Η μακροκυψέλη συγκρίνει το πρότυπο που έλαβε με το δικό του και επιβεβαιώνει το victim-MUE. Η μακροκυψέλη τότε στέλνει τις πληροφορίες προγραμματισμού κατερχόμενης ζεύξης σε εκείνο το MUE και επίσης προωθεί αυτές τις πληροφορίες στο παρεμβαλλόμενο femto cell έτσι ώστε να αποφύγει τη χρήση αυτών των resource blocks.



Σχήμα 53 : Ανίχνευση της μετάδοσης του δέκτη παρεμβολών και συντονισμένος προγραμματισμός [45]

Μια άλλη μέθοδος η οποία όμως δεν είναι συμβατή με τα παλιότερα πρότυπα για την ανίχνευση του victim-UE, είναι τα UE που υφίστανται ισχυρές παρεμβολές να στείλουν ένα 'distress bit'. Για παράδειγμα, η CSG κυψέλη που ανιχνεύει αυτό το δυαδικό ψηφίο μπορεί να ενεργοποιήσει τους ενισχυμένους μηχανισμούς ICIC, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 54 [45]. Αυτό το δυαδικό ψηφίο μπορεί να εξασφαλίσει ότι οι μηχανισμοί αυτοί ενεργοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητο.



Σχήμα 54 : Το MUE στέλνει ένα 'distress bit' στο FeNB που προκαλεί την παρεμβολή [45]



5.3.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ FFR

5.3.4.1 STRICT FFR SCHEME

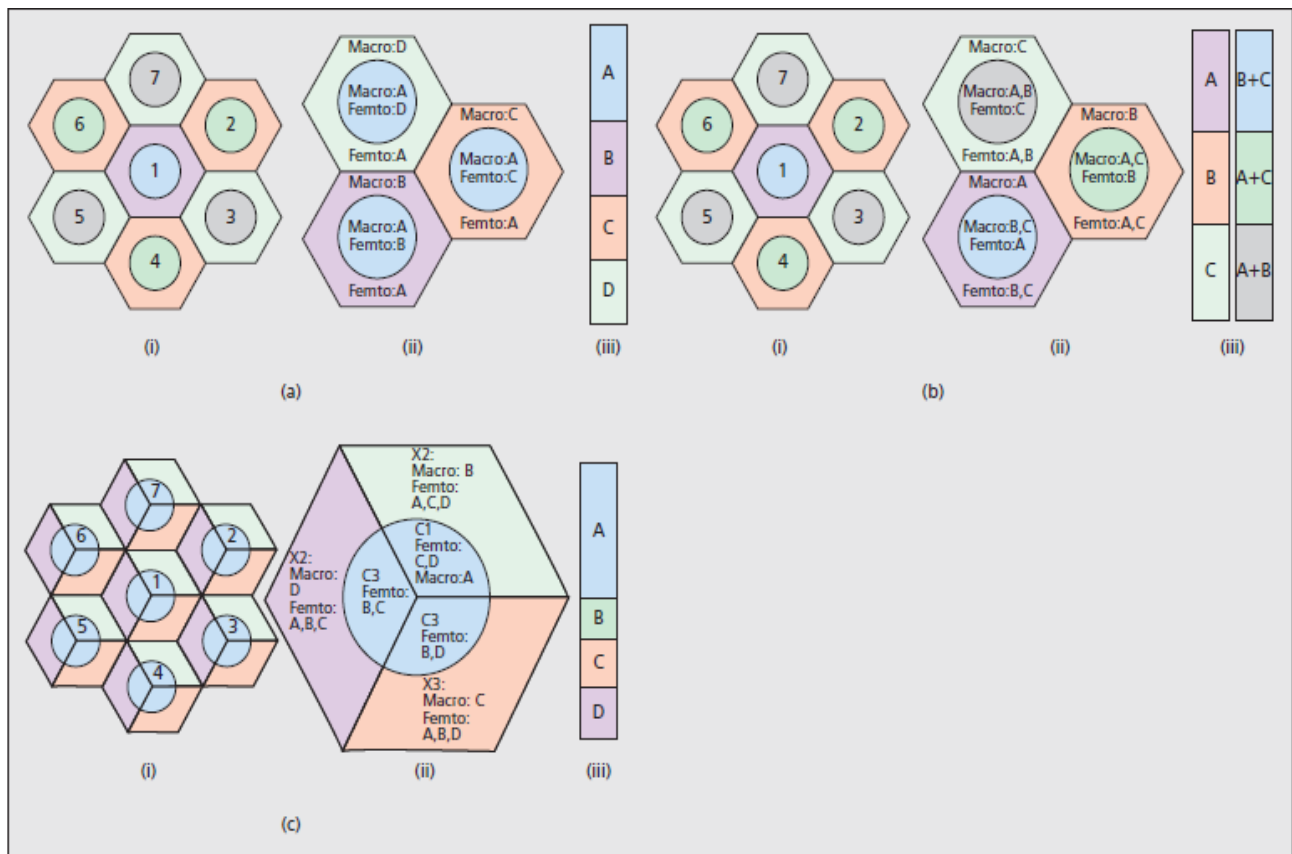
Ο βασικός μηχανισμός εδώ είναι να εφαρμοστεί ένας συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας (frequency reuse factor-FRF) 1 για τα MUE της κεντρικής ζώνης και ένα FRF από N για τα MUE που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης. Η διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων χωρίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε σε ένα σύμπλεγμα N κυψελών, τα MUE της κεντρικής ζώνης σε κάθε μακροκυψέλη θα εξυπηρετούνται σε μια κοινή υποζώνη συχνοτήτων, ενώ οι υπόλοιπες υποζώνες τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετούν τους χρήστες που βρίσκονται στην άκρη των κυψελών και ταυτόχρονα να είναι σε ορθογωνικότητα με τις αντίστοιχες υποζώνες συχνοτήτων που εξυπηρετούν οι γειτονικοί σταθμοί βάσης τα UE που βρίσκονται στην άκρη της περιοχής κάλυψής τους. Επομένως, απαιτείται ένας συνολικός αριθμός $(N + 1)$ υποζώνες συχνοτήτων. Το σχήμα 5.22α (i) [46] απεικονίζει ένα κυψελοειδές δίκτυο με Strick FFR. Το σχήμα 5.22α (ii) απεικονίζει ένα Strick FFR με $FRF N = 3$ για τα MUE που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης. Το σχήμα 5.22α (iii) απεικονίζει την τμηματοποίηση των ζωνών συχνοτήτων. Με αυτή την τεχνική η inter cell co-tier παρεμβολή μειώνεται σημαντικά. Καθώς τα MUE που βρίσκονται στην άκρη της μακροκυψέλης (π.χ. μακροκυψέλη 1) δεν δέχεται παρεμβολές από οποιοδήποτε άλλο MeNB (βαθμίδα 1). Επίσης, δεδομένου στο κέντρο της κυψέλης χρησιμοποιείτε διαφορετική συχνότητα από την περιοχή στην άκρη της κυψέλης (edge-zone) η intra cell co-tier παρεμβολή για τα MUE μετριάζεται. Για την μείωση της inter cell cross-tier παρεμβολής ένα HeNB που βρίσκεται στο κέντρο της μακροκυψέλης πρέπει να επιλέξει μια συχνότητα λειτουργίας η οποία στην αντίστοιχη μακροκυψέλη που την καλύπτει χρησιμοποιείτε για να εξυπηρετεί του χρήστες της που βρίσκονται στην άκρη της εμβέλειάς της. Σε μια τέτοια κατανομή, η cross-tier παρεμβολή θα ήταν ισχυρή κοντά στις μεταβατικές περιοχές των κεντρικών και ακραίων ζωνών σε μια μακροκυψέλη. Επίσης η co-tier παρεμβολή μεταξύ των HeNBs μπορεί να γίνει σοβαρή, ειδικά στην edge zone της μακροκυψέλης καθώς όλες οι γειτονικές HeNB κυψέλες στην συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιούν περιορισμένους αριθμούς υποκαναλιών από την ίδια υποζώνη συχνοτήτων.

5.3.4.2 SOFT FFR SCHEME

Άλλη παραλλαγή της FFR είναι η soft frequency reuse (SFR) η οποία προσπαθεί να βελτιώσει την FFR, όπου στους χρήστες που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης εξυπηρετούνται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα ενώ οι κεντρικοί χρήστες εκμεταλλεύονται το υπόλοιπο φάσμα όπως απεικονίζεται σχήμα 55 2(β) [43]. Η FFR τεχνική και οι παραλλαγές της μπορούν να υποστηριχθούν αποτελεσματικά από τον MAC scheduler όπου μπορεί να λάβει υπόψη τον αναφερόμενο δείκτη ποιότητας καναλιού (CQI) ο οποίος αντανακλά τις συνθήκες παρεμβολής της αναφερθείσας υποζώνης. Οι χρήστες που βρίσκονται στην άκρη της κυψέλης “υποφέρουν” από τις απώλειες διάδοσής από τον σταθμό βάσης που τους εξυπηρετεί και την υψηλή παρεμβολή από τις γειτονικές μη εξυπηρετούμενες κυψέλες στην κατερχόμενη ζεύξη, και οι MAC schedulers που συμμετέχουν σε διαφορετικές κυψέλες μπορούν να συμμετάσχουν σε διάφορα προγράμματα FFR για το ICIC. Για ένα σύμπλεγμα N κυψελών, ο συνολικός αριθμός των διαθέσιμων υποκαναλιών σε μια κυψέλη διαιρείται σε N υποζώνες με μία υποζώνη εκχωρημένη σε κάθε ζώνη ακμής. Το σχήμα 2β (i) απεικονίζει ένα κυψελοειδές δίκτυο με soft FFR. Το Σχήμα 55 2β (ii) απεικονίζει την ανάπτυξη ενός soft FFR με $FRF 3$ για την edge zone, σε αυτό το παράδειγμα ολόκληρη η ζώνη συχνοτήτων διαιρείται σε υποζώνες A, B και C και εκχωρούνται στην edge zone των μακροκυψέλες 1, 2 και 7 αντίστοιχα. Τα UE που βρίσκονται στο κέντρο της κυψέλης (macrocell 1) μπορούν να εξυπηρετούνται στα



υποκανάλια των B, C ζωνών συχνοτήτων οι οποίες αυτές ζώνες χρησιμοποιούνται από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης για να εξυπηρετήσουν τους χρήστες τους που βρίσκονται στην άκρη της εμβέλειας τους. Οπότε με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι intra tier παρεμβολές μεταξύ των μακροκυψελων. Για την αντιμετώπιση των cross tier παρεμβολών όταν μια φεμτοκυψέλη τοποθετείτε στο κέντρο της μακροκυψέλης θα πρέπει να χρησιμοποιεί την συχνότητα λειτουργίας που χρησιμοποιεί η μακροκυψέλη για τους edge zone MUE. Αντίθετα αν η φεμτοκυψέλη βρίσκεται στην άκρη της μακροκυψέλης θα πρέπει να χρησιμοποιεί τις συχνότητες λειτουργίας που χρησιμοποιεί η μακροκυψέλη για να εξυπηρετήσει τους center zone MUE . Ως εκ τούτου, το soft FFR είναι πιο αποτελεσματικό στο εύρος ζώνης σε σχέση με το strict FFR. Τέλος όσον αφορά τις co tier παρεμβολές μεταξύ των φεμτοκυψελών , τα HeNB στην άκρη ζώνη έχουν περισσότερες επιλογές να επιλέξουν ένα subchannel ως εκ τούτου, η συνολική παρεμβολή θα μειωνόταν. Ωστόσο, οι cross tier παρεμβολές θα ήταν ισχυρές για τους χρήστες κοντά στα όρια των κεντρικών και ακραίων ζωνών.



Σχήμα 55: Διαφορετικά σχήματα ανάπτυξης FFR σε ένα HetNet : a) strict FFR; b) soft FFR; c) FFR-3;



5.3.4.3 FFR-3 SCHEME

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η περιοχή κάλυψης της μακροκυψέλης χωρίζεται σε δυο υπό-περιοχές: την κεντρική και την ακραία περιοχή (edge area), και η κάθε κυψέλη αποτελείται από τρεις τομείς (σχήμα 55 2c (i)). Ολόκληρη η ζώνη συχνοτήτων χωρίζεται σε δύο μέρη: ένα τμήμα αποδίδεται αποκλειστικά στην κεντρική ζώνη (π.χ., υποζώνη A στο σχήμα 55 c (ii)), και το άλλο μέρος χωρίζεται σε τρεις υποζώνες (π.χ. υποζώνες B, C και D) και αντιστοιχίζονται στις τρεις άκρες περιοχές. Ένα HeNB επιλέγει μια υποζώνη που δεν χρησιμοποιείται στην υποπεριοχή της μακροκυψέλης, Όταν το HeNB βρίσκεται στη κεντρική περιοχή της μακροκυψέλης, αποκλείει επίσης την υποζώνη που χρησιμοποιείται από το MUE στην άκρη του συγκεκριμένου τομέα της μακροκυψέλης [44]. Για παράδειγμα, όταν ένα HeNB βρίσκεται στη ακραία περιοχή X1, θα χρησιμοποιούσε μόνο την υποζώνη A, C ή D και θα αποκλείσει την υποζώνη B που χρησιμοποιείται από το MUE στην περιοχή X1. Ομοίως, όταν ένα HeNB βρίσκεται στην κεντρική περιοχή C1, θα αποφεύγεται η υποζώνη A, η οποία χρησιμοποιείται από το MUE στην κεντρική ζώνη. Επίσης, δεν θα χρησιμοποιήσει την υποζώνη B, η οποία χρησιμοποιείται από το MUE στην ακραία περιοχή X1, επειδή η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος στην υποζώνη B θα είναι σχετικά ισχυρή για το HeNB και μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές cross-tier παρεμβολές [46]. Επομένως, το HeNB στην κεντρική ζώνη C1 θα χρησιμοποιήσει την υποζώνη C ή D (Εικόνα 2c (ii)). Με τον τρόπο αυτό, ελαχιστοποιείται σημαντικά η cross-tier παρεμβολή.



6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας και προκειμένου να εξερευνήσουμε τη συμπεριφορά και αντιμετώπιση του φαινομένου των παρεμβολών σε LTE-A σύστημα χρησιμοποιήσαμε το κατάλληλο λογισμικό προσομοίωσης (AWE WinProp) καθώς και προγραμματίσαμε σενάρια αντιμετώπισης παρεμβολών σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB. Με βάση το κεφάλαιο 5 όπου περιγράφουμε μια πληθώρα τρόπους αντιμετώπισης παρεμβολών, επιλέξαμε μερικούς από αυτούς και τους εφαρμόσαμε στα προγράμματα τα οποία αναφέραμε προηγούμενος. Στο WinProp εφαρμόσαμε την τεχνική διαχείριση παρεμβολών μέσω διαμέρισης φορέων όπου εξαλείφει τελείως τις παρεμβολές μεταξύ δυο διαφορετικών σταθμών βάσης (Cross tier Interference) αλλά υστερεί στην φασματική απόδοση για τους λογούς που επιγραφτήκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο περιβάλλον της MATLAB εφαρμόσαμε τις τεχνικές που αφορούν τον έλεγχο ισχύος όπου όπως αναφέραμε είναι καταλληλότερο σε περιπτώσεις που αφορούν την αντιμετώπιση παρεμβολών μεταξύ των μακροκυψελων και τις φεμτοκυψέλες. Όπως περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο η τεχνική φέρει επιθυμητά αποτελέσματα και στην αντιμετώπιση των παρεμβολών καθώς και στην φασματική απόδοση.

6.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ WINPROP

6.1.1 ΣΕΝΑΡΙΟ MACRO-PICO

Στο συγκεκριμένο project προσπαθήσαμε να μελετήσουμε τις παρεμβολές που μπορεί να προκληθούν σε ένα ετερογενές δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει μακροκυψέλες και πικοκυψέλες. Η αρχιτεκτονική αυτού του δικτύου αποτελείται από δυο σαφώς διαχωρισμένα στρώματα, το στρώμα macrocell και το στρώμα picocell. Μια τέτοια αρχιτεκτονική δικτύου ονομάζεται δυο στρώσεων (layers) η δύο επίπεδων. Οι παρεμβολές που θα μελετηθούνε λοιπόν σε αυτό το project είναι οι ομοστρωματικές παρεμβολές (co-layer) και οι διαστρωματικές παρεμβολές. Με τον όρο ομοστρωματικές παρεμβολές εννοούμε παρεμβολές μεταξύ picocell και διαστρωματικές εννοούμε παρεμβολές μεταξύ macro-pico. Για την εκτέλεση του συγκεκριμένου project επιλέξαμε μια αστική περιοχή για να στήσουμε το δυτικό δυο επίπεδων. Αρχικά τοποθετήσαμε μια μακροκυψέλη στο κέντρο της περιοχής προσομοίωση. Μελετώντας το **SINR** σε όλη την περιοχή, προσπαθούμε με την τοποθέτηση μικρών σταθμών βάσης χαμηλής ισχύος να βελτιώσουμε το λόγο της ισχύος προς την παρεμβολή συν τον θόρυβο (SINR) στα σημεία στα οποία το SINR της μακροκυψέλης είναι πολύ χαμηλό και δεν μπορεί με βάση αυτό το UE να αποκωδικοποιήσει τα κανάλια ελέγχου της μακροκυψέλης. Με βάση το σχήμα 56 παρατηρούμε ότι όταν θέσουμε το $SINR > 12.5$ το UE μπορεί να αποκωδικοποιήσει και να λάβει σωστά τα σήματα ελέγχου και δεδομένων. Στο συγκεκριμένο project εμείς θέσαμε ως κατώτατο όριο $SINR = 12.5$ dB έτσι ώστε το CQI που θα με μετρήσει με βάση το SINR η κινητή συσκευή σε διάφορες περιοχές να είναι υψηλό.



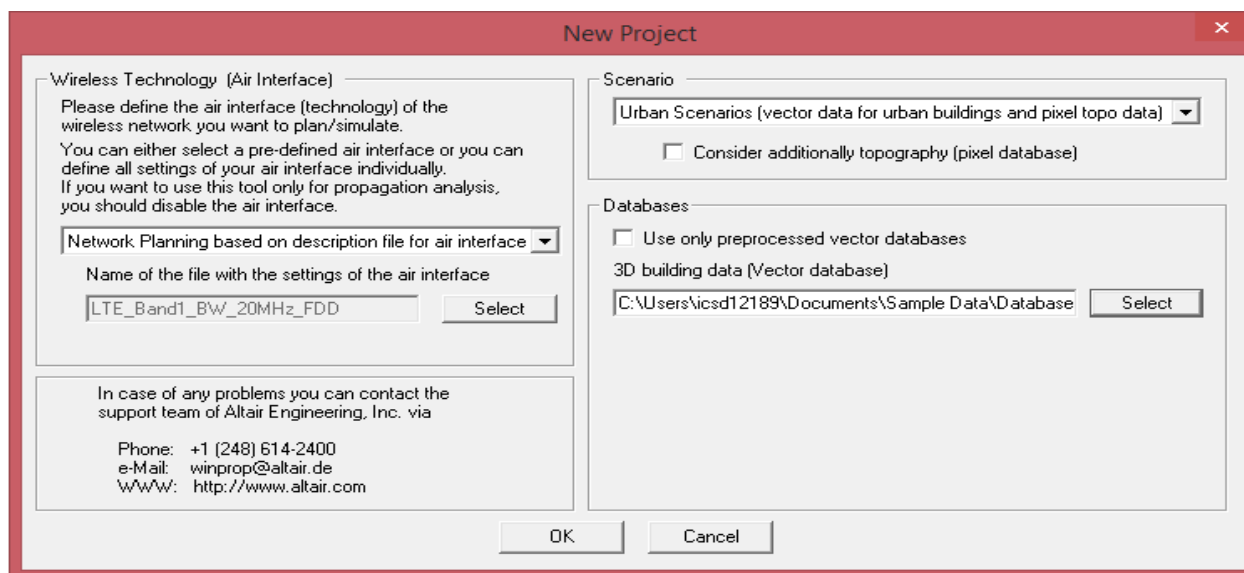
		SINR (dB)	RSRQ (dB)	RSRP (dBm)	EC/Io (dB)
Signal Quality	Technology	LTE Only	LTE only	LTE only	HSPA+ and EVDO
	Excellent	> 12.5	> -5	> -84	> -2
	Good	10 to 12.5	-9 to -5	-85 to -102	-2 to -5
	Fair	7 to 10	-12 to -9	-103 to -111	-5 to -10
	Poor	< 7	< -12	< -111	< -10

		RSSI
Signal Strength	Technology	LTE and 3G
	Excellent	> -65
	Good	-65 to -75
	Fair	-75 to -85
	Poor	< -85

Σχήμα 56 : Μετρήσεις SINR, RSRQ ,RSRP,RSSI

Δημιουργία νέου project

Αρχικά επιλέγουμε το πρωτόκολλο ασύρματης διάδοσης, το σενάριο(αστική περιοχή, προαστιακή περιοχή, εσωτερική περιοχή) και την τοπογραφία οπου είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει μια περιοχή ανάλογα με το σενάριο που επιλέχθηκε. Εμείς επιλέξαμε μια αστική περιοχή και η τοπογραφία φαίνεται στο σχήμα 57. Στο σχήμα 57 φαίνεται η επιλογή του πρωτοκόλλου του σεναρίου και της τοπογραφίας.



Σχήμα 6.2: Δημιουργία νέου project

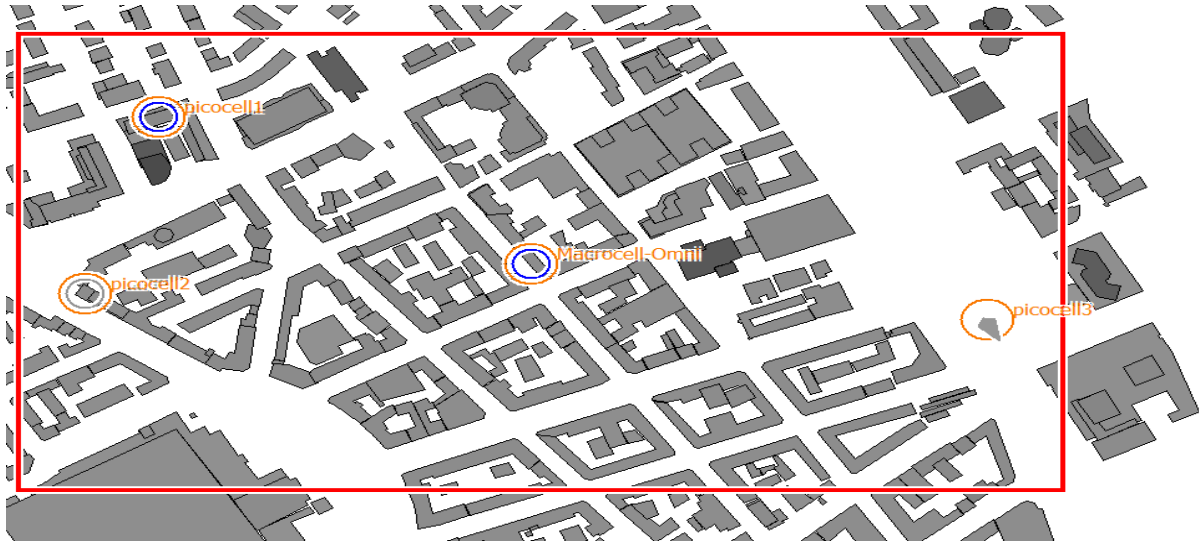


Προπτυχιακή διπλωματική εργασία

Μελέτη παρεμβολών σε ετερογενή κινητά συστήματα επικοινωνιών

Τσίπης Λευτέρης

Η περιοχή πάνω στην οποία θέλουμε να στήσουμε το LTE ετερογενές δίκτυο είναι η περιοχή η οποία σχηματίζεται από την κόκκινη γραμμή παρακάτω.



Σχήμα 57: Περιοχή προσομοίωσης

Πίνακας 7: παραμέτρων για το σενάριο macro-pico

Multiple Access:	OFDM/SOFDMA
Duplex separation:	FDD
Channel Bandwidth:	20MHz
Available carriers downlink:	(2630,2650,2670) MHz
Available carriers uplink:	(2510,2530,2550) MHz
Propagation Model:	Dominant Path Model
Modulation:	QPSK,16-1QAM,64-QAM
MeNB Max Transmit power	46 dBm
PeNB Max Transmit power	28 dBm
SINR target	12.5 dB



Number of macrocell	1
Number of Picocell	1
Carrier Separation	20 MHz
Database	Frankfurt(Databases Urban)
AWGN power N_0	10^{-17} W
Type of Network simulation	Static Simulation(homogenous traffic per cell)

κατοχυρώνεται ως φορέας εξυπηρέτησης αυτός με το καλύτερο SINR. Θέτουμε ως ελάχιστο επιτρεπτό όριο το $\text{SINR} = 12.5$ (σχήμα 58).

The screenshot shows the 'Air Interface' configuration window. The 'Multiple Access' is set to 'OFDM / SOFDMA'. 'Duplex Separation' is 'Duplex: FDD'. 'MIMO Technology' is 'No MIMO supported'. 'Bandwidth' section shows 'Channel Bandwidth' as 20000 kHz and 'Carrier Separation' as 20000 kHz. The 'Carriers' table lists three carriers with their DL and UL frequencies. The 'Transmission Modes (MCS)' table lists 13 modes with their respective data rates. The 'Cell Assignment' section has 'Highest SNIR of all carriers in the network' selected and 'Min. required SNIR' set to 12.5 dB. The 'Mobile Station / Subscriber Station' section has a 'Settings' button.

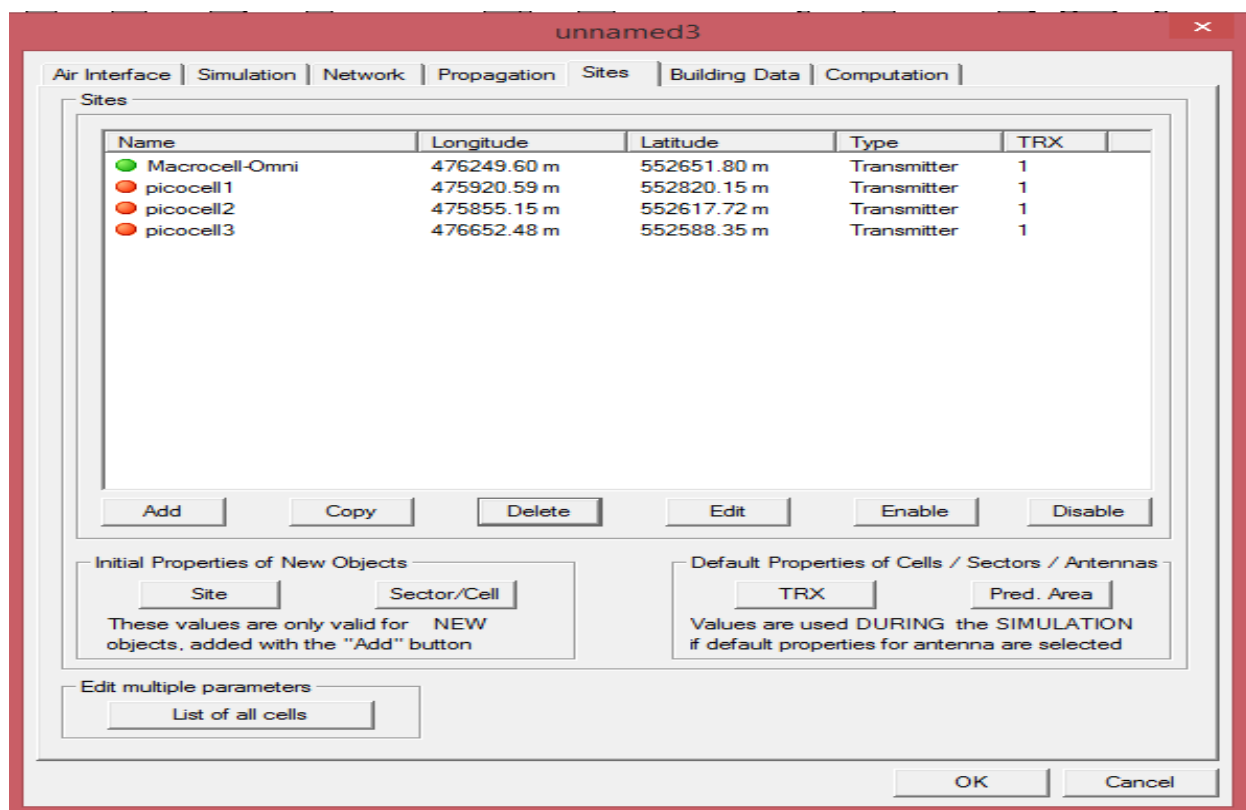
Σχήμα 58: Παραμετροποίηση Air Interface



1^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

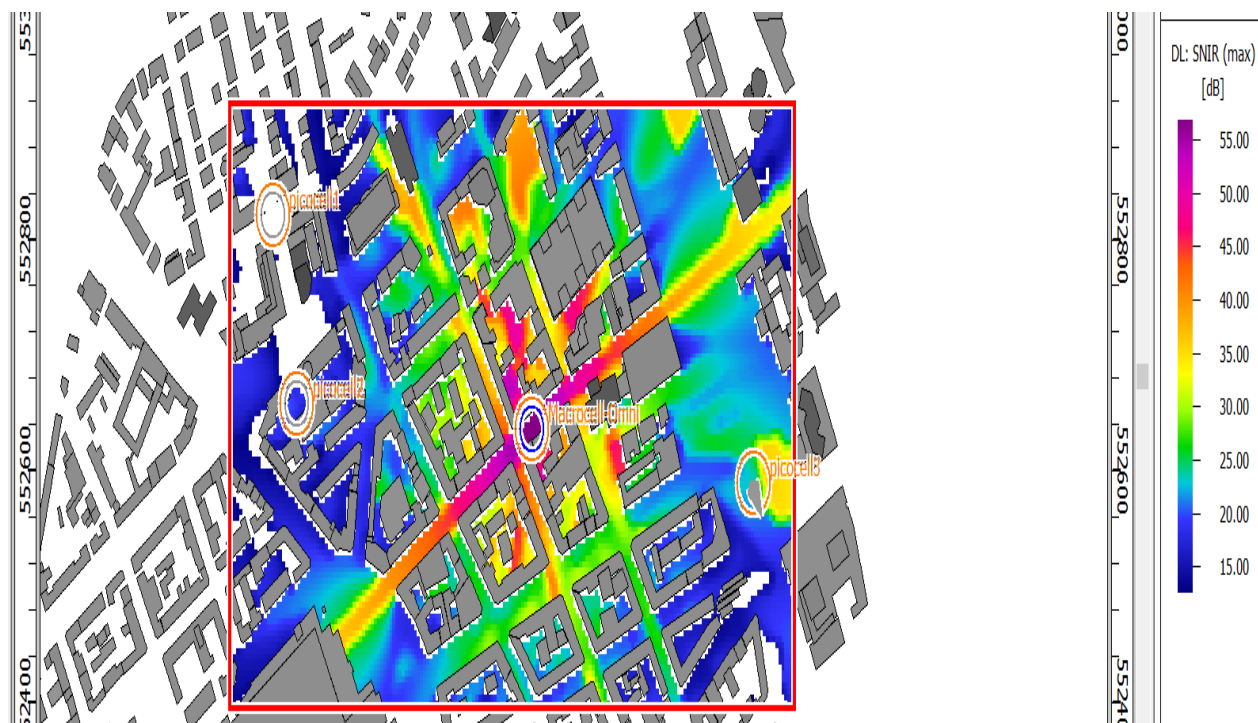
- Macrocell: Max Tx Power: 46 dBm
- Frequency: 2630 MHz.
- Antenna: isotropic
- Height: 17m

Τοποθετούμε μια μακροκυψέλη στο κέντρο της περιοχής με τα ακόλουθα δεδομένα. Στην προκείμενη περίπτωση έχουμε απενεργοποιήσει τις άλλες κυψέλες που φαίνονται στην περιοχή προσομοίωσης και κάνουμε μετρήσεις μόνο για την μακροκυψέλη(Macrocell-Omni).

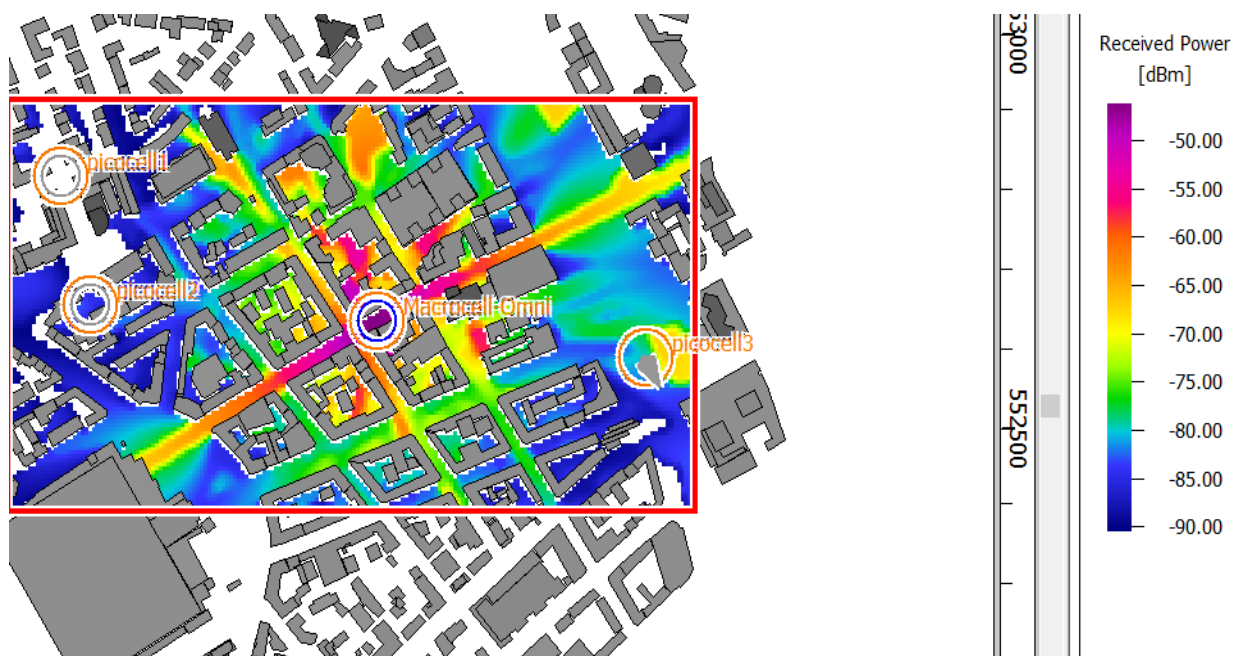


Σχήμα 59: Ενεργοποίηση μόνο μακροκυψέλης

Παρατηρούμε στο σχήμα 60 ότι το πάνω γωνιακό τμήμα της περιοχής παραμένει μη εξυπηρετούμενο οπότε θα ενεργοποιήσουμε την πικοκυψέλη 1 ώστε να αυξήσουμε το SINR στην συγκεκριμένη περιοχή, διότι εφόσον είναι λευκό σημαίνει ότι το SINR στο συγκεκριμένο σημείο είναι μικρότερο από 12.5 dB. Στο σχήμα 61 παρατηρούμε την ισχύ λήψης όπου το κατώτατο όριο είναι -90 dBm και παρατηρούμε ότι το SINR υπολογίζεται μόνο από την ισχύ λήψης προς τον θόρυβο που ισοδυναμεί με 6 dBm. Στο σχήμα 62 παρατηρούμε την περιοχή στην άκρη της μακροκυψέλης(edge zone). Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης όπου εξυπηρετείτε από την μακροκυψέλη βρεθεί στην συγκεκριμένη περιοχή και διασχίσει την διαδρομή από το σημείο «S» μέχρι το σημείο «F», το SINR αυτής της διαδρομής απεικονίζεται στο διάγραμμα του σχήματος 63. Παρατηρούμε ότι από το σημείο 30 έως το 125 το SINR είναι κάτω από το κατώφλι το οποίο εμείς θέσαμε, το πρόβλημα αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα το κινητό να χάσει την σύνδεση του με τον σταθμό βάσης που το εξυπηρετεί.



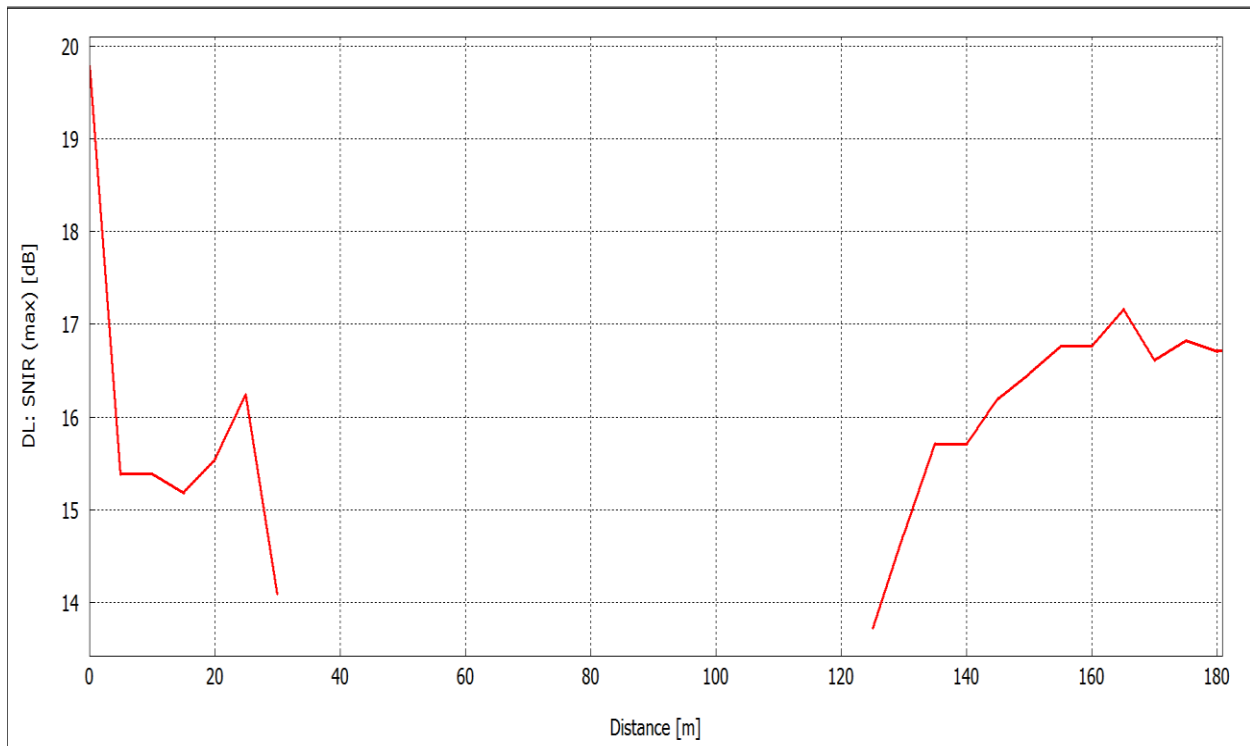
Σχήμα 60: SINR μετρήσεις από την μακροκωψέλη



Σχήμα 61 : Received Power μετρήσεις από την μακροκωψέλη



Σχήμα 62: SINR στην περιοχή (μαύρο πλαίσιο) στην άκρη της Μακροκονέλης (edge zone)

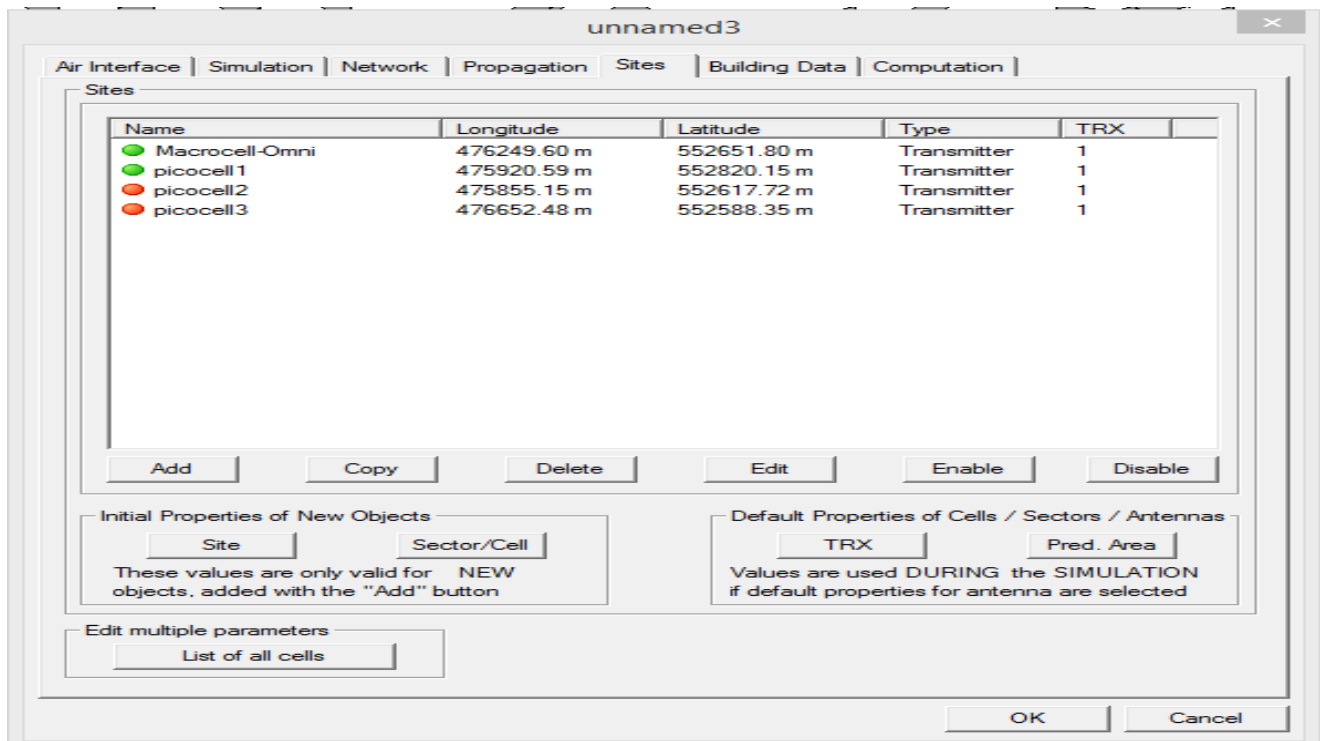


Σχήμα 63: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 62)



2^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Στην προκείμενη περίπτωση έχουμε δυο κυψέλες ενεργοποιημένες την μακροκυψέλη (**Macrocell-Omni**) και την πικοκυψέλη1 (**picocell1**).



Σχήμα 64: Ενεργοποίηση μακροκυψέλης και πικοκυψέλης

Γίνεται τοποθέτηση πικοκυψέλης στη πάνω δεξιά γωνιά η οποία δεν καλύπτεται από την μακροκυψέλη, με την **ίδια συχνότητα λειτουργίας με την μακροκυψέλη**. Οπότε πιθανόν να προκύψουν παρεμβολές μεταξύ των κυψελών(macro-pico) και συγκεκριμένα cross tier παρεμβολές

Macrocell:

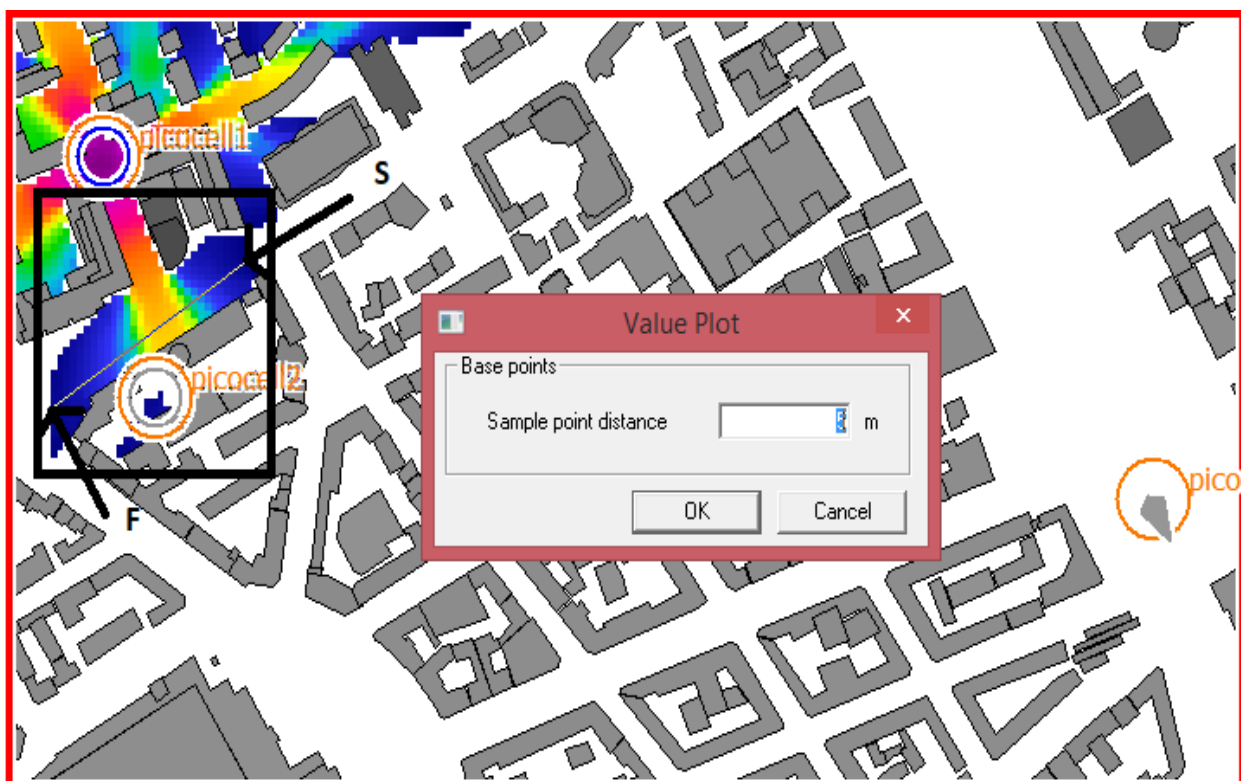
- Max Tx Power: 46 dBm
- Frequency:**2630 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 17m

Picocell1:

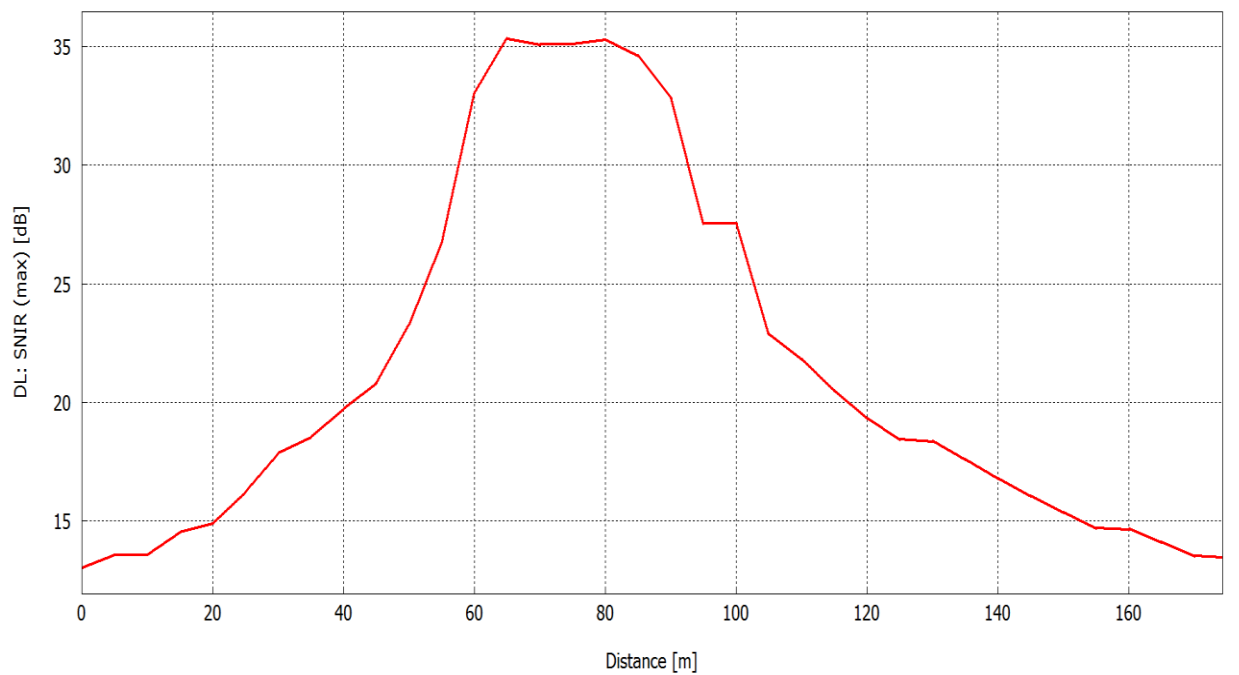
- Max Tx Power: 28 dBm
- Frequency:**2630 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 5



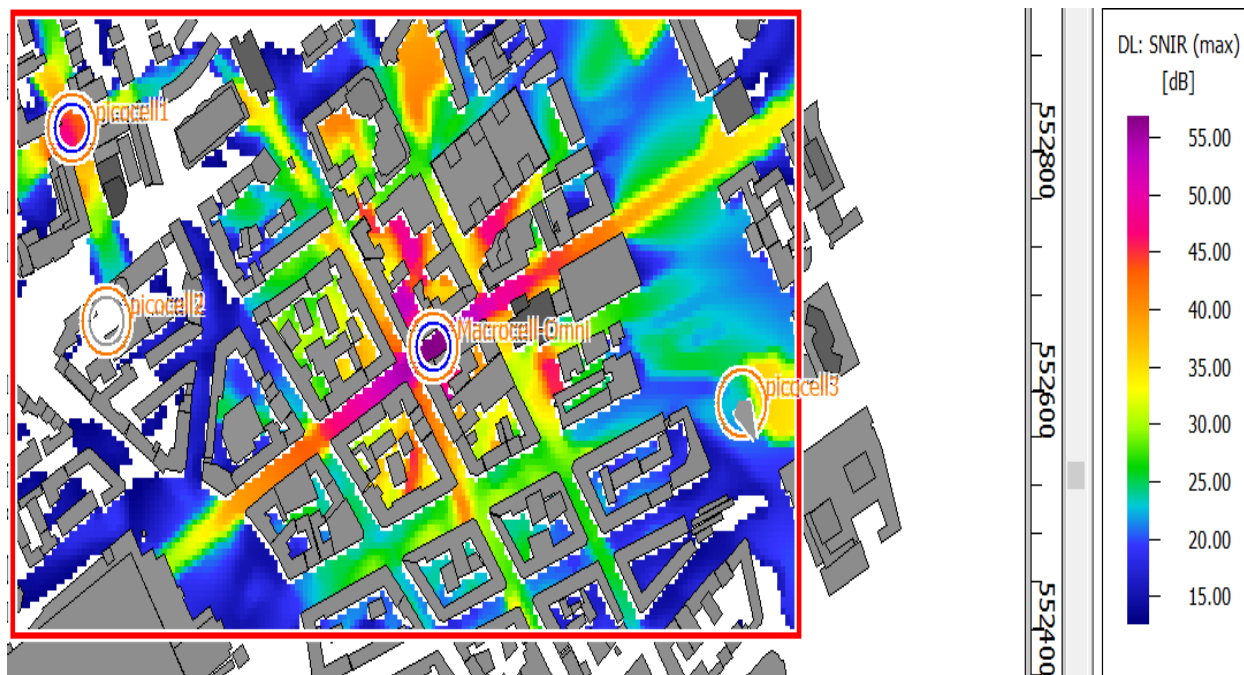
Στο σχήμα 65 παρατηρούμε την περιοχή κάλυψης μόνο της πικοκυψέλης (σημεία με χρώμα) χωρίς η μακροκυψέλη να είναι ενεργοποιημένη ,επίσης παρατηρούμε ότι η άκρη της πικοκυψέλης συμπίπτει με την άκρη της μακροκυψέλης. Σε περίπτωση που κάποιος χρήστης όπου εξυπηρετείτε από την πικοκυψέλη (PUE) βρεθεί στην συγκεκριμένη περιοχή και διασχίσει την διαδρομή από το σημείο «S» μέχρι το σημείο «F», το SINR αυτής της διαδρομής απεικονίζεται στο διάγραμμα του σχήματος 66. Παρατηρούμε ότι όλη η διαδρομή καλύπτεται από την πικοκυψέλη και το SINR δεν πέφτει κάτω από το κατώφλι το οποίο έχουμε θέσει. Στο σχήμα 67 είναι και οι δυο σταθμοί βάσης ενεργοποιημένοι οπότε παρατηρούμε ότι η ενεργοποίηση της πικοκυψέλης προκάλεσε παρεμβολές στην μακροκυψέλη. Συγκεκριμένα στο σχήμα 68 παρατηρούμε ότι στην άκρη της μακροκυψέλης το SINR της μακροκυψέλης έπεσε κάτω από το όριο. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των σχημάτων 63 και 69 διαπιστώνουμε ότι στα σημεία τα οποία το SINR της μακροκυψέλης ήταν πάνω από το κατώφλι έπεσε. Επίσης η μακροκυψέλη προκαλεί παρεμβολές στην πικοκυψέλη αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε αν συγκρίνομε τα διαγράμματα 66 και 69 παρατηρούμε ότι σε αρκετά σημεία όπου το SINR της πικοκυψέλης ήταν πάνω από το κατώφλι έπεσε. Το φαινόμενο αυτό οφείλετε στις παρεμβολές που προκαλούνται μεταξύ των κυψελών.



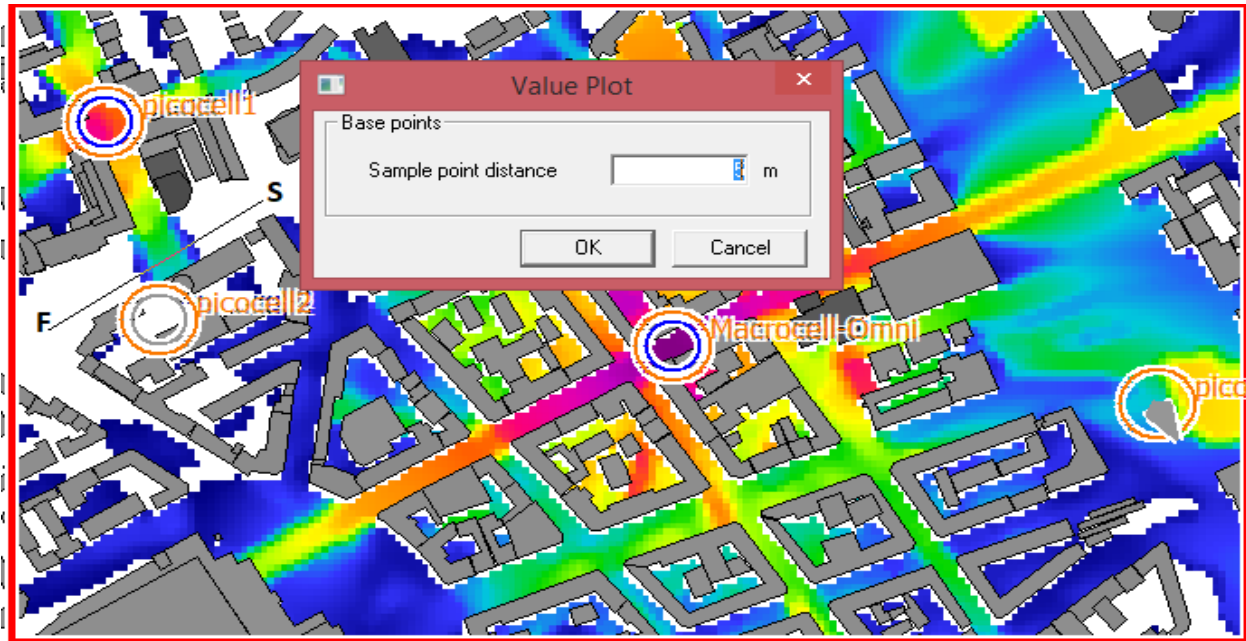
Σχήμα 65 : SINR μετρήσεις από την πικοκυψέλη 1 χωρίς να είναι ενεργοποιημένη η μακροκυψέλη



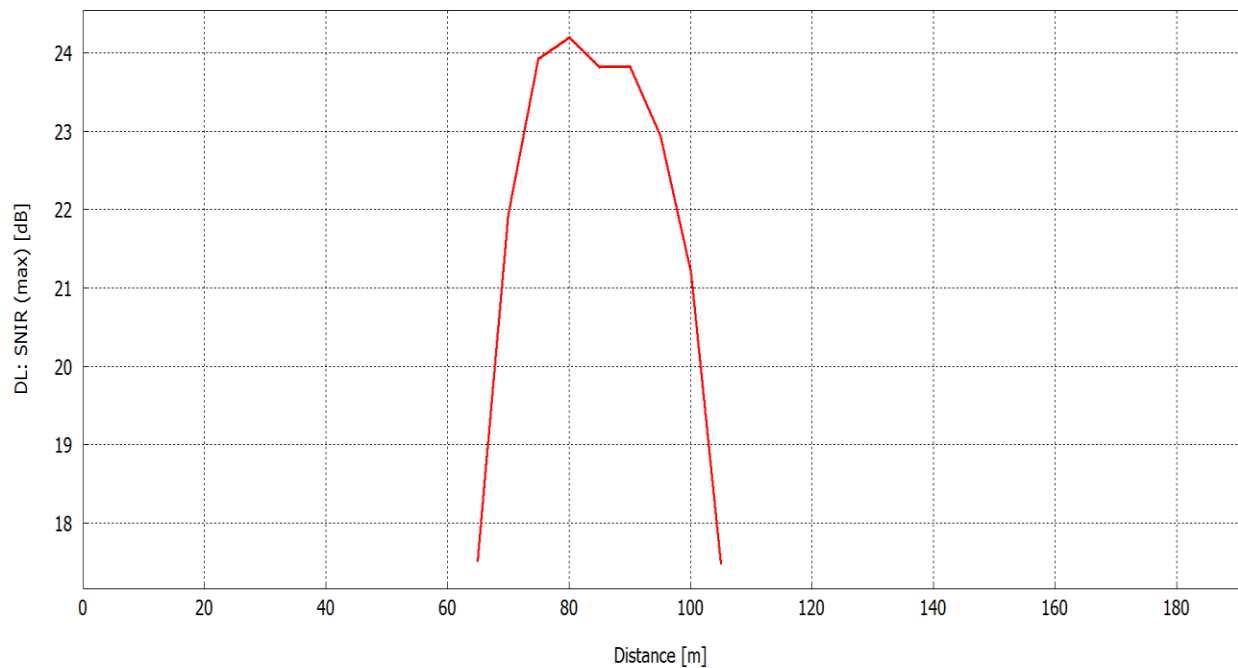
Σχήμα 66 : SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 65)



Σχήμα 67: Περιοχή κάλυψης μακροκυψέλης μετά την ενεργοποίηση της πικοκυψέλης



Σχήμα 68: SINR του δικτύου μετά την ενεργοποίηση της πικοκυψέλης



Σχήμα 69: SINR στη διαδρομή μεταξύ του σημείου S και F (του σχήματος 68)



3^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Εδώ έχουμε τις ίδιες κυψέλες εξυπηρέτησης απλώς με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας μεταξύ τους .

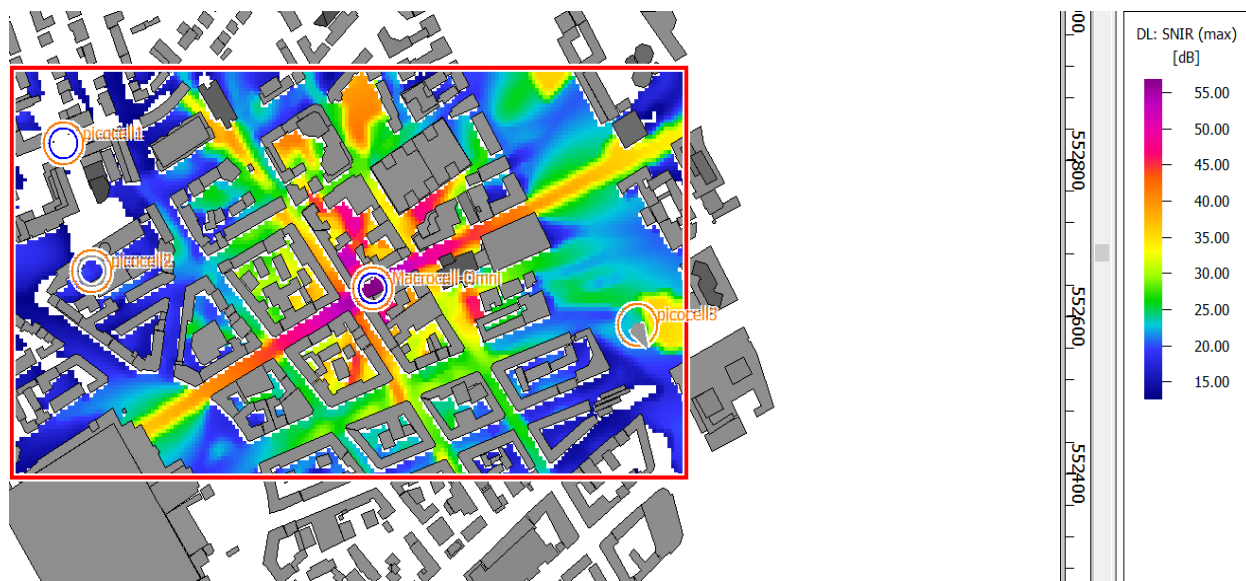
Macrocell:

- Max Tx Power: 46 dBm
- Frequency: **2630** MHz.
- Antenna: isotropic
- Height: 17m

Picocell1:

- Max Tx Power: 28 dBm
- Frequency: **2650** MHz.
- Antenna: isotropic
- Height: 5m

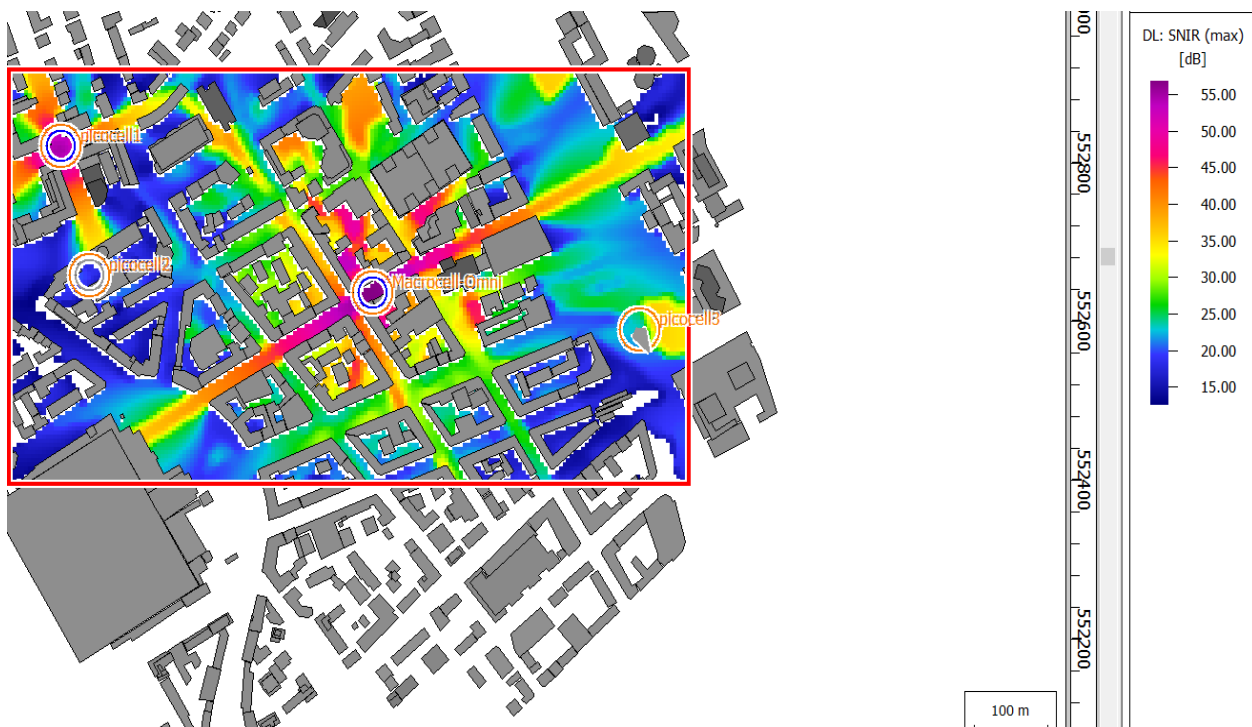
Στα σχήματα 70 και 71 παρατηρούμε την περιοχή κάλυψης της Μακροκυψέλης και της Πικοκυψέλης αντίστοιχα. Στο σχήμα 72 παρατηρούμε το SINR του δικτύου όταν και η Μακροκυψέλη αλλά και η Πικοκυψέλη είναι ενεργοποιημένες. Στο σχήμα 73 έχουμε την περιοχή στην άκρη των δυο κυψελών η οποία είναι και η τομή τους. Παρατηρούμε στο διάγραμμα του σχήματος 74 ότι το SINR δεν πέφτει κάτω από το όριο. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι οι παρεμβολές μεταξύ των δυο κυψελών έχουν αποχωρήσει οπότε η κάθε κυψέλη δεν θα δημιουργήσει παρεμβολές στους χρήστες που εξυπηρετεί η άλλη. Τα Σχήματα 75 και 76 αφορούν τα CDF διαγράμματα στο edge zone. Το σχήμα 75 αφορά το σενάριο 2 όπου και οι δυο σταθμοί βάσης λειτουργούν στην ίδια συχνότητα λειτουργίας ενώ το σχήμα 76 αφορά το σενάριο 3 όπου οι δυο σταθμοί βάσης λειτουργούν σε διαφορετική συχνότητα λειτουργία. Συγκρίνοντας τα δυο διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι για SINR=20 dB η απόδοση του δικτύου βελτιώνεται κατά 7% στο edge zone.



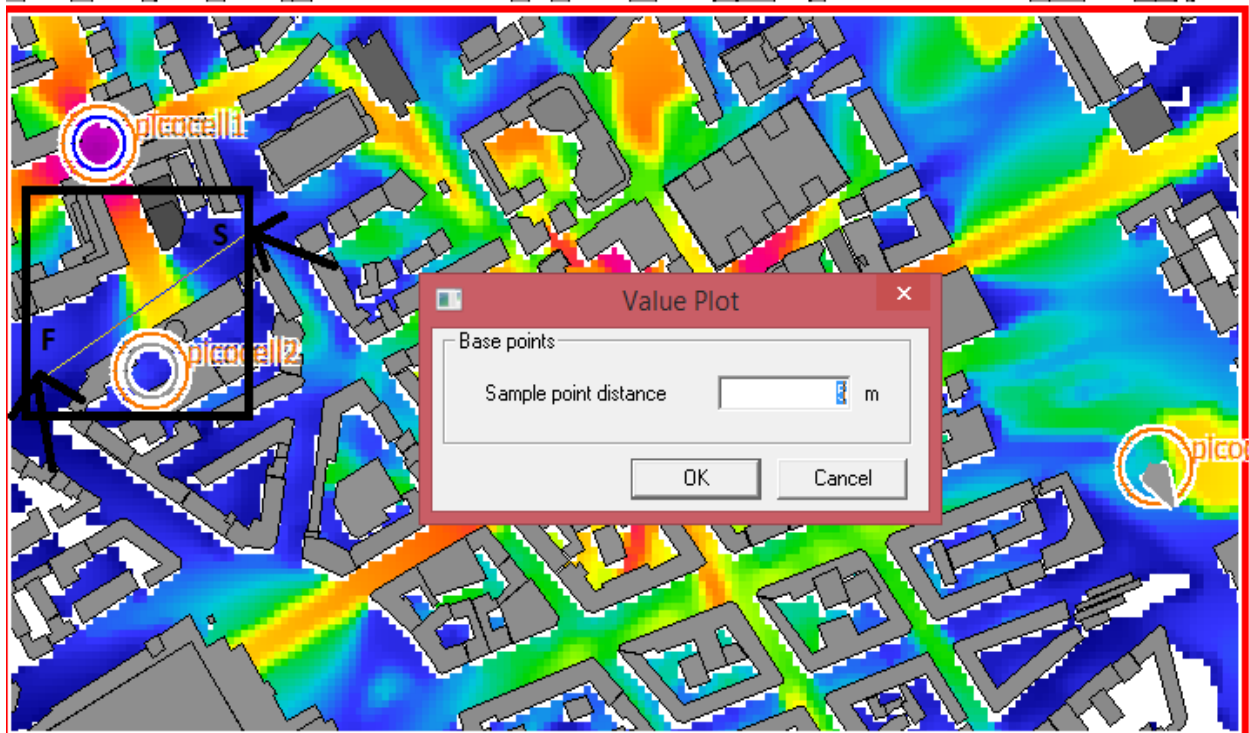
Σχήμα 70 : SINR Μακροκυψέλης με συχνότητα λειτουργίας 2630 MHz



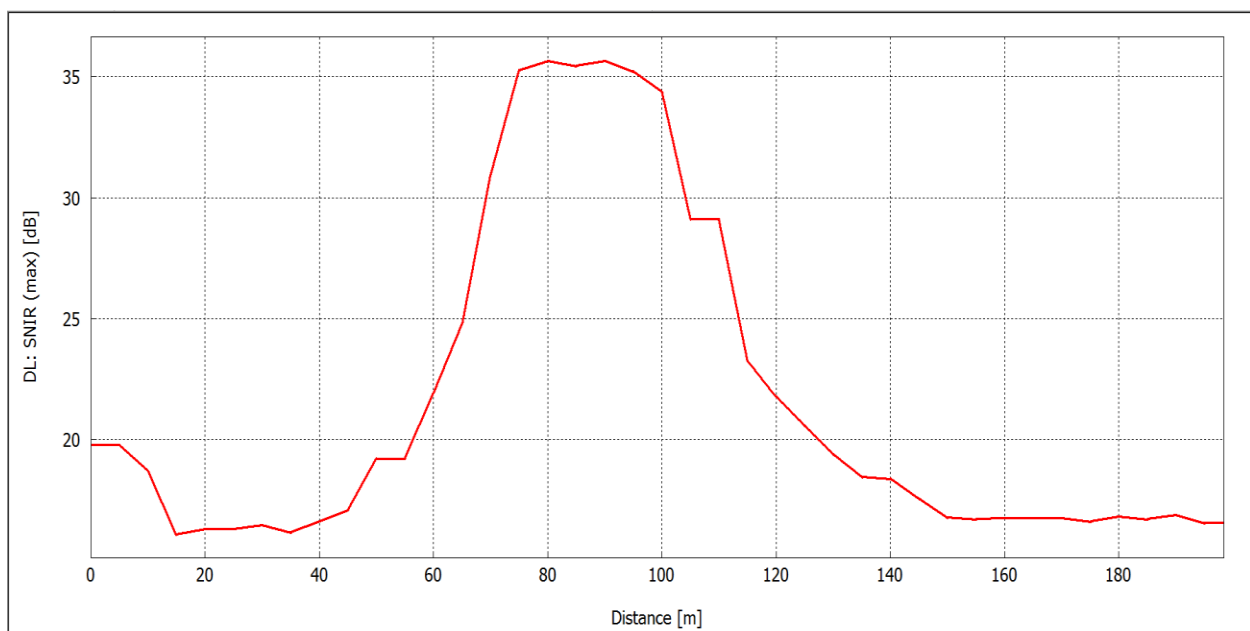
Σχήμα 71: SINR Πικοκυψέλης με συχνότητα λειτουργίας 2650 MHz



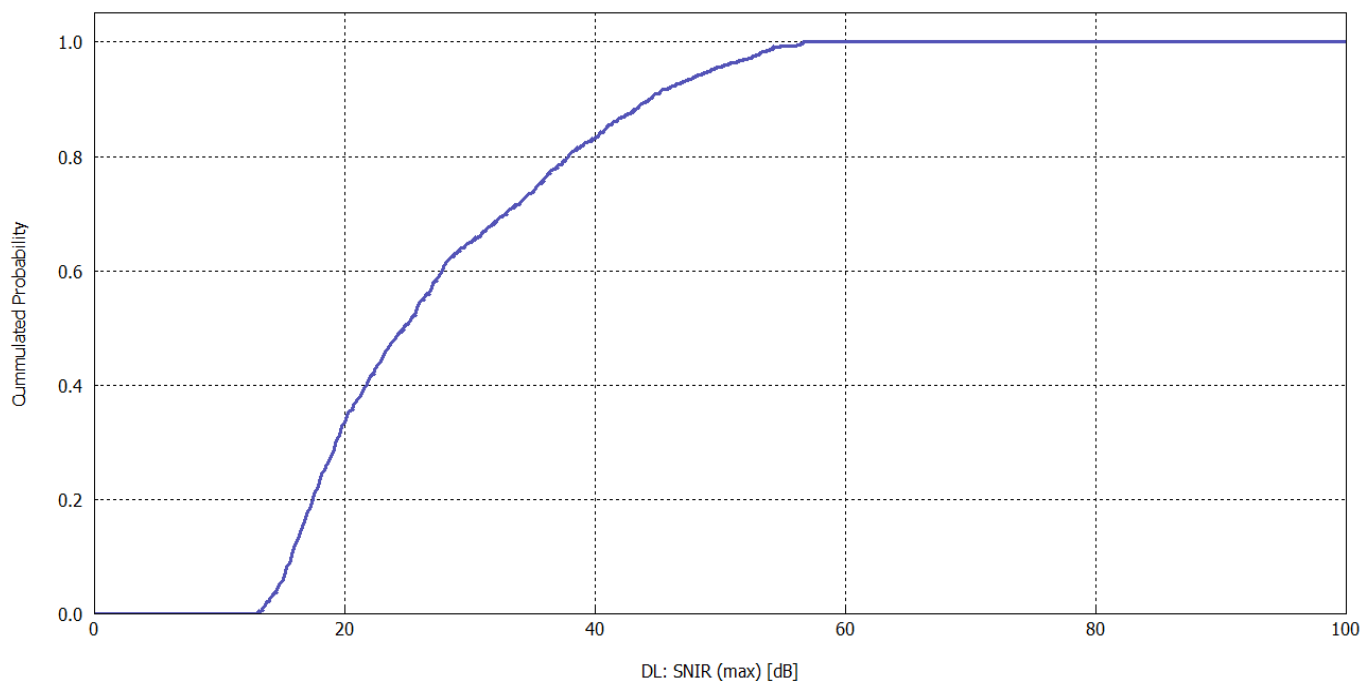
Σχήμα 72: SINR Μακροκυψέλης και Πικοκυψέλης στην περιοχή προσομοίωσης



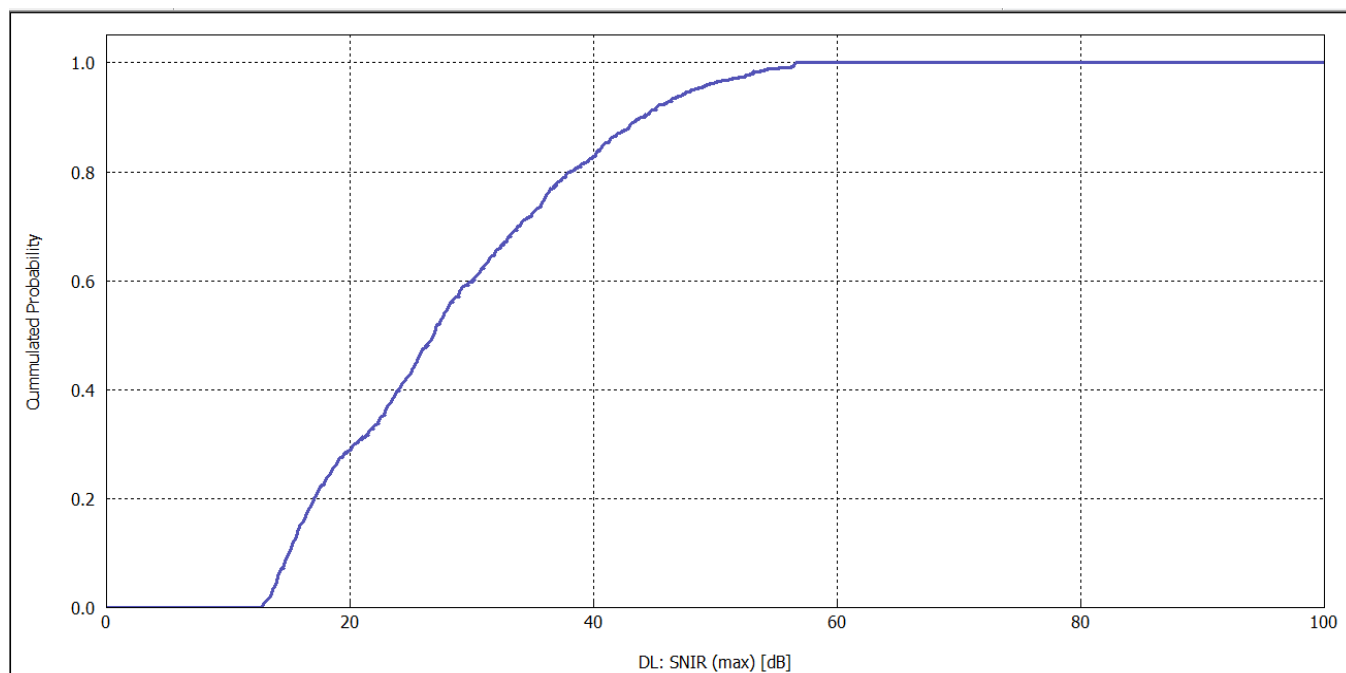
Σχήμα 73: Περιοχή υπολογισμού SINR (Μαύρο πλαίσιο)



Σχήμα 74: SINR στην διαδρομή μεταξύ του σημείου S και F (του σχήματος 73)



Σχήμα 75: CDF για Cross tier παρεμβολή στην ίδια συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 76: CDF για Cross tier παρεμβολή σε διαφορετική συχνότητα λειτουργίας



6.1.2 ΣΕΝΑΡΙΟ MACRO-FEMTO

Στο συγκεκριμένο project μελετήσαμε τις παρεμβολές που μπορεί να προκληθούν σε ένα ετερογενές δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει μακροκυψέλες και φεμτοκυψέλες. Η αρχιτεκτονική αυτού του δικτύου αποτελείται από δυο σαφώς διαχωρισμένα στρώματα, το στρώμα macrocell και το στρώμα femtocell. Μια τέτοια αρχιτεκτονική δικτύου ονομάζεται δυο στρώσεων (layers) η δύο επίπεδων. Οι παρεμβολές που θα μελετηθούνε λοιπόν σε αυτό το project είναι οι ομοστρωματικές παρεμβολές (co-layer) και οι διαστρωματικές παρεμβολές. Με τον όρο ομοστρωματικές παρεμβολές εννοούμε παρεμβολές μεταξύ Femtocell και διαστρωματικές εννοούμε παρεμβολές μεταξύ macro-femto. Για την εκτέλεση του συγκεκριμένου project επιλέχτηκαν δυο βάσεις δεδομένων.

Για την μελέτη των ομοστρωματικών παρεμβολών επιλέχτηκε μια Indoor database ώστε να γίνει μελέτη παρεμβολών μεταξύ femtocell και για την μελέτη παρεμβολών μεταξύ macro-femto μια Urban database. Στο σχήμα 77 φαίνονται τα στάνταρτ που ισχύουν για κάθε είδος σταθμού βάσης οπότε η μέγιστη ισχύς εκπομπής της φεμτοκυψέλης δεν ξεπερνάει τα 23 dBm.

Type of nodes	Transmit power (dBm)	Coverage	Backhaul
Macrocell	46	Few km	S1 interface
Picocell	23-30	< 1300 m	X2 interface
Femtocell	< 23	< 50 m	Internet IP
Relay	30	300 m	Wireless
RRH	46	Few km	Fiber

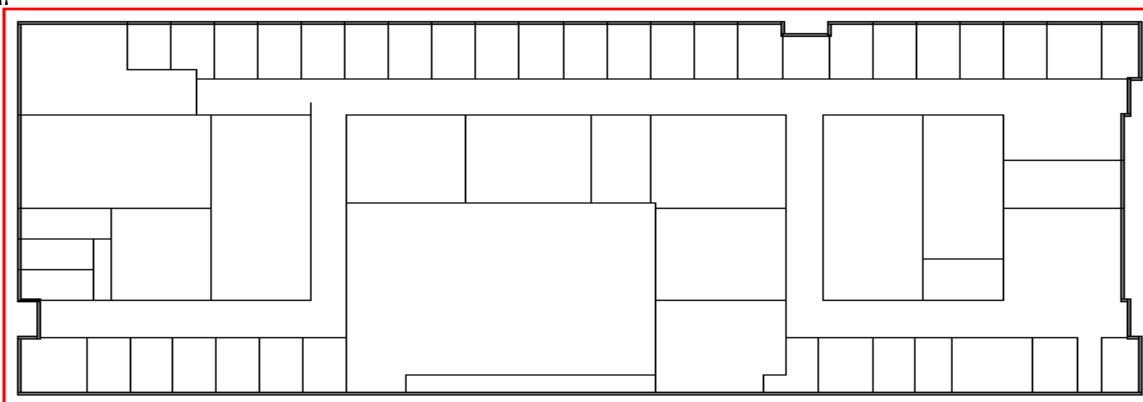
Σχήμα 77 : Τα πρότυπα που ισχύουν για κάθε είδος σταθμού βάσης



Ομοστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto

Δημιουργία νέου project

Αρχικά επιλέγουμε το πρωτόκολλο ασύρματης διάδοσης, το σενάριο (αστική περιοχή, προαστιακή περιοχή, εσωτερική περιοχή) και την τοπογραφία όπου είναι μια βάση δεδομένων που περιέχει μια περιοχή ανάλογα με το σενάριο που επιλέχθηκε. Επιλέξαμε μια εσωτερική περιοχή και η τοπογραφία φαίνεται στο σχήμα 78.



Σχήμα 78 : Περιοχή προσομοίωσης σεναρίου femto-femto

Στο σχήμα 79 παρατηρούμε τις ρυθμίσεις που κάνουμε στο Air Interface και στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι παράμετροι. Η επιλογή κυψέλης εξυπηρέτησης γίνεται με βάση το SINR. Σε κάθε pixel γίνεται μέτρηση και κατοχυρώνεται ως φορέας εξυπηρέτησης αυτός με το καλύτερο SINR. Θέτουμε ως ελάχιστο επιτρεπτό όριο το $SINR = 12.5$ (σχήμα 79) με βάση του πίνακα στο σχήμα 56.

Πίνακας 8: παραμέτρων σενάριο femto- femto

Multiple Access:	OFDM/SOFDMA
Duplex separation:	FDD
Channel Bandwidth:	20MHz
Available carriers downlink:	(2120,2140,2160) MHz
Available carriers uplink:	(1930,1950,1970) MHz
Propagation Model Indoor:	Multi-wall Model(COST 231)



Modulation:	QPSK,16-1QAM,64-QAM
MeNB Max Transmit power	46 dBm
FeNB Max Transmit power	23 dBm
Propagation Model Outdoor:	Dominant Path Model
Number of FAPS	3
SINR target	12.5 dB
Antenna	Isotropic
Height	2.5m
AWGN power N_0	10^{-17} w
Database	Virginia Tech.ind
Carrier Separation	20 MHz

T.	ID	Frequency DL	Frequency UL
S	100	2120.00 MHz	1930.00 MHz
S	300	2140.00 MHz	1950.00 MHz
S	500	2160.00 MHz	1970.00 MHz

Name	P...	Data Rate DL	Data Rate
64 QAM - R=...	1	717.51 kBit/s	717.51 kB
64 QAM - R=...	2	672.67 kBit/s	672.67 kB
64 QAM - R=...	3	597.93 kBit/s	597.93 kB
16 QAM - R=...	4	478.34 kBit/s	478.34 kB
16 QAM - R=...	5	398.62 kBit/s	398.62 kB
16 QAM - R=...	6	298.96 kBit/s	298.96 kB
QPSK - R=4_5	7	239.17 kBit/s	239.17 kB
QPSK - R=2_3	8	199.31 kBit/s	199.31 kB
QPSK - R=1_2	9	149.48 kBit/s	149.48 kB
QPSK - R=1_3	10	99.65 kBit/s	99.65 kB
QPSK - R=1_4	11	74.74 kBit/s	74.74 kB
QPSK - R=1_5	12	59.79 kBit/s	59.79 kB
QPSK - R=1_8	13	37.37 kBit/s	37.37 kB

Σχήμα 79 : Παραμετροποίηση Air Interface



1^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τοποθετούμε τρεις φεμτοκυψέλες στην περιοχή προσομοίωσης. Μια στο κέντρο μια στα αριστερά και μια στα δεξιά. Οι παραμετροποιήσεις για κάθε φεμτοκυψέλη είναι οι εξής:

Femtocell_1:

- Max Tx Power: 23 dBm
- Frequency: **2120 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 2.5m

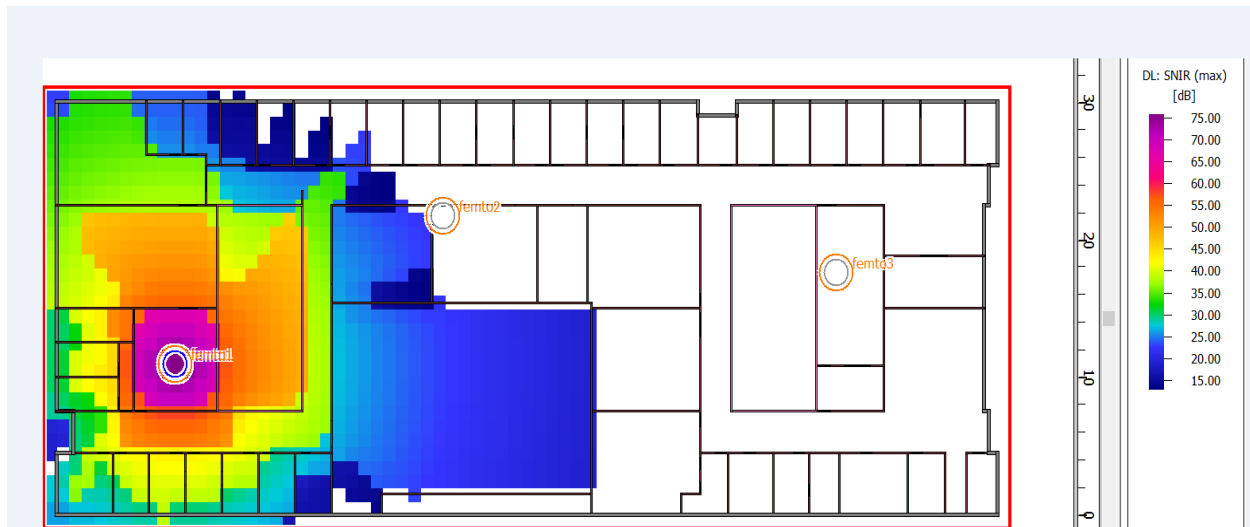
Femtocell_2:

- Max Tx Power: 23 dBm
- Frequency: **2120 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 2.5m

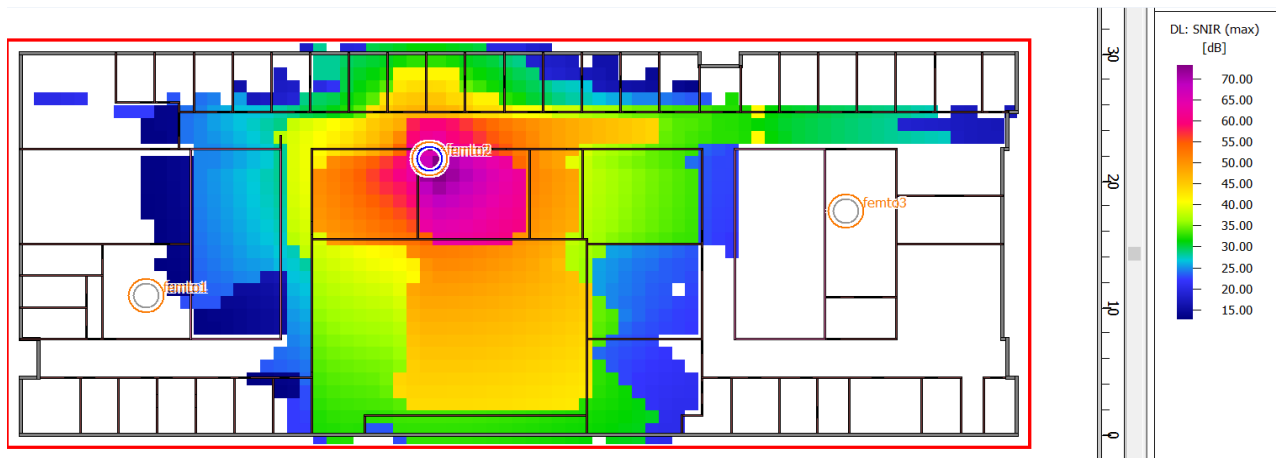
Femtocell_3:

- Max Tx Power: 23 dBm
- Frequency: **2120 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 2.5m

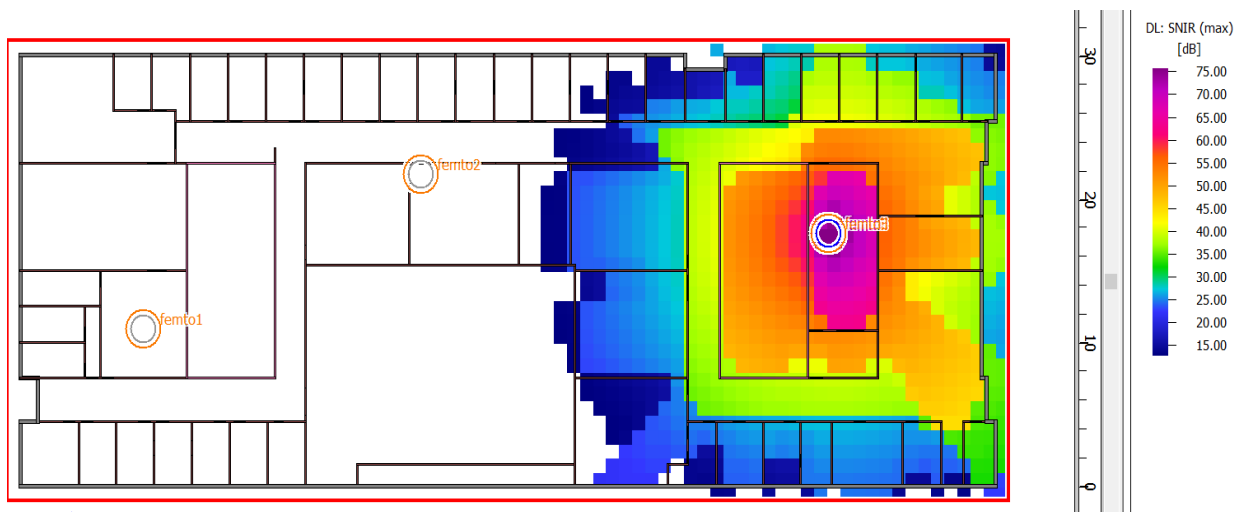
Στα σχήματα 80 έως 82 παρατηρούμε την περιοχή κάλυψης κάθε φεμτοκυψέλης ξεχωριστά, Στο σχήμα 83 παρατηρούμε ότι μεταξύ των φεμτοκυψελών υπάρχουν σημεία όπου το SINR είναι κάτω από το όριο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και οι τρεις φεμτοκυψέλες εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα λειτουργίας οπότε δημιουργούνται παρεμβολές μεταξύ τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όταν κάποιος χρήστης βρεθεί σε αυτά τα σημεία τότε δεν θα μπορεί να εξυπηρετηθεί από κανέναν σταθμό βάσης λόγω του κατωφλιού του οποίου έχουμε ορίσει. Στο σχήμα 84 έχουμε απομονώσει μια περιοχή, την οποία αν κάποιος χρήστης την διασχίσει, το SINR που θα υπολογίσει αν ξεκινήσει από το σημείο start και φτάσει μέχρι το σημείο finish φαίνεται στο σχήμα 85. Παρατηρούμε ότι σε δυο σημεία (12-20, 48-58) το SINR πέφτει κάτω από το όριο το οποίο έχουμε θέσει οπότε σε αυτά τα σημεία ο χρήστης θα χάσει την σύνδεση του με τον σταθμό βάσης που τον εξυπηρετούσε. Στο σχήμα 86 φαίνεται το Data Rate σε ολόκληρη την περιοχή προσομοίωσής και στο σχήμα 87 βλέπουμε το διάγραμμα που μας δείχνει το data Rate που θα έχει κάποιος χρήστης αν ακολουθήσει την διαδρομή του σχήματος 86. Τέλος, παρατηρούμε ότι σε γενικές γραμμές το Data Rate στα κέντρα των κυψελών είναι σε υψηλά επίπεδα σε αντίθεση όμως στα άκρα των κυψελών το data rate είναι μηδαμινό. Στην προσομοίωση νούμερο 2 αλλάζουμε την συχνότητα λειτουργίας με τρόπο τέτοιο ώστε όλοι οι σταθμοί βάσης να εκπέμπουν σε διαφορετική συχνότητα και να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα παρεμβολής που επικρατεί στα άκρα των κυψελών.



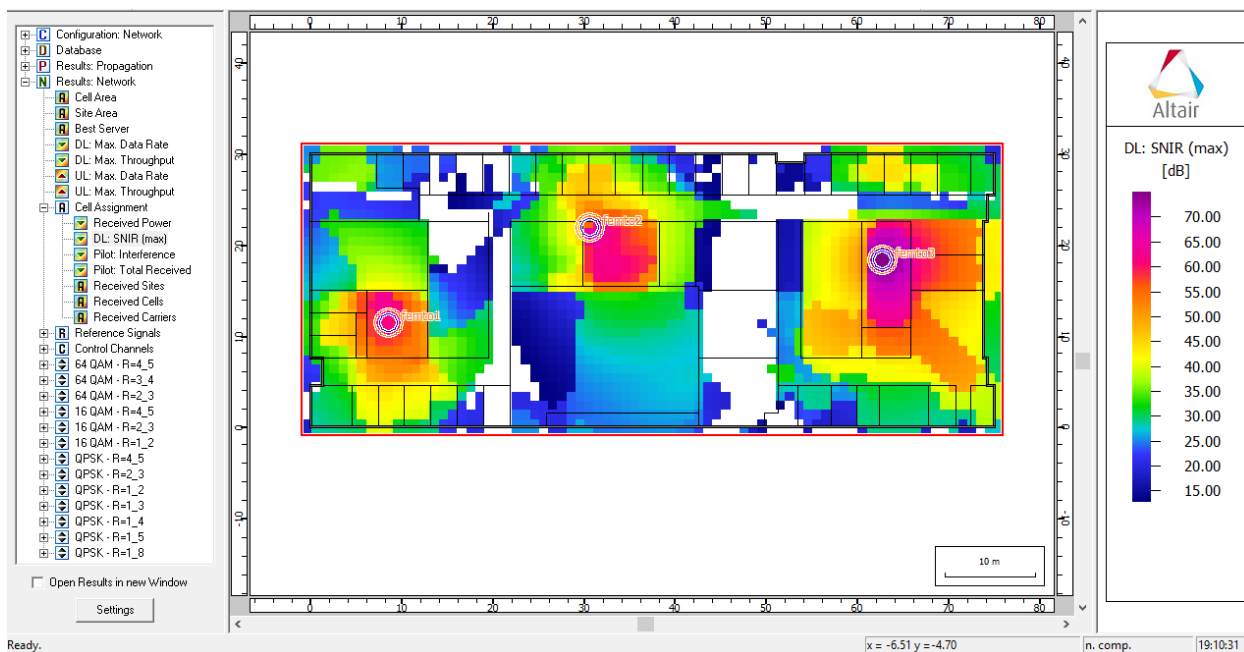
Σχήμα 80: Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης 1



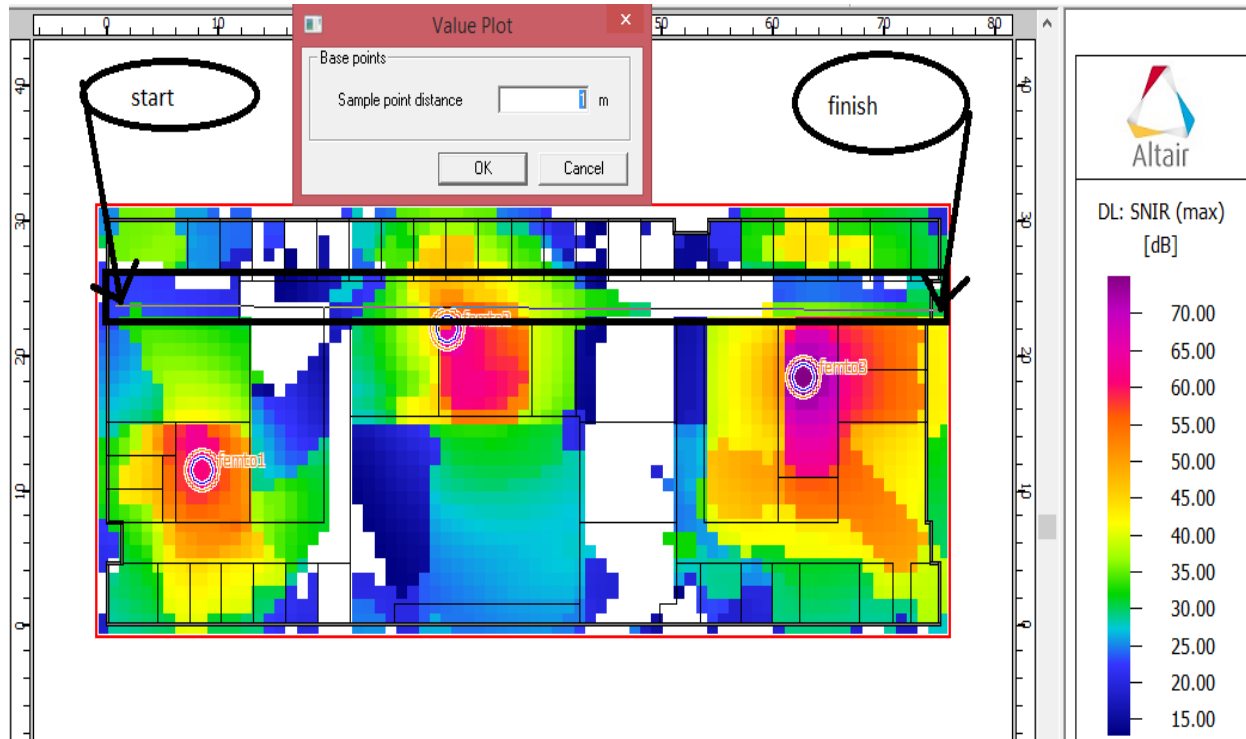
Σχήμα 81: Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης 2



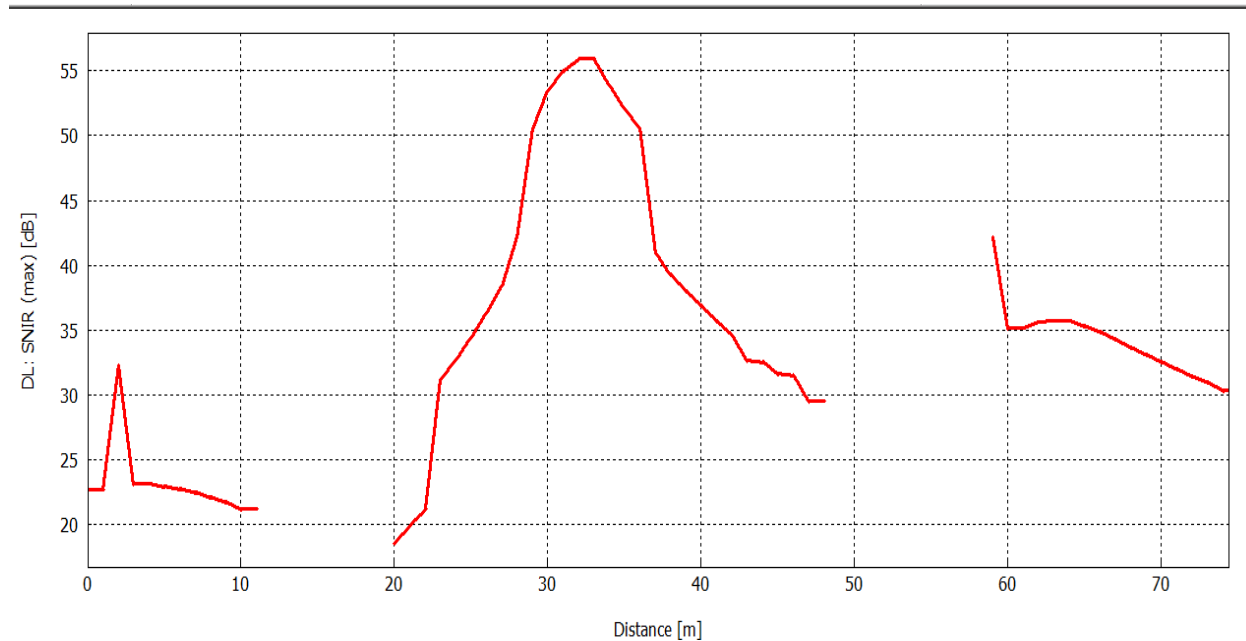
Σχήμα 82: Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης 3



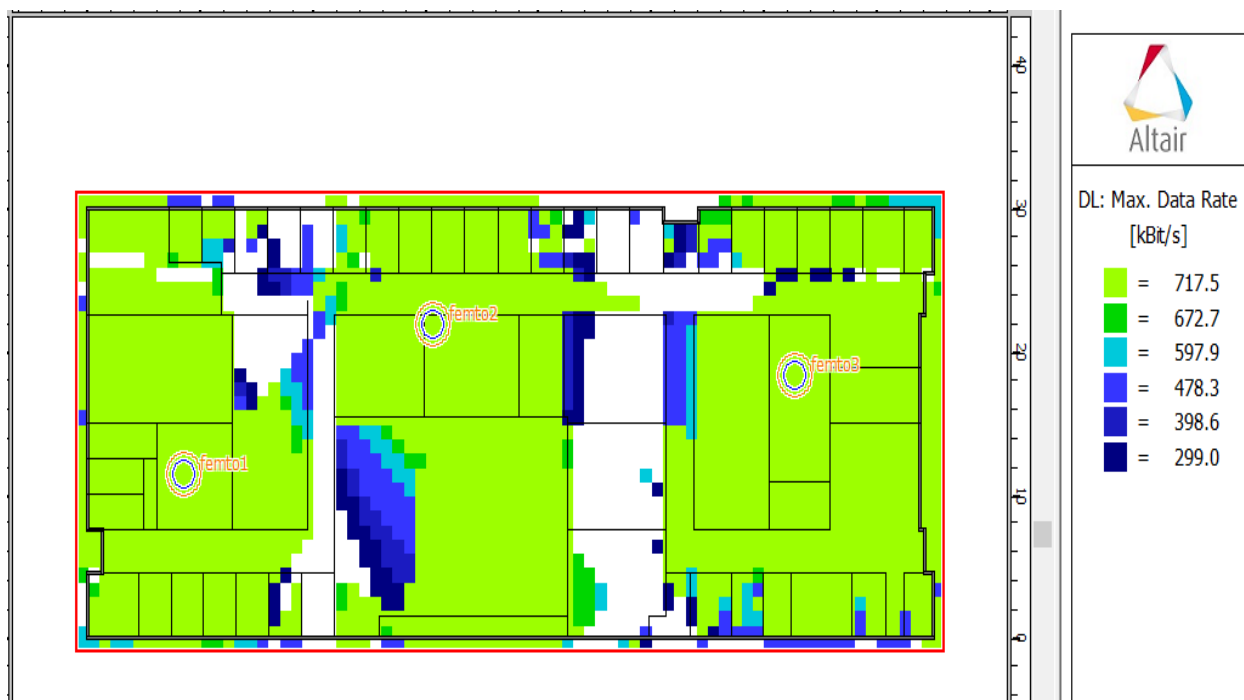
Σχήμα 83: SINR στην ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με ίδια συχνότητα λειτουργίας



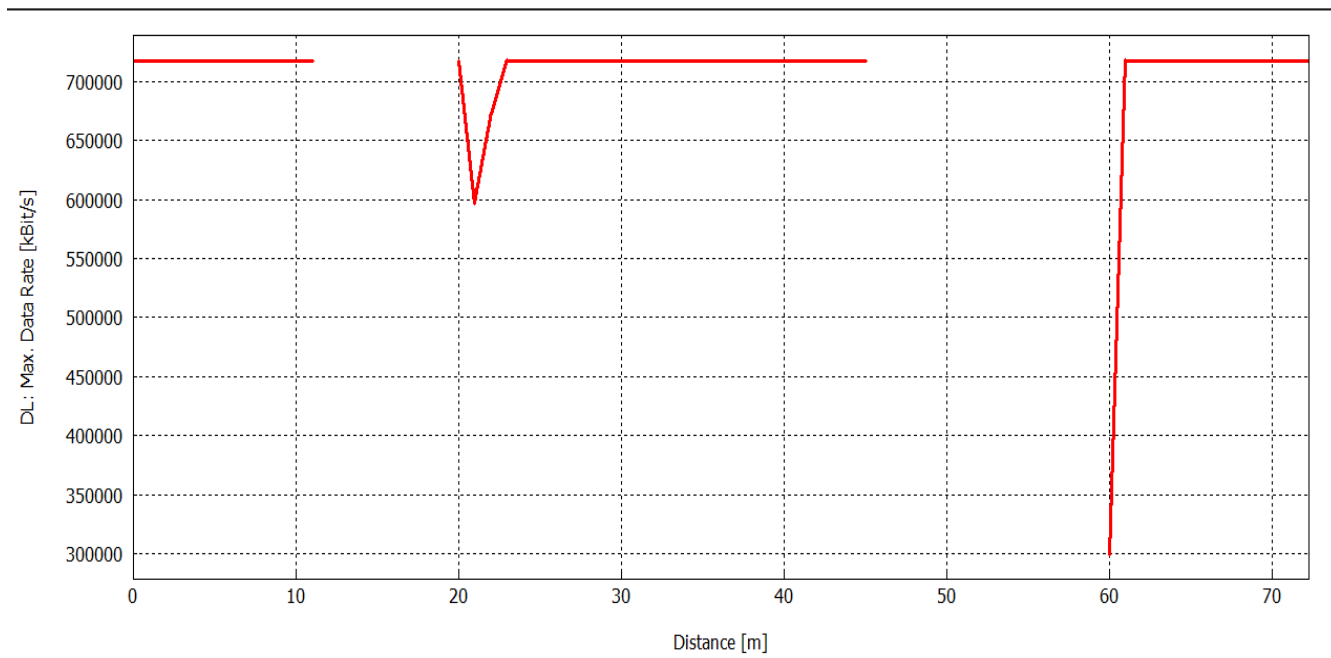
Σχήμα 84: Διαδρομή μέτρησης SINR



Σχήμα 85: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) με ίδια συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 86. Data Rate στην ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με ίδια συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 87 : Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) στην ίδια συχνότητα



2^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τοποθετούμε τρεις φεμτοκυψέλες στην περιοχή προσομοίωσης. Μια στο κέντρο μια στα αριστερά και μια στα δεξιά. Οι παραμετροποιήσεις για κάθε φεμτοκυψέλη είναι οι εξής:

Femtocell_1:

- Max Tx Power: 23 dBm
- Frequency: **2120 MHz.**
- Antenna: isotropic
- Height: 17m

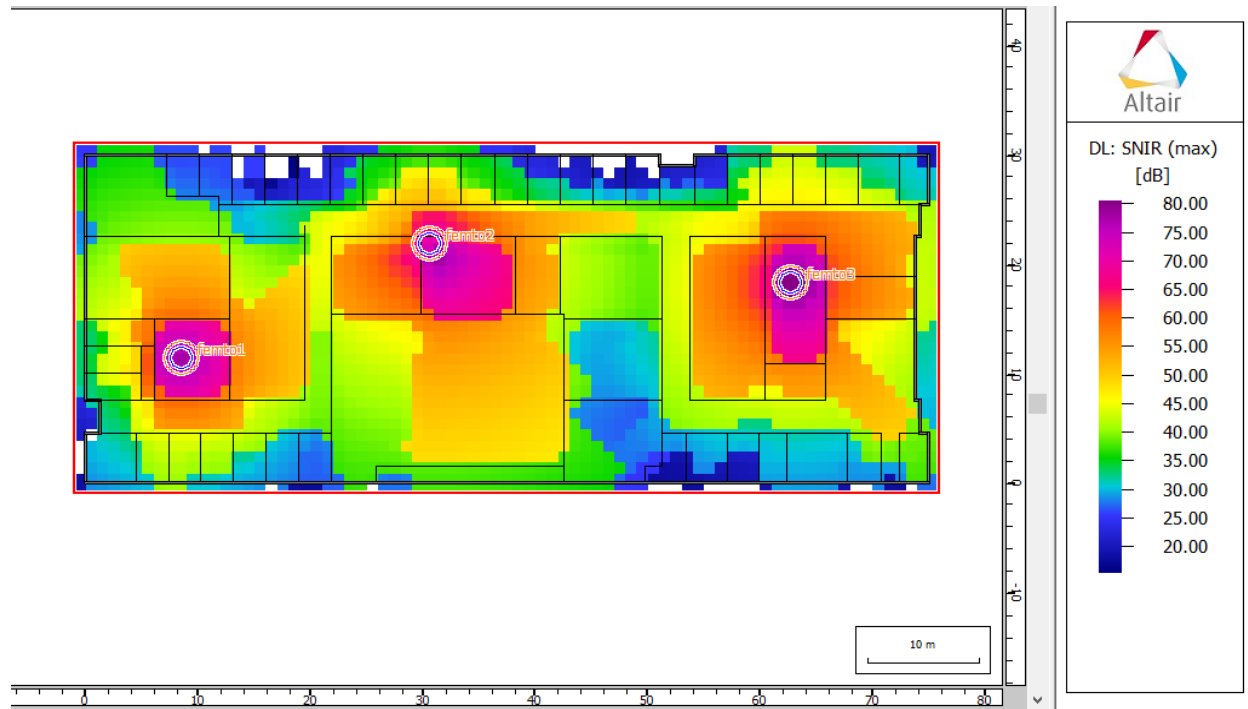
Femtocell_2:

- Max Tx Power: 23 dBm
- Frequency: **2140 MHz.**
- Antenna: isotropic
- Height: 17m

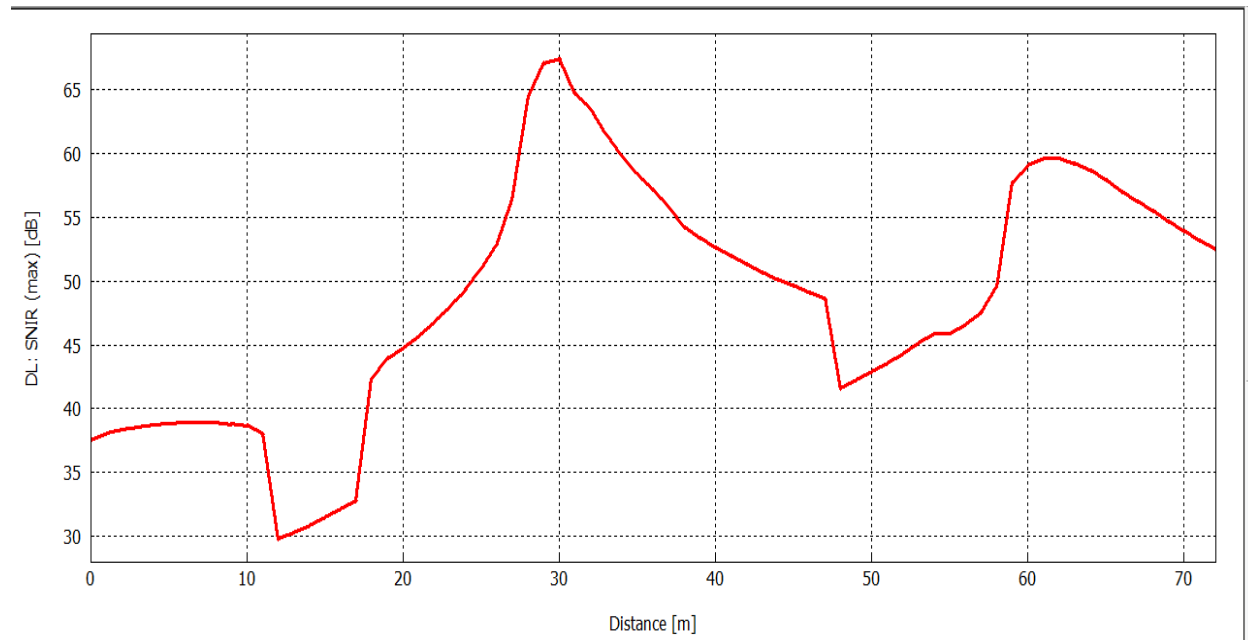
Femtocell_3:

- Max Tx Power: 23 dBm
- Frequency: **2160 MHz.**
- Antenna: isotropic
- Height: 17m

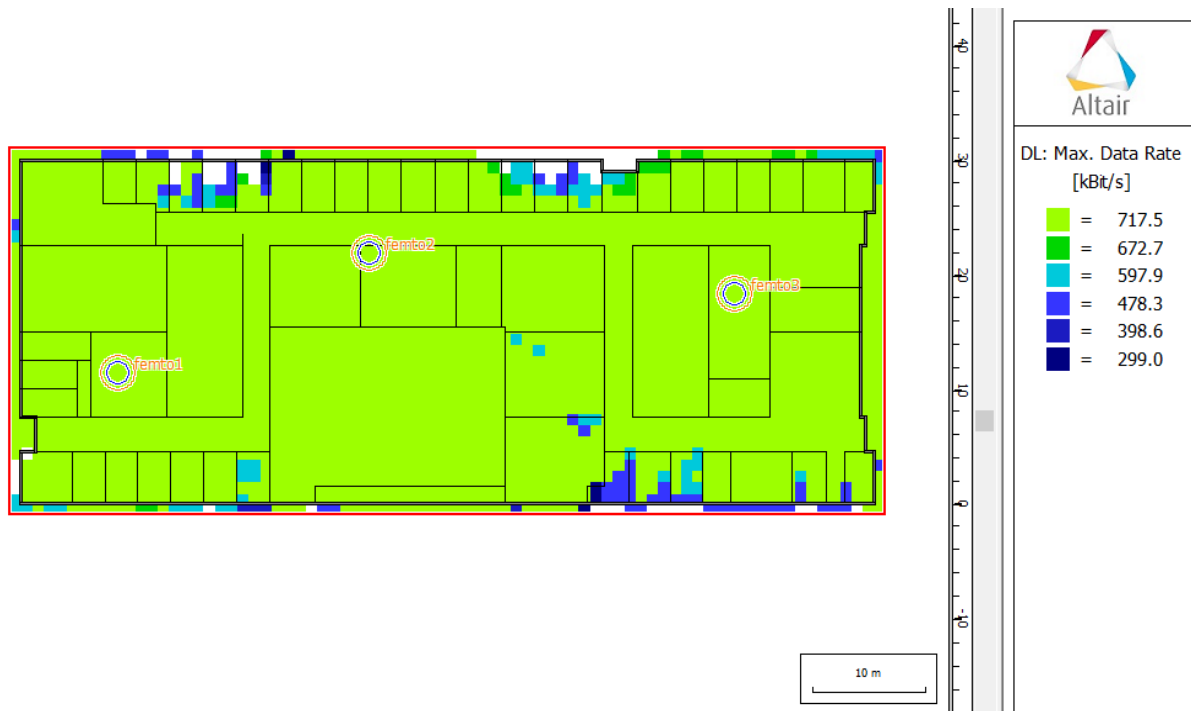
Με την αλλαγή της συχνότητας στους σταθμούς βάσης παρατηρούμε ότι το πρόβλημα της παρεμβολής έχει αποχωρήσει και δεν υπάρχουν πλέον σημεία στην περιοχή προσομοίωσης όπου το SINR να βρίσκεται κάτω από το όριο που έχουμε θέσει. Συγκεκριμένα παρατούμε στο σχήμα 88 ότι δεν υπάρχουν πλέον κενά πλαίσια ανάμεσα στους σταθμούς βάσης, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα σήματα δε συγκρούονται πλέον και το SINR διατηρείται σε υψηλό επίπεδο. Στο σχήμα 89 παρατηρούμε ότι πλέον αν ο χρήστης διασχίσει τον διαδρομή που απεικονίζεται στο σχήμα 84 το SINR δεν πέφτει κάτω από το όριο οπότε δεν κινδυνεύει από διακοπή λειτουργίας η εξυπηρέτηση από τον σταθμό βάσης καθώς το ελάχιστο SINR δεν πέφτει κάτω από 30 dBm. Επιπρόσθετα στο σχήμα 90 παρατηρούμε ότι το Data Rate βελτιώνεται στις περιοχές ανάμεσα από τους σταθμούς βάσης και φτάνει στο μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Τέλος, στο σχήμα 91 παρατηρούμε το διάγραμμα που αντιστοιχεί στο data rate μέσα στο μαύρο πλαίσιο του σχήματος 84 και παρατηρούμε ότι ο ρυθμός δεδομένων είναι σταθερός και σε πολύ υψηλό επίπεδο.



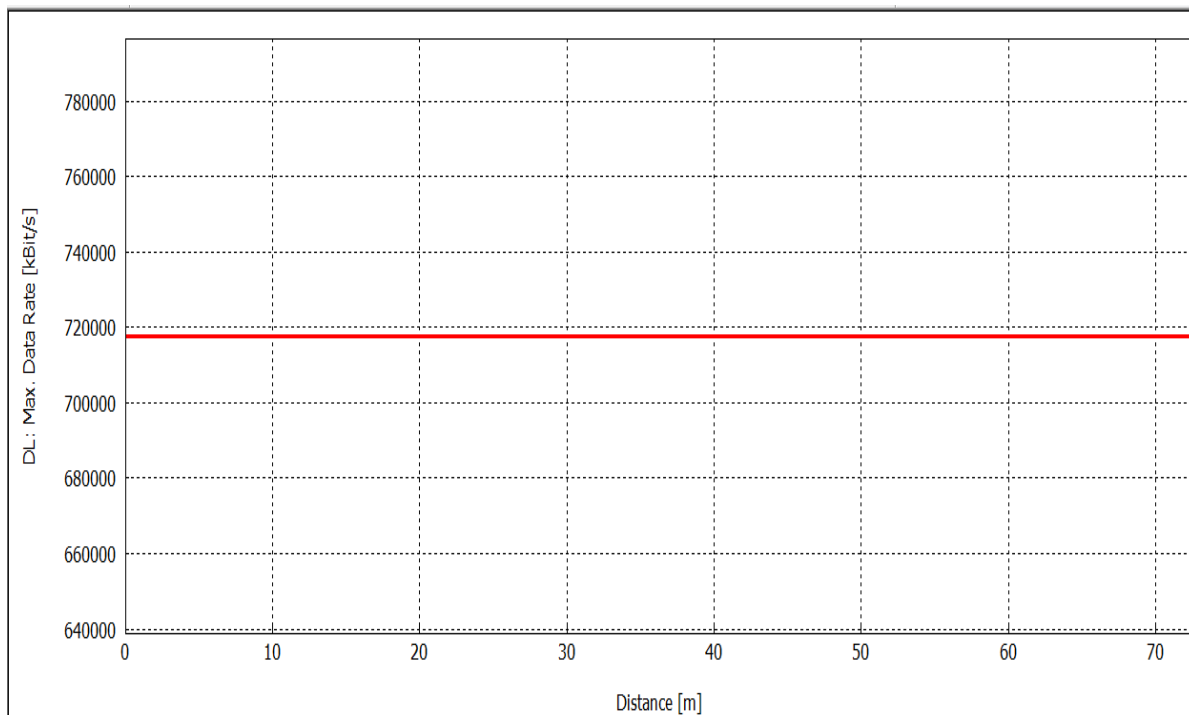
Σχήμα 88: SINR σε ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 89: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 90: Data Rate στην ολόκληρη περιοχή προσομοίωσης με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 91: Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 84) διαφορετική συχνότητα λειτουργίας.



Διαστρωματικές παρεμβολές (cross-layer)-Macro-femto

Σε αυτή την περίπτωση θα μελετήσουμε τις παρεμβολές μεταξύ μιας φεμτοκυψέλης και μιας μακροκυψέλης. Εφόσον οι φεμτοκυψέλες ορίζονται για κάλυψη εσωτερικών χώρων με την βοήθεια του WallMan λογισμικού θα προσθέσουμε μια Indoor Database μέσα σε μια Urban. Για να κάνουμε Import μια Indoor Database σε μια Urban στο WallMan. Στο οριζόντιο Menu στο Objects->Import Indoor Database.



Σχήμα 92 : Εισαγωγή μια Indoor Database σε μια Urban Database



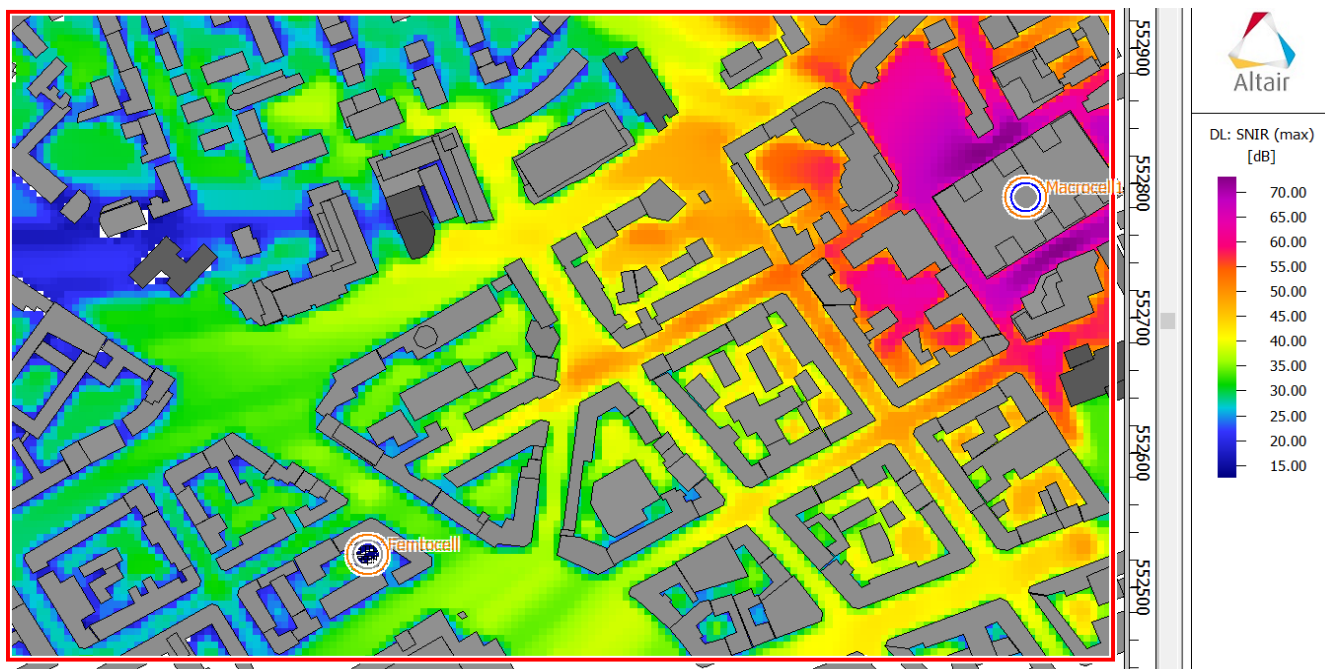
1^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Τοποθετούμε μια μακροκυψέλη στην περιοχή προσομοίωσης

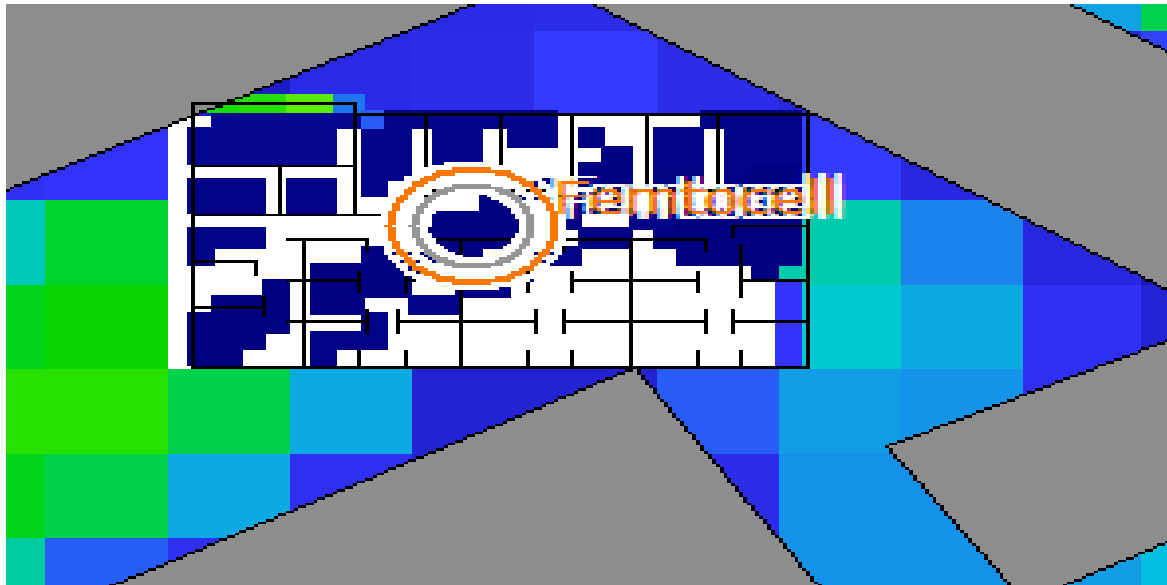
macrocell_1:

- Max Tx Power: 46 dBm
- Frequency: **1940 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 15 m

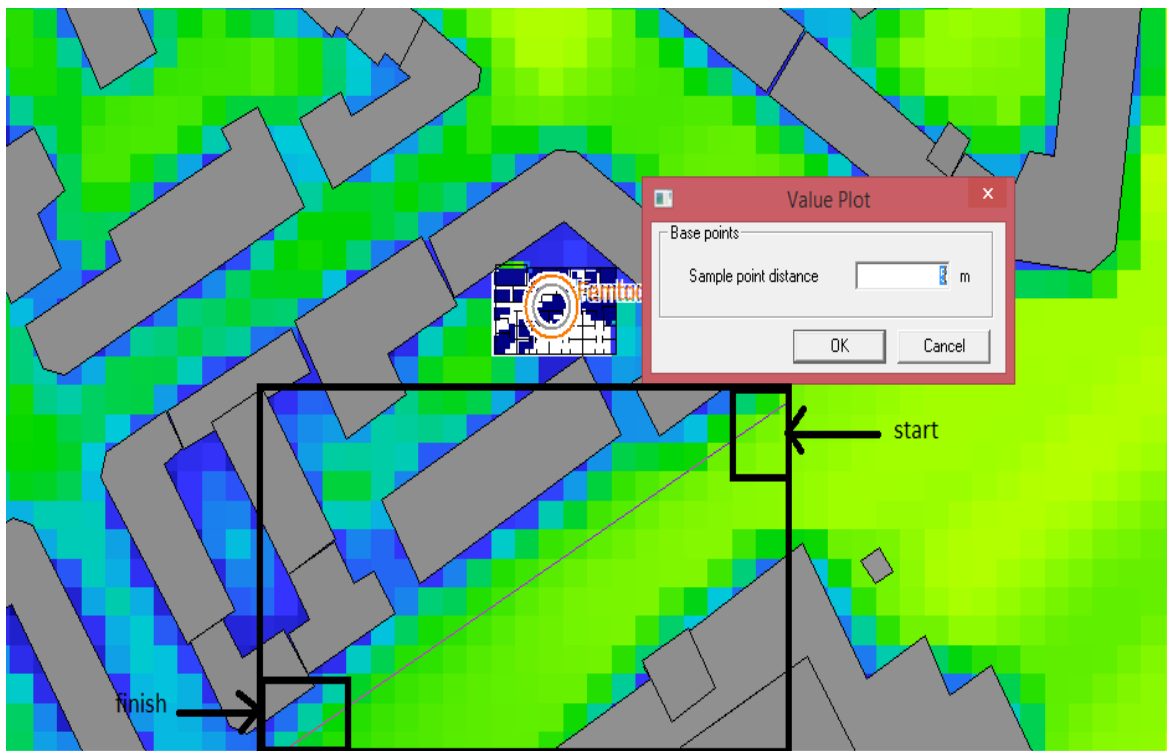
Στην προκειμένη περίπτωση είναι μόνο η μακροκυψέλη ενεργοποιημένη ενώ η φεμτοκυψέλη όχι. Στο σχήμα 93 παρατηρούμε το SINR της μακροκυψέλης σε όλη την περιοχή προσομοίωσης. Το σχήμα 94 αποτελεί ένα τμήμα του σχήματος 93 και παρατηρούμε το SINR της μακροκυψέλης μέσα στον εσωτερικό χώρο της Indoor Database, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της εσωτερικής περιοχής μένει μη εξυπηρετούμενο δηλαδή όταν κάποιος χρήστης βρεθεί σε αυτο το σημείο το SINR που θα υπολογίσει θα είναι λιγότερο από το κατώφλι το οποίο έχουμε ορίσει. Στο σχήμα 95 έχουμε ορίσει μια διαδρομή της περιοχής προσομοίωσης και υπολογίζουμε το SINR από το σημείο start μέχρι το σημείο finish. Στο σχήμα 96 έχουμε το SINR διάγραμμα του σχήματος 95 όπου στον άξονα y έχουμε την απόσταση και στον άξονα x το SINR, επιπρόσθετα στο σχήμα 97 παρατηρούμε το data rate που θα λάβει χρήστης στο downlink αν διασχίσει την διαδρομή από το σημείο start μέχρι το σημείο finish. Στην προσομοίωση 2 όπου θα ενεργοποιήσουμε την φεμτοκυψέλη θα παρατηρήσουμε τις παρεμβολές που θα προκαλέσει η φεμτοκυψέλη στην μακροκυψέλη.



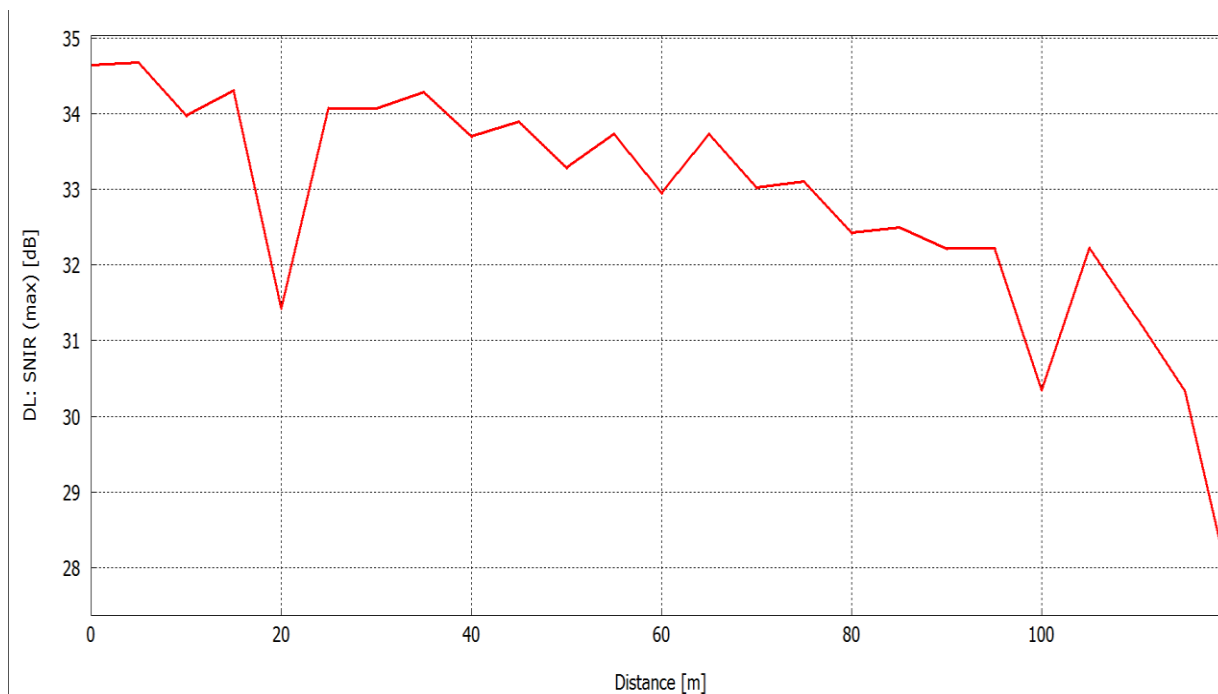
Σχήμα 93: SINR της μακροκυψέλης στην περιοχή προσομοίωσης.



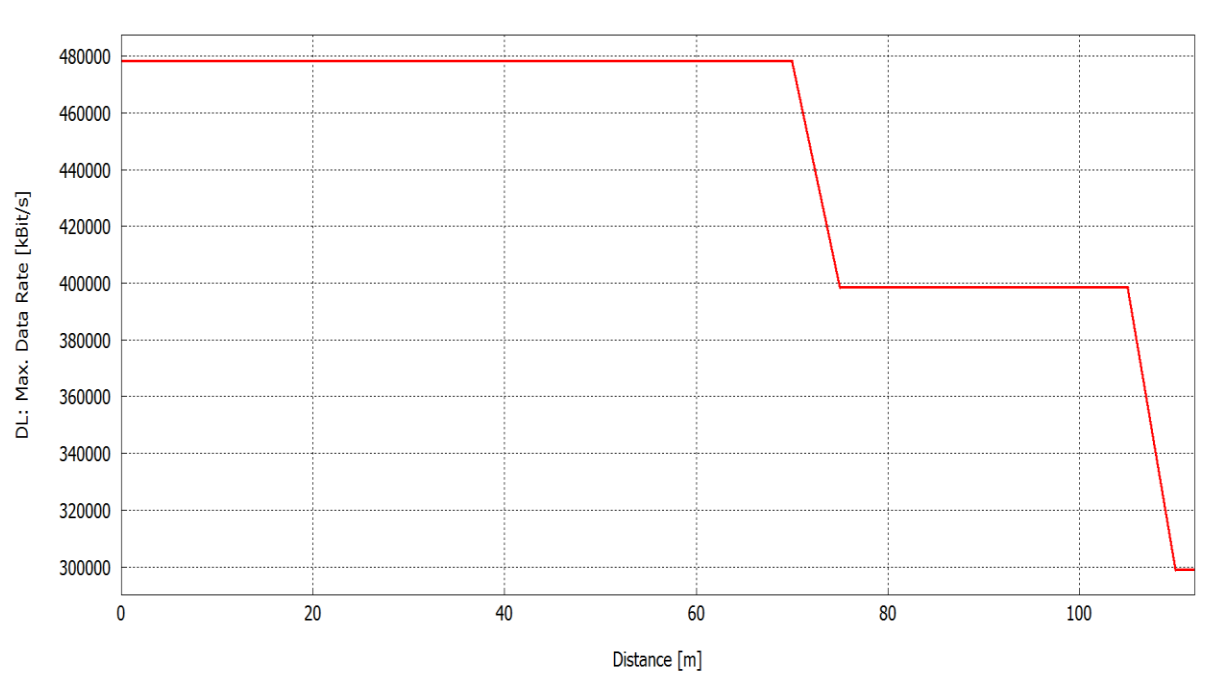
Σχήμα 94: SINR της μακροκυψέλης μέσα στον εσωτερικό χώρο.



Σχήμα 95: Διαδρομή με αφετηρία το σημείο start και τερματισμό το σημείο finish.



Σχήμα 96: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 95)



Σχήμα 97: Data rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 95)



2^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

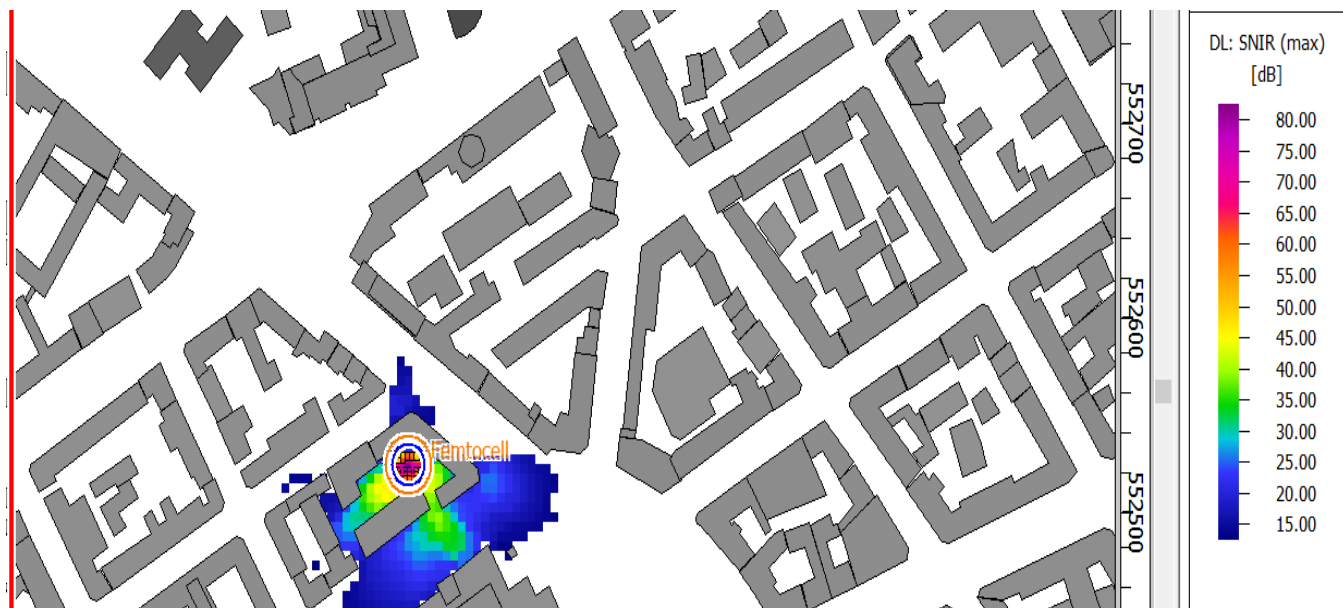
macrocell_1:

- Max Tx Power: 46 dBm
- Frequency: **1940 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 15 m

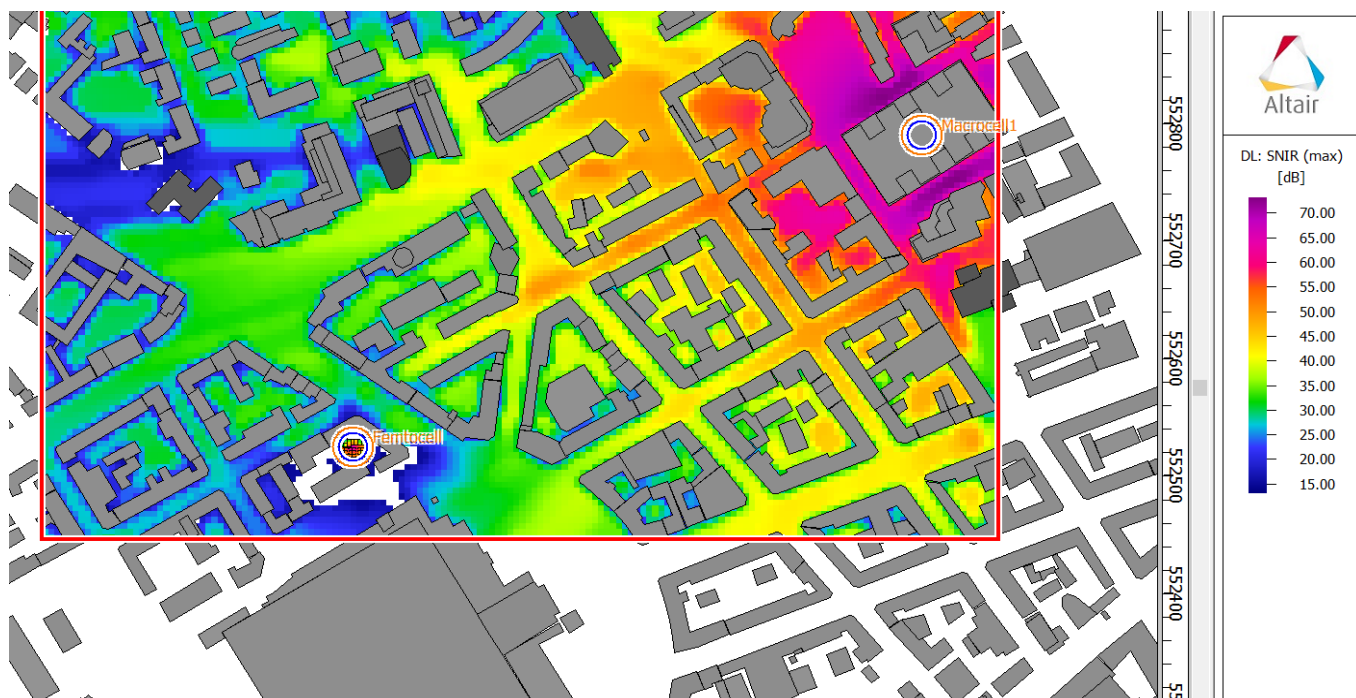
femtocell_1:

- Max Tx Power: 20 dBm
- Frequency: **1940 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 2.5 m

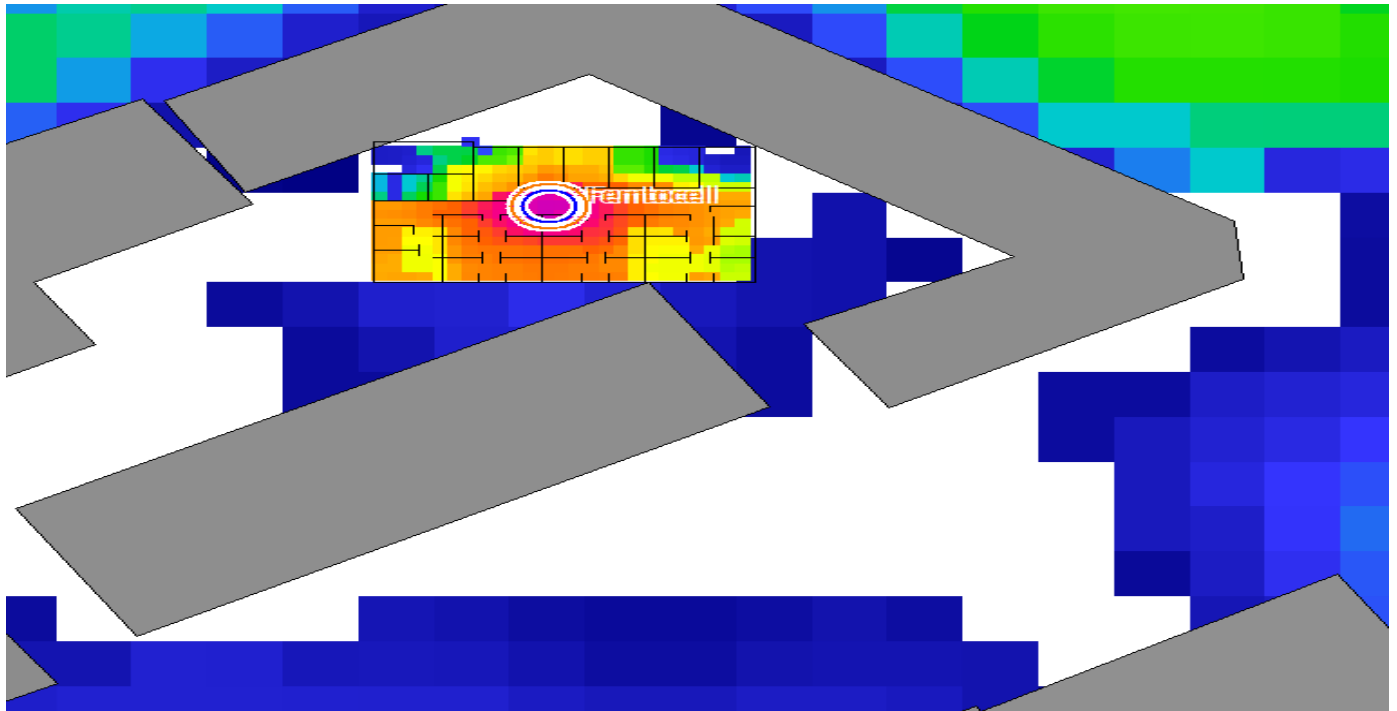
Προσθέτουμε στο δίκτυο μας μια φεμτοκυψέλη η οποία είναι μέσα στην εσωτερική περιοχή της περιοχής προσομοίωσης και εκπέμπει με την ίδια συχνότητα λειτουργίας της μακροκυψέλης και η περιοχή κάλυψη της φαίνεται στο σχήμα 98. Παρατηρούμε ότι η εσωτερική περιοχή της Indoor Database καλύπτεται πλήρως αλλά ταυτόχρονα προκαλεί παρεμβολές στην περιοχή έξω από τον εσωτερικό χώρο της Indoor Database (σχήμα 99). Το φαινόμενο της παρεμβολής μπορούμε να το διαπιστώσουμε αν συγκρίνουμε το διάγραμμα του σχήματος 96 με το διάγραμμα του σχήματος 102. Τα δυο αυτά διαγράμματα αναφέρονται στην ίδια διαδρομή (start-finish). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το σήμα της φεμτοκυψέλης διαπερνάει την εσωτερική περιοχή με αποτέλεσμα να συγκρούεται με το σήμα της μακροκυψέλης. Εξαιτίας της σύγκρουσης των δυο σημάτων (ίδια συχνότητα λειτουργίας) παρατηρούμε ότι στην διαδρομή του σχήματος 95 (ίδια διαδρομή με αυτή του σχήματος 101) το SINR σε ορισμένα σημεία πέφτει κάτω από το κατώφλι το οποίο έχουμε ορίσει (σχήμα 102). Τέλος συγκρίνοντας τα διαγράμματα των σχημάτων 97-103 τα οποία αφορούν το Data rate στην ίδια διαδρομή παρατηρούμε την διαφορά λόγω της παρεμβολής της φεμτοκυψέλης.



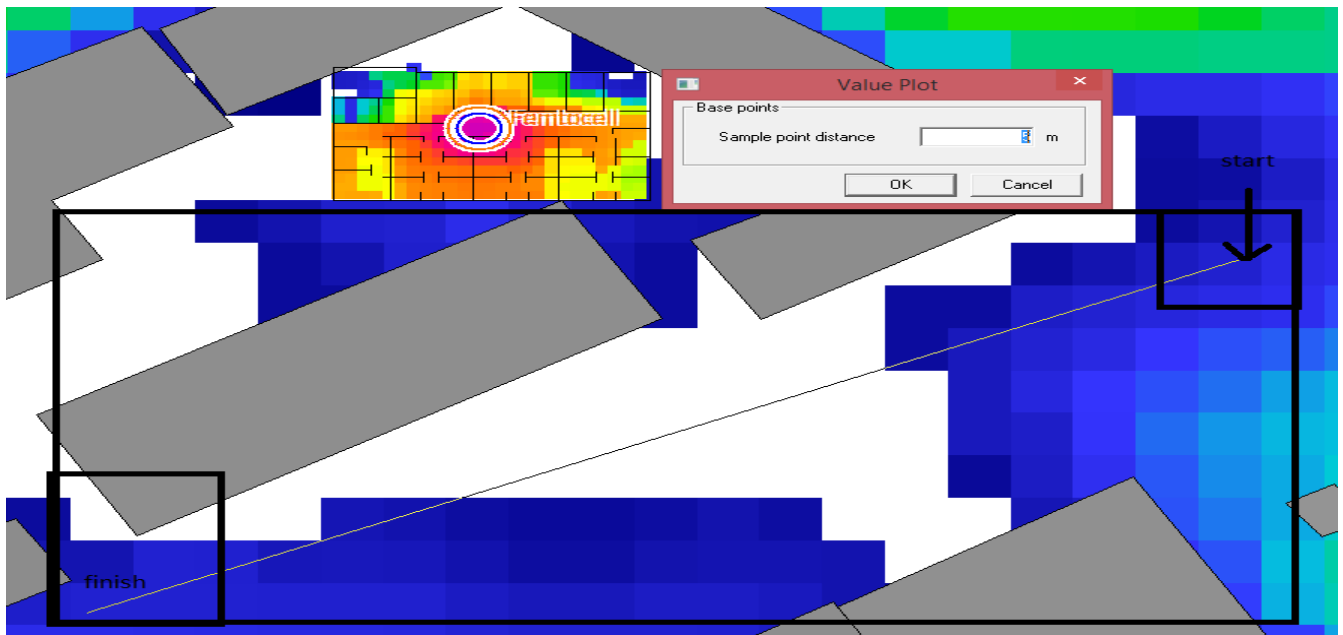
Σχήμα 98 : Περιοχή κάλυψης φεμτοκυψέλης



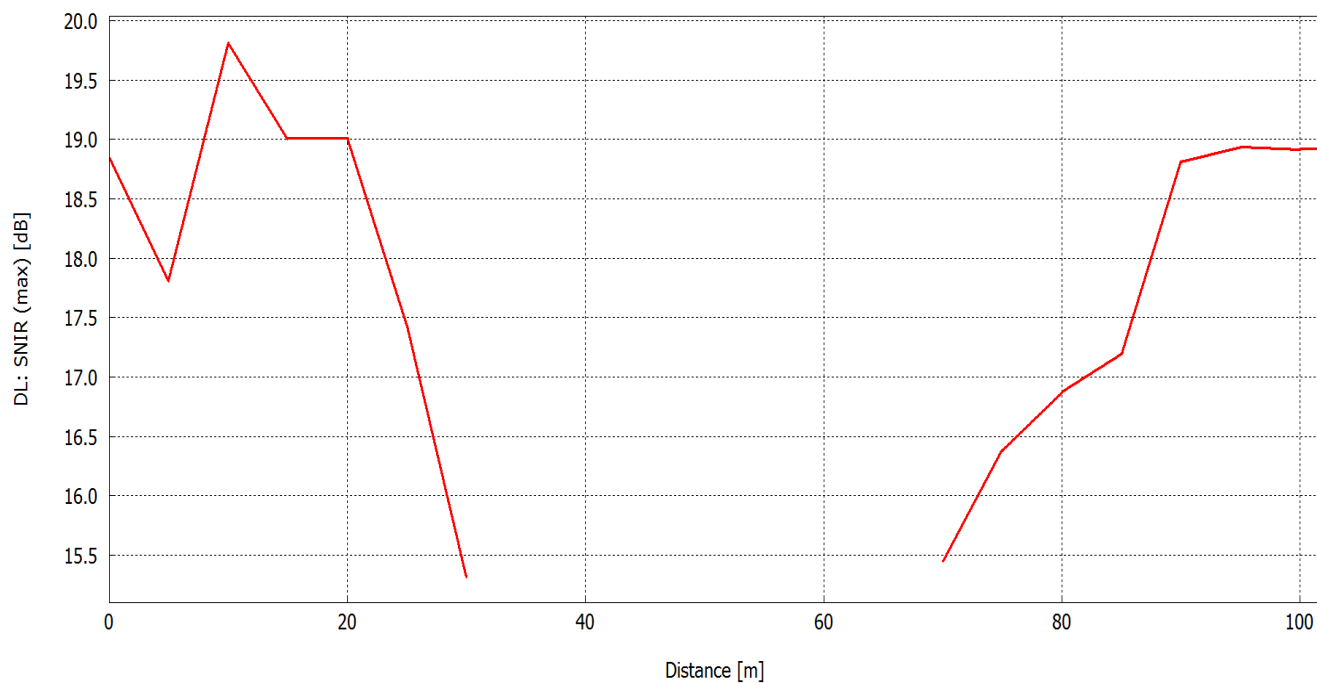
Σχήμα 99: SINR των κυψελών σε όλη την περιοχή προσομοίωσης.



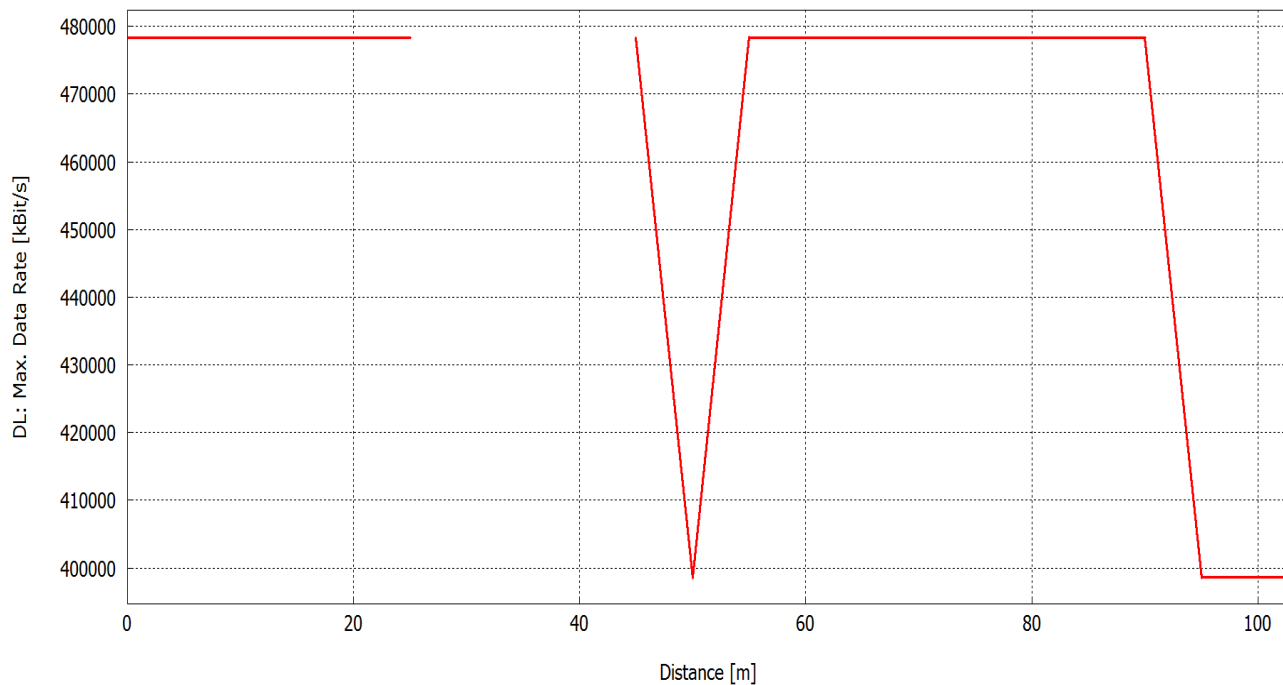
Σχήμα 100: SINR της φεμτοκυψέλης μέσα στην εσωτερική περιοχή -παρεμβολές στην εξωτερική περιοχή.



Σχήμα 101: Ίδια διαδρομή με αυτή του σχήματος 95 (ίδια συχνότητα λειτουργίας)



Σχήμα 102: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 100)



Σχήμα 103 : Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 100)



3^η ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Εδώ έχουμε τις κυψέλες εξυπηρέτησης απλώς με διαφορετική συχνότητα λειτουργίας μεταξύ τους .

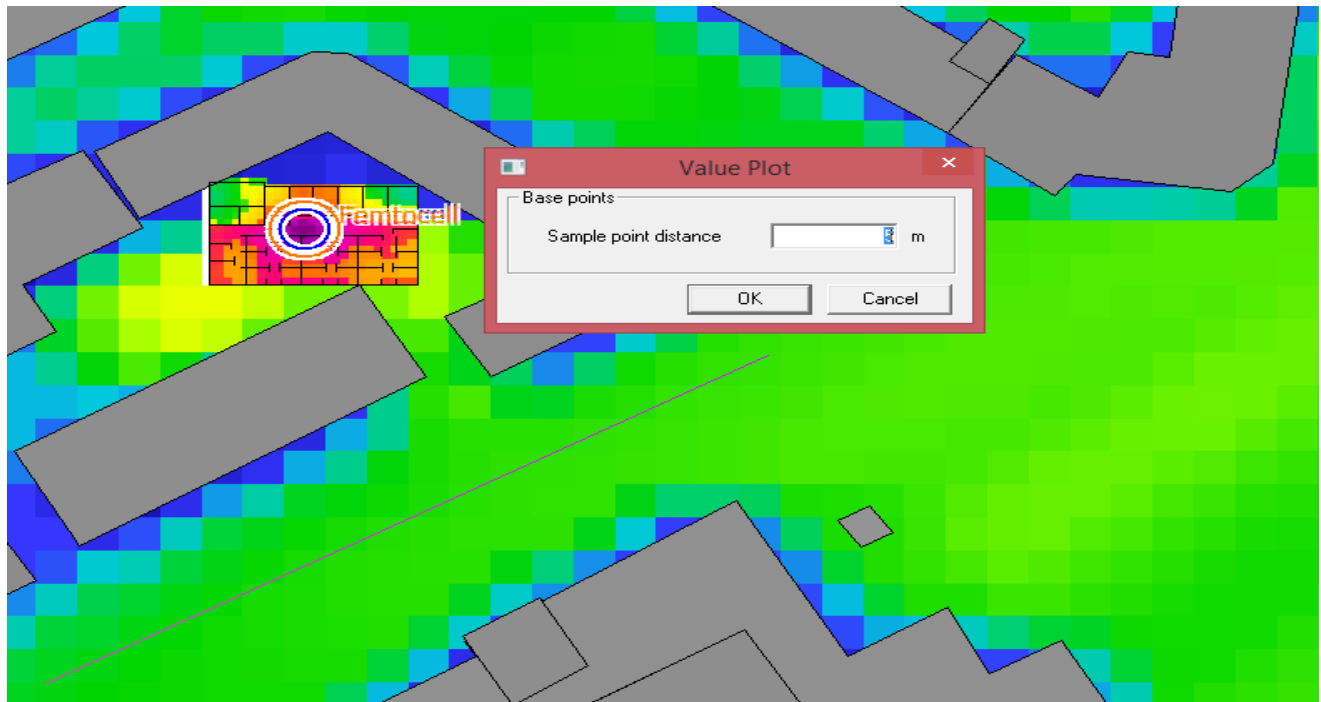
macrocell_1:

- Max Tx Power: 46 dBm
- Frequency:**1940 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 15 m

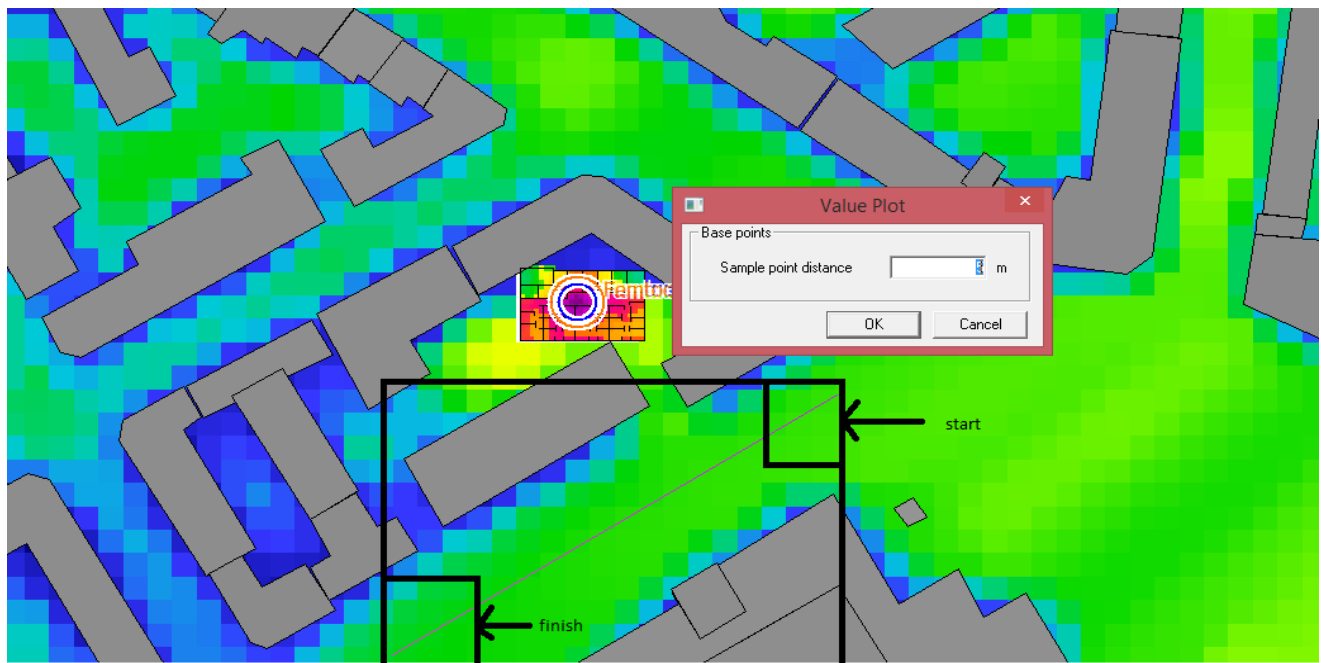
femtocell_1:

- Max Tx Power:20 dBm
- Frequency:**1960 MHz**.
- Antenna: isotropic
- Height: 2.5 m

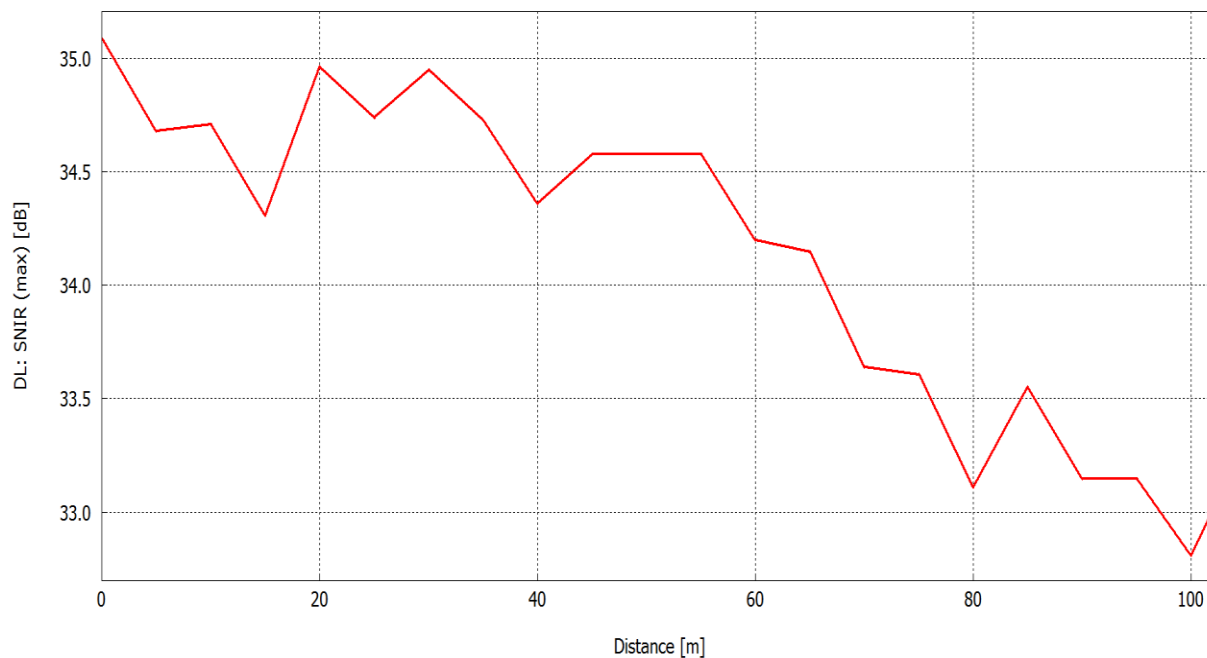
Παρατηρούμε στο σχήμα 104 ότι αντιμετωπίσαμε τα προβλήματα τα οποία τα είχαμε συναντήσει στις δυο προηγούμενες προσομοιώσεις. Πρώτον η εσωτερική περιοχή καλύπτεται πλήρως από την φεμτοκυψέλη και δεύτερον η φεμτοκυψέλη δεν προκαλεί καμία παρεμβολή στην μακροκυψέλη. Συγκεκριμένα αν κάποιο Macro-UE διανύσει την διαδρομή του σχήματος 104 (όμοια διαδρομή με το σχήμα 95) δεν θα δεχτεί καμία παρεμβολή από την φεμτοκυψέλη στην κάτω ζεύξη. Οπότε η πιθανότητα διακοπής λειτουργίας του θα είναι μηδαμινή. Στο σχήμα 105 φαίνεται το SINR στο Downlink της διαδρομής μέσα στο μαύρο πλαίσιο και παρατηρούμε ότι είναι το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και από τις τρεις προσομοιώσεις. Τέλος στο σχήμα 106 είναι φαίνεται το data rate που θα λάβει ένας χρήστης αν διασχίσει αυτή την διαδρομή και συγκρίνοντας το με τα άλλα δυο προηγούμενα διαγράμματα που έχουν στον άξονα y το data rate και στον άξονα x την απόσταση παρατηρούμε ότι είναι το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και από τα τρία.



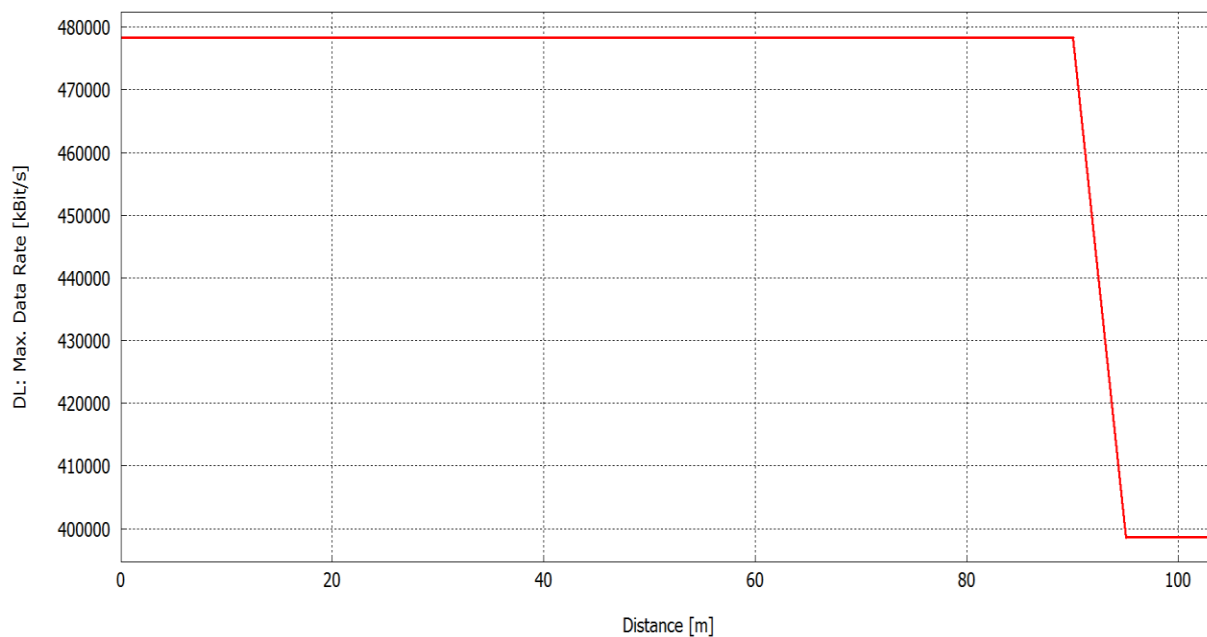
Σχήμα 104: SINR των κυψελών σε όλη την περιοχή προσομοίωσης.



Σχήμα 105: Ίδια διαδρομή με αυτή του σχήματος 103 (διαφορετική συχνότητα λειτουργίας)



Σχήμα 106: SINR στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 104)

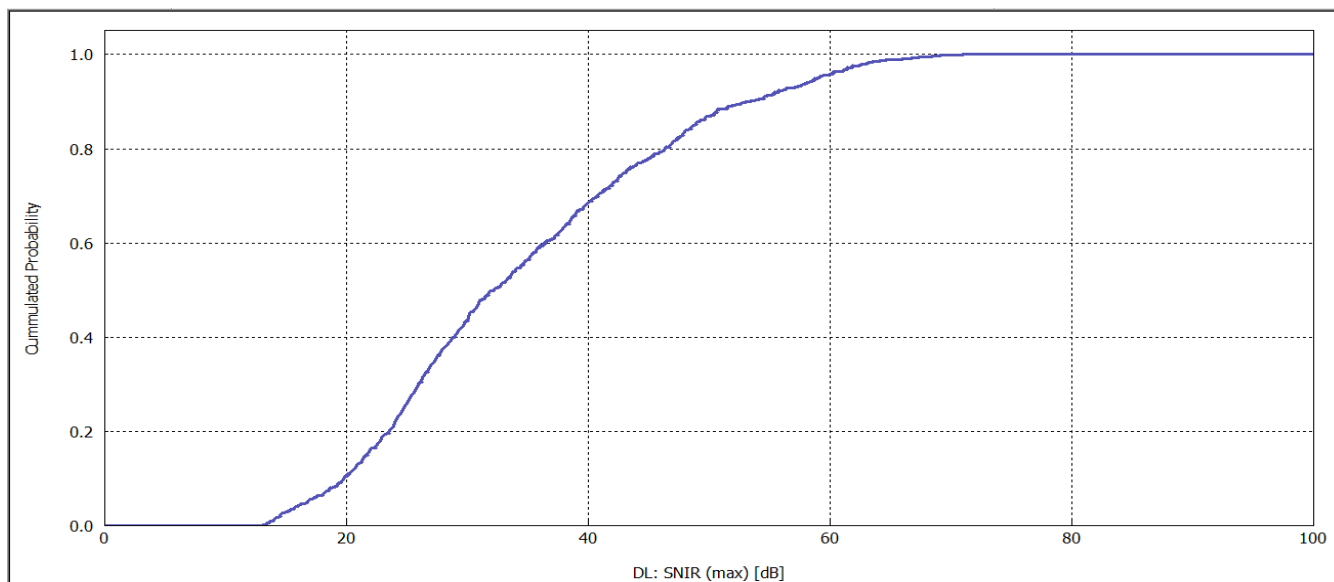


Σχήμα 107: Data Rate στην περιοχή μέσα στο μαύρο πλαίσιο (του σχήματος 104)

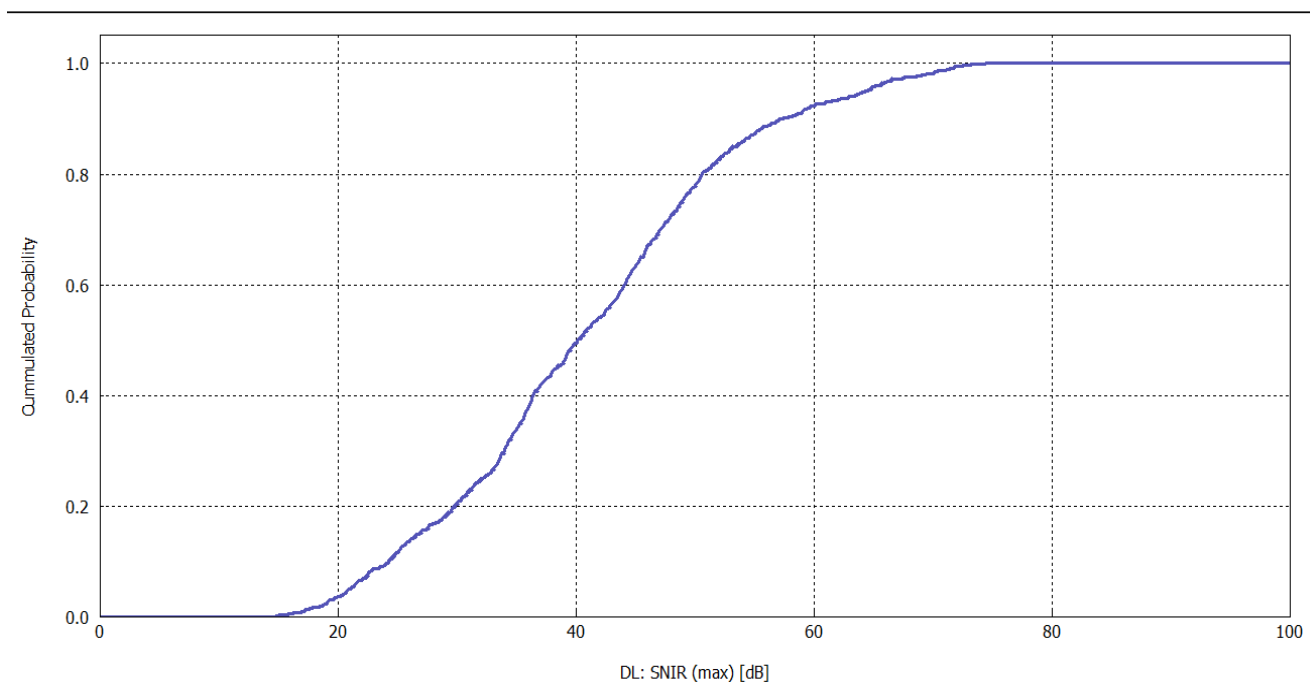


CDF ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΑ ΣΕΝΑΡΙΑ MACRO-FEMTO

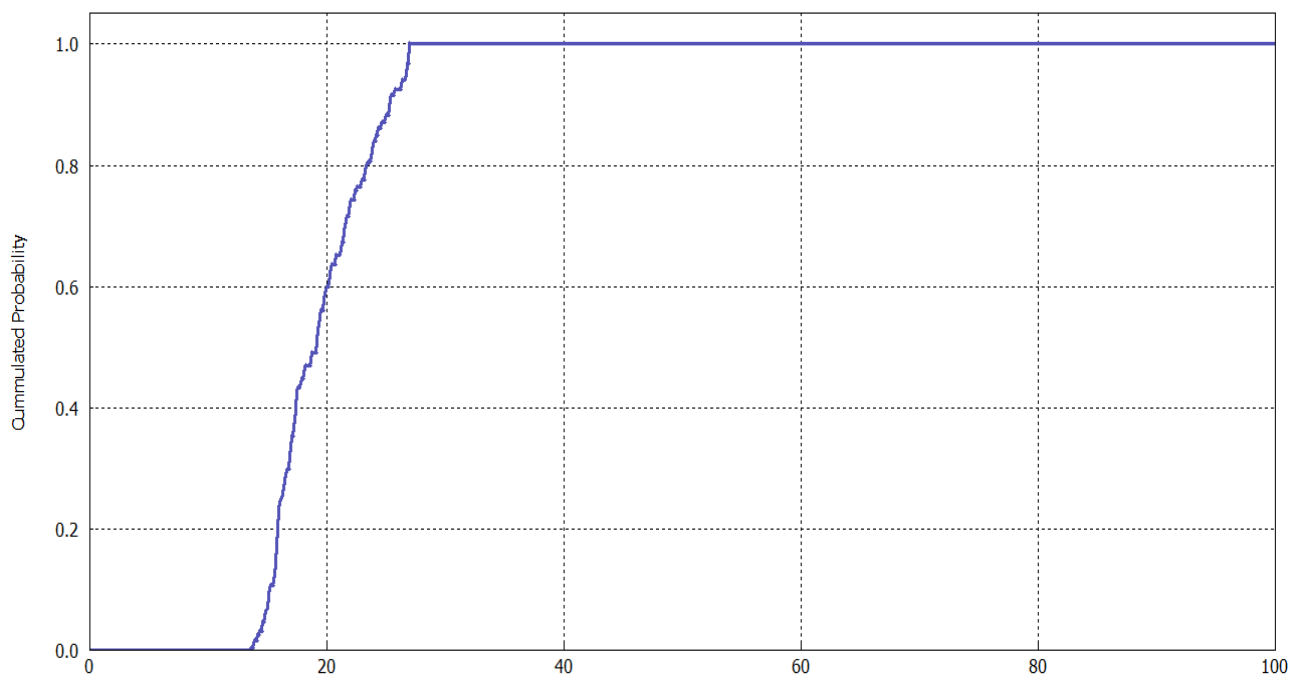
Τα διάγραμμα 108 έως 111 αφορούν τα cdf διαγράμματα για τα σενάρια που αφορούν τις Ομοστροφματικές παρεμβολές καθώς και τις διαστρωματικές όσο αφορά τα project με τις φεμντοκυψέλες. Πιο συγκεκριμένα τα διαγράμματα 108 και 109 αφορούν το σενάριο με τις Ομοστροφματικές παρεμβολές και οι υπόλοιπες για το σενάριο με τις διαστρωματικές. Συγκρίνοντας τα διαγράμματα 108 και 109 βλέπουμε ότι για SINR= 40 dB, στην περίπτωση που οι φεμντοκυψέλες εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες βελτιώνεται η απόδοση του δικτύου περίπου 20%. Επίσης στο σενάριο που αφορά τις διαστρωματικές παρεμβολές συγκρίνοντας τα διαγράμματα 110 και 111 για SINR= 20 dB παρατηρούμε ότι βελτιώνουμε την απόδοση του δικτύου κατά 50%. Τέλος, αξίζει να σημειώσουμε ότι η τεχνική αυτή αντιμετωπίζει τις παρεμβολές σε οποιοδήποτε σενάριο που να αφορά το ετερογενές δίκτυο όμως μειώνει την φασματική απόδοση καθώς το φάσμα που χρησιμοποιεί το ένα επίπεδο του ετερογενές δικτύου δεν μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτό το άλλο.



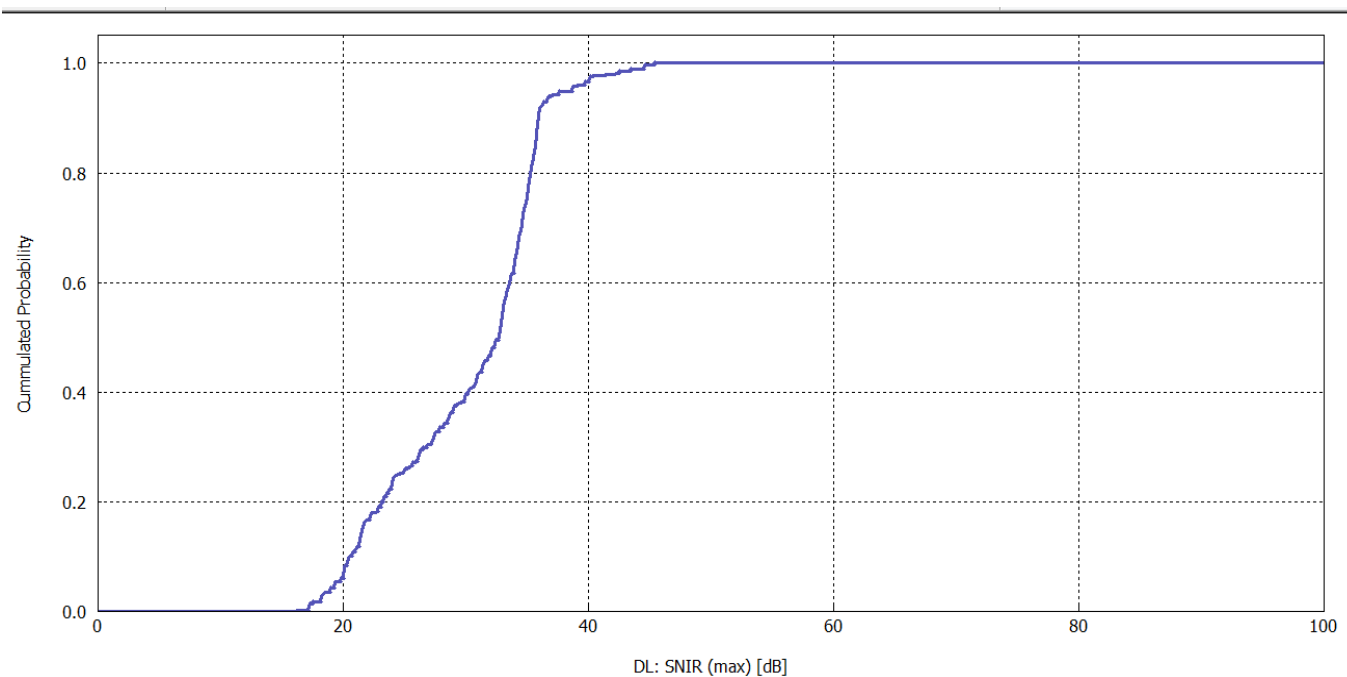
Σχήμα 108: CDF για Ομοστροφιατικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, ίδια συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 109: CDF για Ομοστροφιατικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, διαφορετική συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 110: CDF διάγραμμα σενάριο: διαστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, ίδια συχνότητα λειτουργίας



Σχήμα 111 : CDF για διαστρωματικές παρεμβολές (co-layer)-femto-femto, διαφορετική συχνότητα λειτουργίας



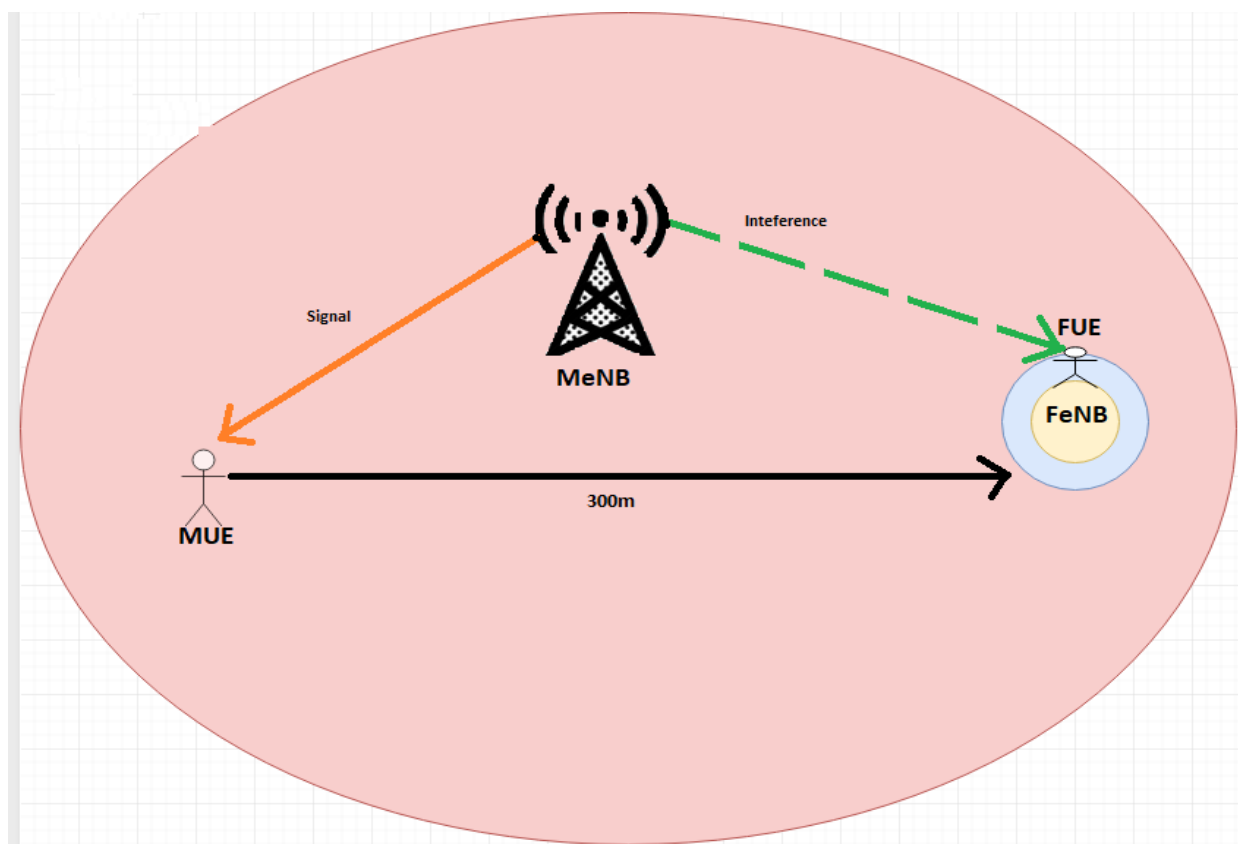
6.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ MATLAB

6.2.1 DOWNLINK

Με την βοήθεια της MATLAB θα προσομοιώσουμε ένα ετερογενές δίκτυο το οποίο αποτελείται από μια Μακροκυψέλη και μια Φεμτοκυψέλη. Το δίκτυο αυτό ονομάζεται και αλλιώς ετερογενές δίκτυο δυο επιπέδων. Στο Συγκεκριμένο σενάριο έχουμε επιπλέον δυο χρήστες, το Χρήστη που εξυπηρετείται από την μακροκυψέλη (MUE) και τον χρήστη που βρίσκεται μέσα στο σπίτι του και εξυπηρετείται από την Φεμτοκυψέλη. Εμείς θα μελετήσουμε την παρεμβολή που θα δεχτεί το MUE καθώς κινητέ προς την κατεύθυνση που δείχνουν τα βελάκια στο σχήμα 112 όταν βρεθεί έξω από το σπίτι που περιέχει την φεμτοκυψέλη (κίτρινο πλαίσιο).

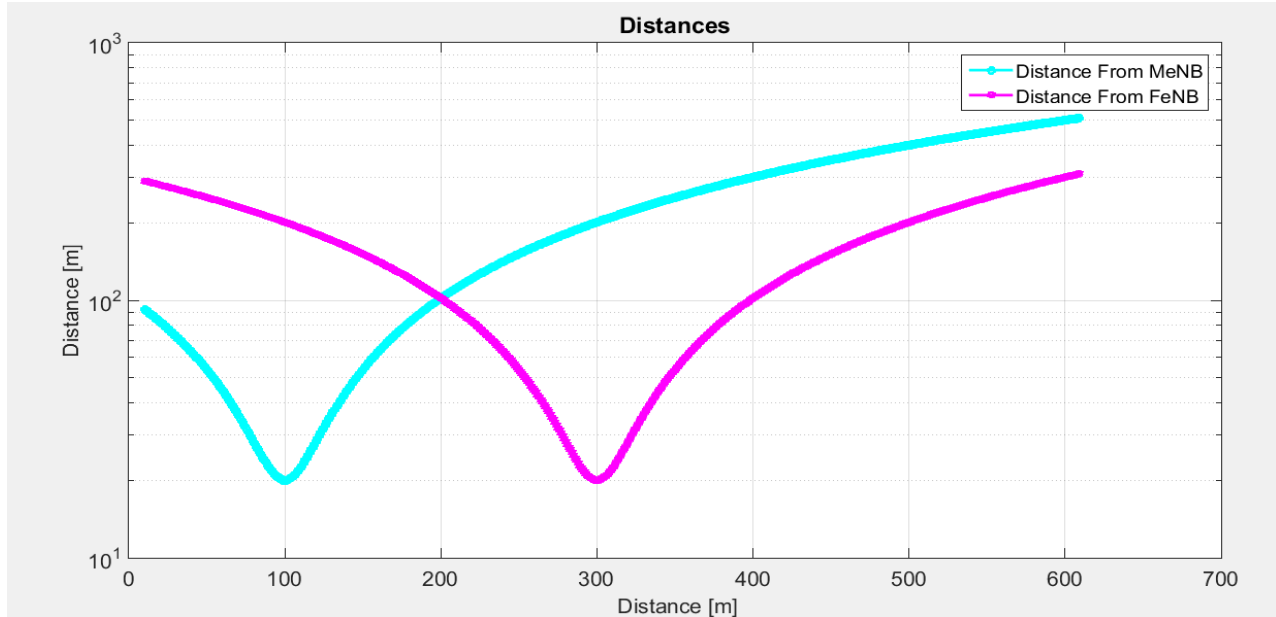
Πίνακας 9 παραμέτρων έλεγχου ισχύος κάτω ζεύξη

Multiple Access:	OFDM
Duplex separation:	FDD
Channel Bandwidth:	20MHz
pathloss MeNB and a UE(indoor)	$LiM(r) [dB] = 15.3 + 37.6 \log_{10} r + LOW,$
pathloss MeNB and a UE(outdoor)	$LoM(r) [dB] = 15.3 + 37.6 \log_{10} r.$
pathloss HeNB and a UE(indoor)	$LiH(r) [dB] = 38.46 + 20 \log_{10} r,$
pathloss HeNB and a UE(outdoor)	$Lo H(r) [dB] = \max(Lo M(r), Li H(r)) + LOW,$
MeNB MAX Power Transmit	48 dBm
FeNB MAX Power Transmit	23 dBm
Penetration Loss (=LOW)	10 dB
Modulation	QPSK,16-QAM,64QAM
MeNB radius	600m
FeNB radius	30m

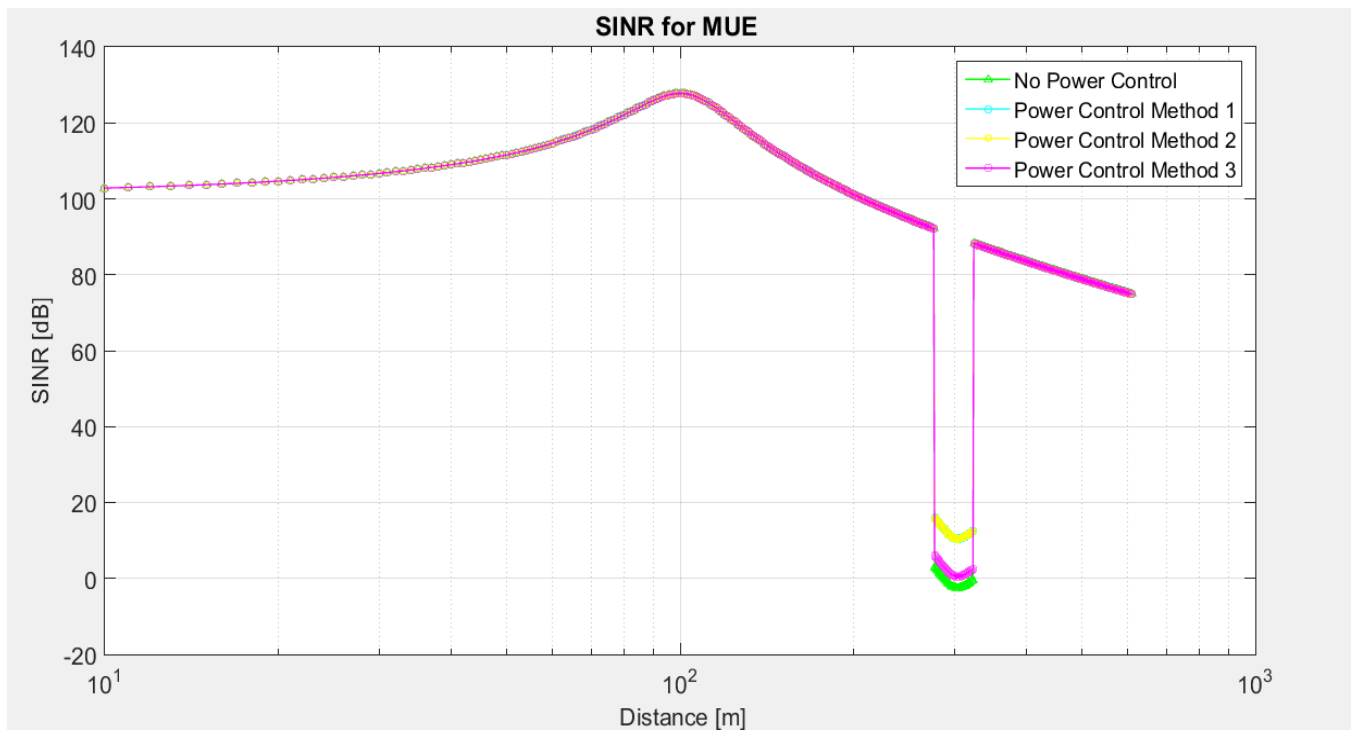


Σχήμα 112 : Περιοχή προσομοίωσης στο Downlink σενάριο

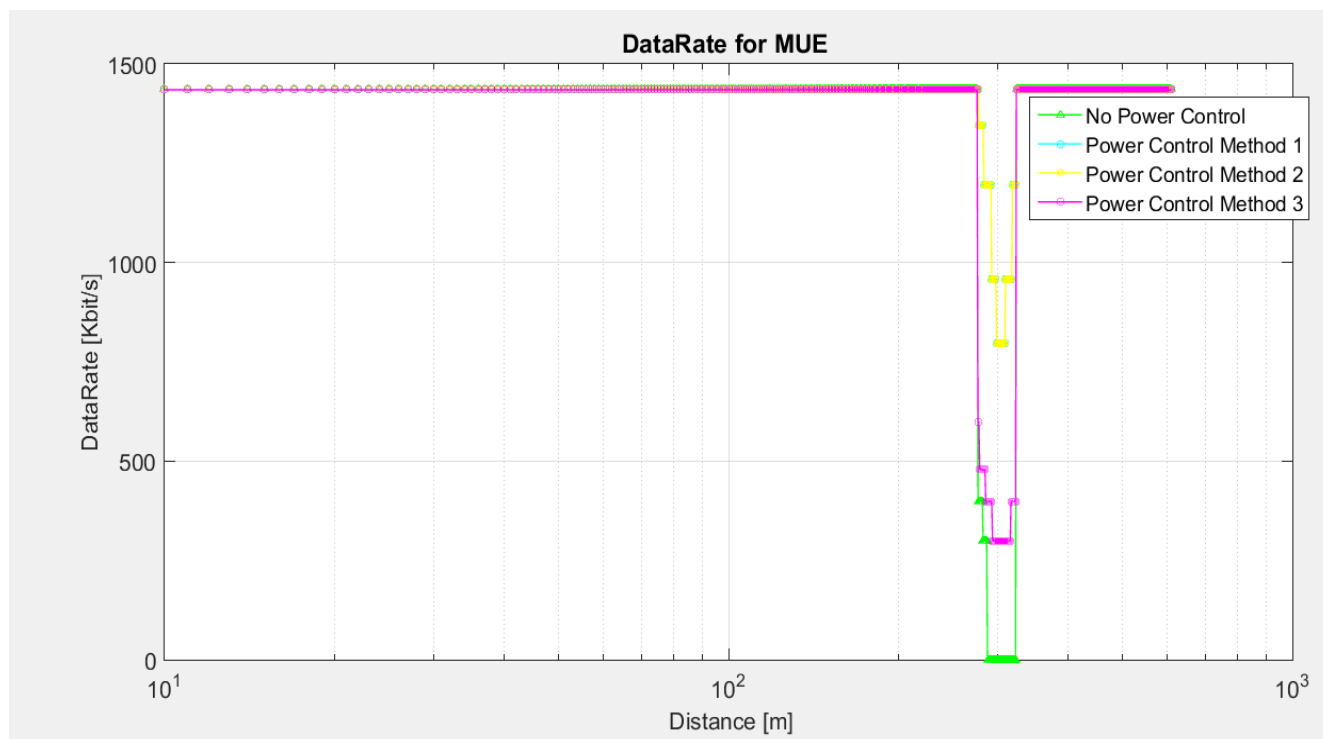
Η φεμτοκυψέλη στο συγκεκριμένο σενάριο εκπέμπει με μέγιστη συχνότητα οπότε η περιοχή κάλυψης της φεμτοκυψέλης ξεπερνάει το χώρο του σπιτιού (Μπλε πλαίσιο.). Η φεμτοκυψέλη είναι κλειστής συνδρομής και το MUE δεν είναι ένας από τους συνδρομητές. Σε περίπτωση που το MUE βρεθεί έξω από το σπίτι και μέσα στην περιοχή κάλυψης (Μπλε πλαίσιο) και το SINR πέσει κάτω από το 0 ($SINR_{MUE} < 0$) τότε το MUE χάνει την σύνδεση του με τον σταθμό βάσης που τον εξυπηρετεί. Σε αυτή την περίπτωση η φεμτοκυψέλη προκαλεί μια οπή στην περιοχή κάλυψης της μακροκυψέλης. Οι τεχνικές που θα εφαρμοστούν σε αυτό το σενάριο είναι οι τεχνικές στο πεδίο της ισχύος και είναι οι ακόλουθες **εξισώσεις** (9), (10) και (12). Πριν ξεκινήσει να κινείται το MUE, η απόσταση του από το MeNB είναι 92m και από την φεμτοκυψέλη 290μ. καθώς κινείται στον άξονα x, η απόσταση από κάθε σταθμό βάσης ξεχωριστά απεικονίζεται στο σχήμα 113. Παρατηρούμε ότι στα 300m μετρά από την αρχική του θέση η απόσταση του από την φεμτοκυψέλη είναι 20m. Οπότε βρίσκεται μέσα στο μπλε πλαίσιο. Στο σχήμα 114 παρατηρούμε το SINR του MUE με βάση την απόσταση που διανύει και στις τέσσερις περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι όταν δεν εφαρμόζεται κάποια μέθοδος ελέγχου ισχύος (No Power Control), το SINR πέφτει κάτω από κατώφλι οπότε σε εκείνη την περίπτωση η κλίση του τερματίζεται. Εφαρμόζοντας τις τρεις τεχνικές που επιλέξαμε από το κεφάλαιο 5 παρατηρούμε ότι και οι τρεις μέθοδοι βελτιώνουν το SINR του MUE διατηρώντας το πάνω από το κατώφλι ($SINR > 0$). Παρατηρούμε ότι από τις τρεις μεθόδους η δεύτερη και η πρώτη φέρουν την καλύτερη απόδοση ($SINR = 16\text{dB}$), ενώ η τρίτη $SINR = 6\text{dB}$. Στο σχήμα 115 παρατηρούμε το αντίστοιχο Data Rate που πετυχαίνουμε με βάση το SINR που πετυχαίνουμε σε κάθε περίπτωση, οπότε πάλι οι μέθοδοι 1,2 φέρουν το καλύτερο αποτέλεσμα.



Σχήμα 113: απόσταση από τους σταθμούς βάσης καθώς κινείται το τερματικό MUE

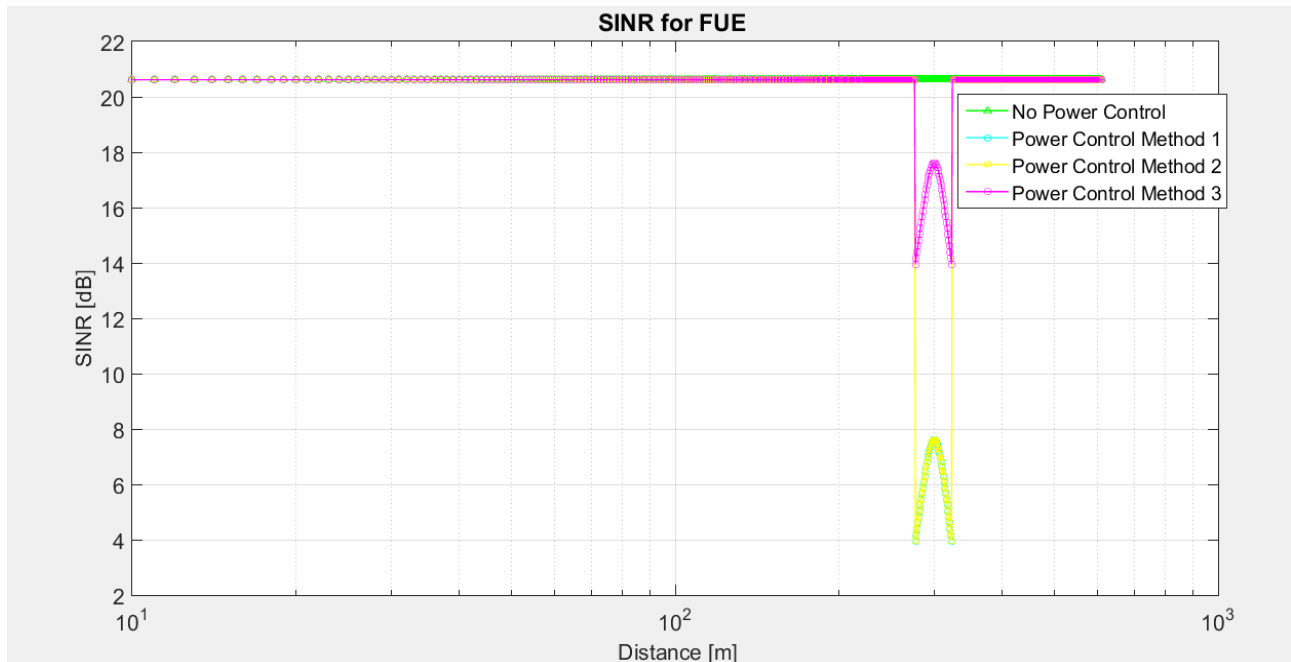


Σχήμα 114: SINR καθώς το MUE κινείται

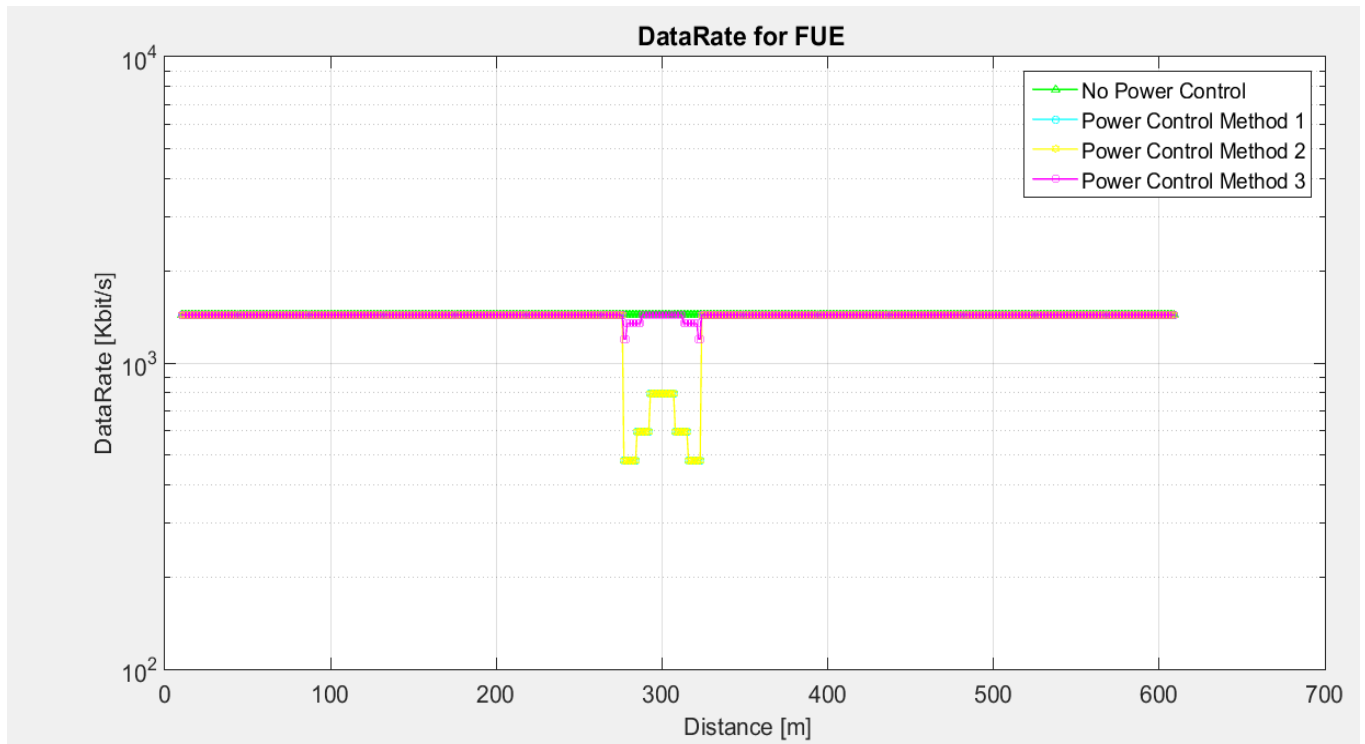


Σχήμα 115: Data Rate καθώς το UE κινείται

Καθώς όμως και οι τρεις αυτοί μέθοδοι προσαρμόζουν την ισχύ εκπομπής της φεμτοκυψέλης για να μειώσουν τις παρεμβολές στα γύρω συστήματα είτε είναι του ίδιου επιπέδου είτε όχι, μειώνουν ταυτόχρονα την ισχύ λήψης από το FUE. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται και το SINR του FUE. Παρατηρώντας το σχήμα 115 διαπιστώνουμε η μέθοδο 3 μειώνει πιο λίγο από τις άλλες δυο μεθόδους το SINR του FUE, καθώς επίσης φέρει και το καλύτερο αποτέλεσμα στο Data Rate (σχήμα 117). Συγκριμένα, η μέθοδος τρία μειώνει κατά 6 dB το SINR, ενώ οι μέθοδοι ένα και δυο κατά 17 dB.



Σχήμα 116: SINR FUE



Σχήμα 117 : Data Rate για το FUE



6.2.2 UPLINK

Το συγκεκριμένο σενάριο αφορά την μελέτη παρεμβολών στην άνω ζεύξη και αποτελείται από 20 φεμτοκυψέλες και μια μακροκυψέλη. Κάθε κυψέλη εξυπηρετεί έναν χρήστη οπότε έχουμε 21 χρήστες στο σύνολο. Η απεικόνιση του σεναρίου παρουσιάζεται στο σχήμα 118. Ο Mac scheduler από κάθε σταθμό βάσης έχει προγραμματίσει το UE που εξυπηρετεί να εκπέμπει στο ίδιο resource block με τους άλλους των γειτονικών σταθμών βάσης. Οι τεχνικές που θα εφαρμοστούν εδώ είναι οι τρεις μέθοδοι που αναφέρονται στο 5^ο κεφάλαιο ως ΜΕΘΟΔΟΣ 1, ΜΕΘΟΔΟΣ 2, ΜΕΘΟΔΟΣ 3. Η Βελτίωση της απόδοσης του δικτύου προκύπτει από τα συμπεράσματα των δυο διαγραμμάτων. Οι μετρήσεις απόδοσης του πρώτου διαγράμματος είναι η μέση μείωση του SINR των FUEs. Όταν το στοχευμένο SINR του MUE είναι ανέφικτο, ένα μέρος των FUE επιλέγεται για να μειώσει τη ισχύ εκπομπής του, πράγμα που φυσικά θα οδηγήσει σε μείωση της αντίστοιχης SINR της FUE. Η μέθοδος που θα οδηγήσει στη μικρότερη μείωση αυτής της παραμέτρου θα εκτιμηθεί.

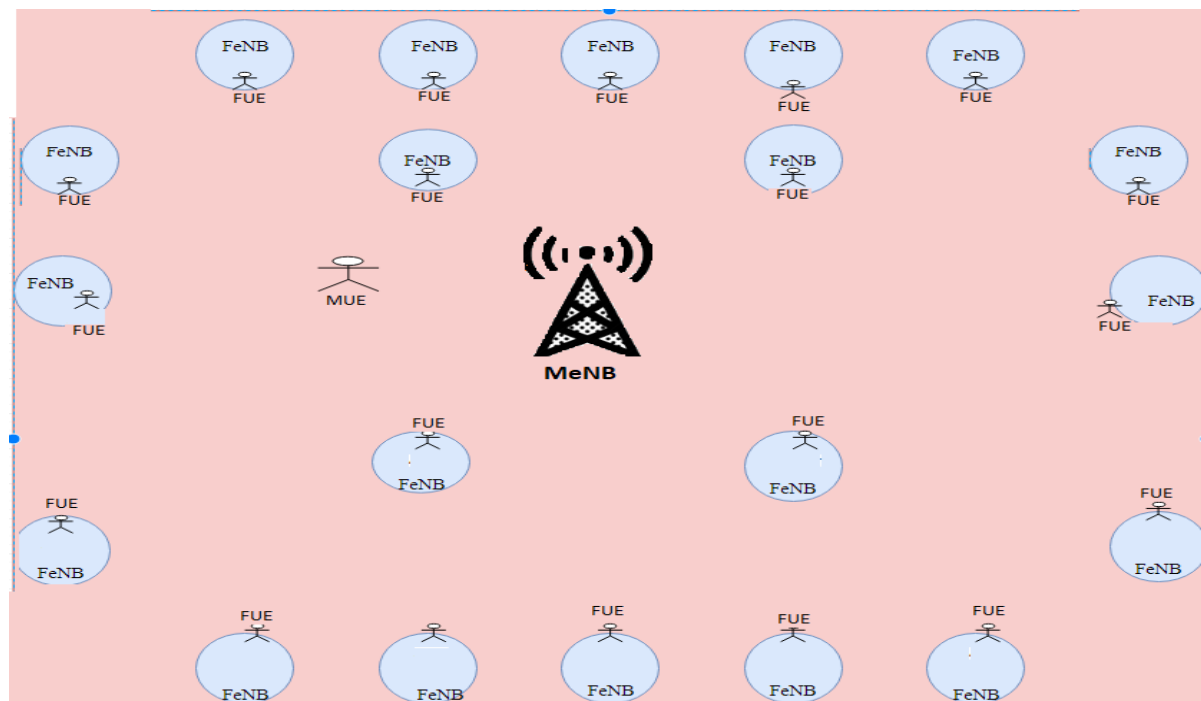
Η δεύτερη παράμετρος μετρήσεων είναι ο αριθμός των επαναλήψεων όπου μετρά τις φορές ανταλλαγής σημάτων μεταξύ του MeNB και των FeNBs. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του συστήματος και την απόδοση προσαρμογής ισχύος, η μέθοδος που απαιτεί τον μικρότερο αριθμό επαναλήψεων προτιμάται. Στον Πίνακα 10 αναφέρουμε τις παραμέτρους που χρησιμοποιήσαμε στην προσομοίωση. Παρατηρώντας το διάγραμμα του σχήματος 119 διαπιστώνουμε ότι η μέθοδος 3 φέρει το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα για $SINR_{MUE} = 0$ η μέθοδος 3 μειώνει κατά 2 dB το μέσω SINR των FUEs, ενώ οι άλλες δυο μέθοδοι κατά 3 dB. Επιπρόσθετα, παρατηρώντας το σχήμα 120, διαπιστώνουμε ότι η μέθοδος 3 χρειάζεται την ελάχιστη σηματοδότηση για να πετύχει το SINR στόχο και από τις τρεις μεθόδους.

Τέλος παρατηρούμε ότι στα σχήματα 121 και 122 βελτιώνεται το Bitrate και η χωρητικότητα των δίαυλων. Διαπιστώνουμε ότι όσο βελτιώνεται το SINR της μακροκυψέλης τόσο βελτιώνεται και το Bitrate και η χωρητικότητα των υποκαναλιών που του έχουν τεθεί. Η βελτίωση του Bit Rate οφείλεται στο γεγονός ότι καθώς αυξάνεται το SINR βελτιώνεται και το Modulation scheme, οπότε στέλνονται περισσότερα σύμβολα ανά και περισσότερα bit το δευτερόλεπτο. Η χωρητικότητα των υποκαναλιών βελτιώνεται και αυτή λόγω του κανόνα του Shannon: $C=B \cdot \log_2(1+SINR)$, μεγαλύτερο SINR άρα μεγαλύτερη χωρητικότητα. Τέλος, στο σχήμα 123 παρατηρούμε πως πέφτει ο μέσος ρυθμός δεδομένων (Bit Rate) στις Φεμτοκυψέλες καθώς μειώνεται σε αυτές το μέσο SINR.

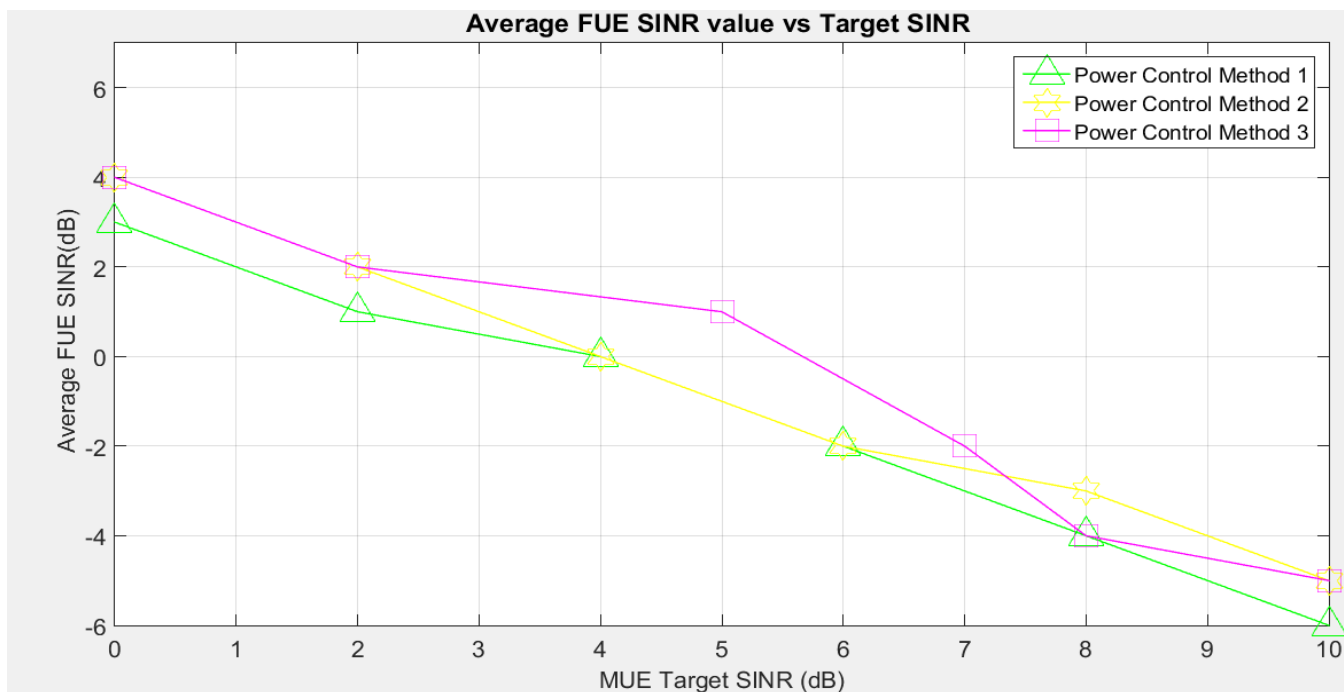


Πίνακας 10: Παράμετρο ελέγχου ισχύος στην άνω ζεύξη

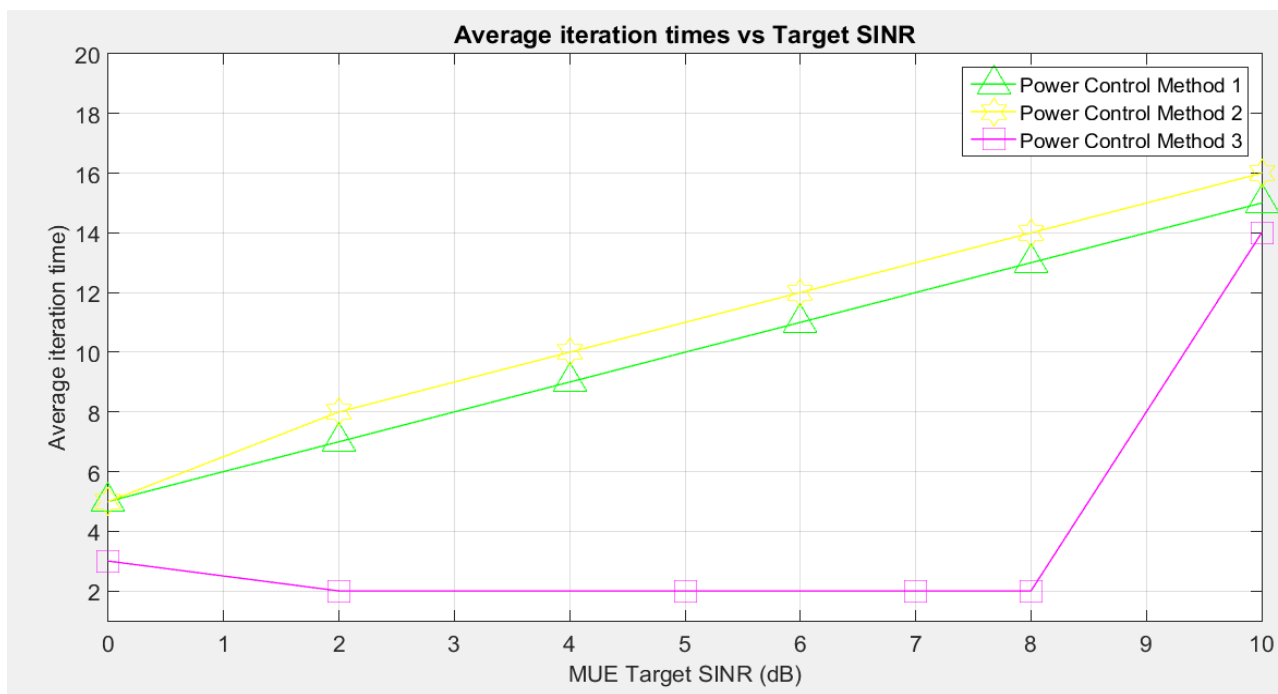
Multiple Access:	SC-FDMA
Duplex separation:	FDD
Channel Bandwidth:	20MHz
pathloss MeNB and a UE(indoor)	$L_{iM}(r) \text{ [dB]} = 15.3 + 37.6 \log_{10} r + \text{LOW}$,
pathloss MeNB and a UE(outdoor)	$L_{oM}(r) \text{ [dB]} = 15.3 + 37.6 \log_{10} r$.
pathloss HeNB and a UE(indoor)	$L_{iH}(r) \text{ [dB]} = 38.46 + 20 \log_{10} r$,
pathloss HeNB and a UE(outdoor)	$L_{oH}(r) \text{ [dB]} = \max(L_{oM}(r), L_{iH}(r)) + \text{LOW}$,
MUE MAX Power Transmit	23 dBm
FUE MAX Power Transmit	23 dBm
Penetration Loss (=LOW)	10 dB
Modulation	QPSK,16-QAM,64QAM
MeNB radius	600m
FeNB radius	30m
AWGN power N0	10^{-17} w
Dp	1 dBm
List	Median(P1 , P2 , . . . , PN)



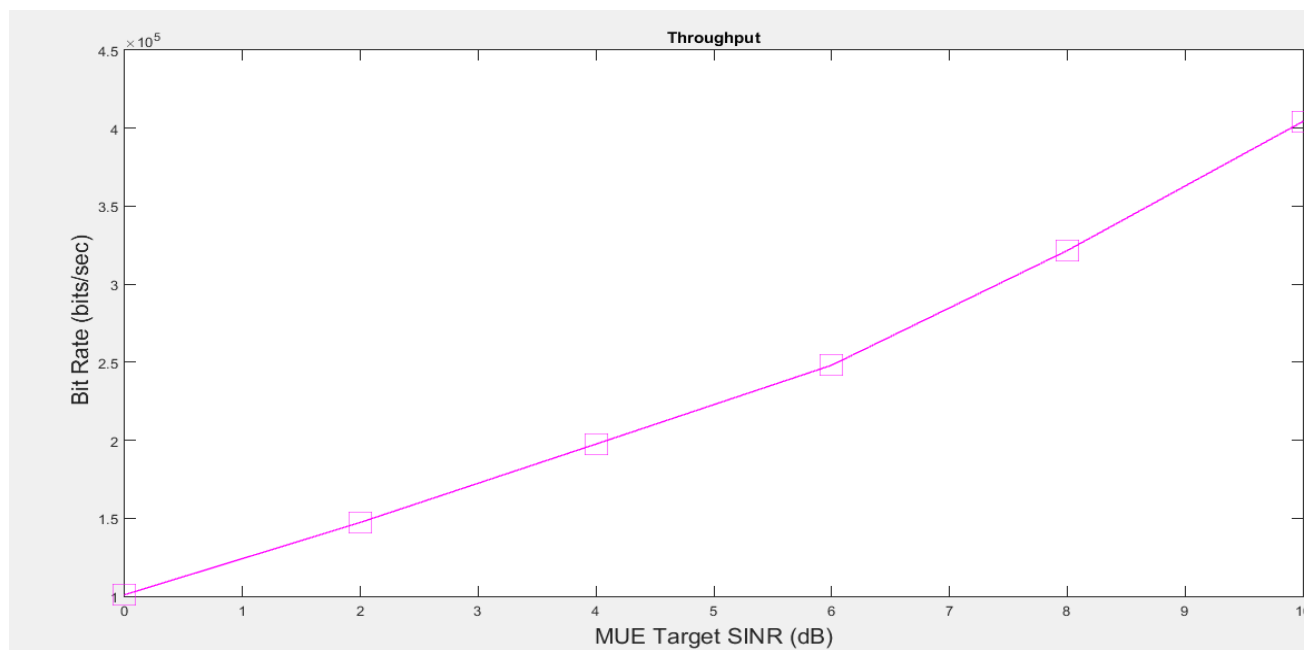
Σχήμα 118: Περιοχή προσομοίωσης στο Uplink σενάριο



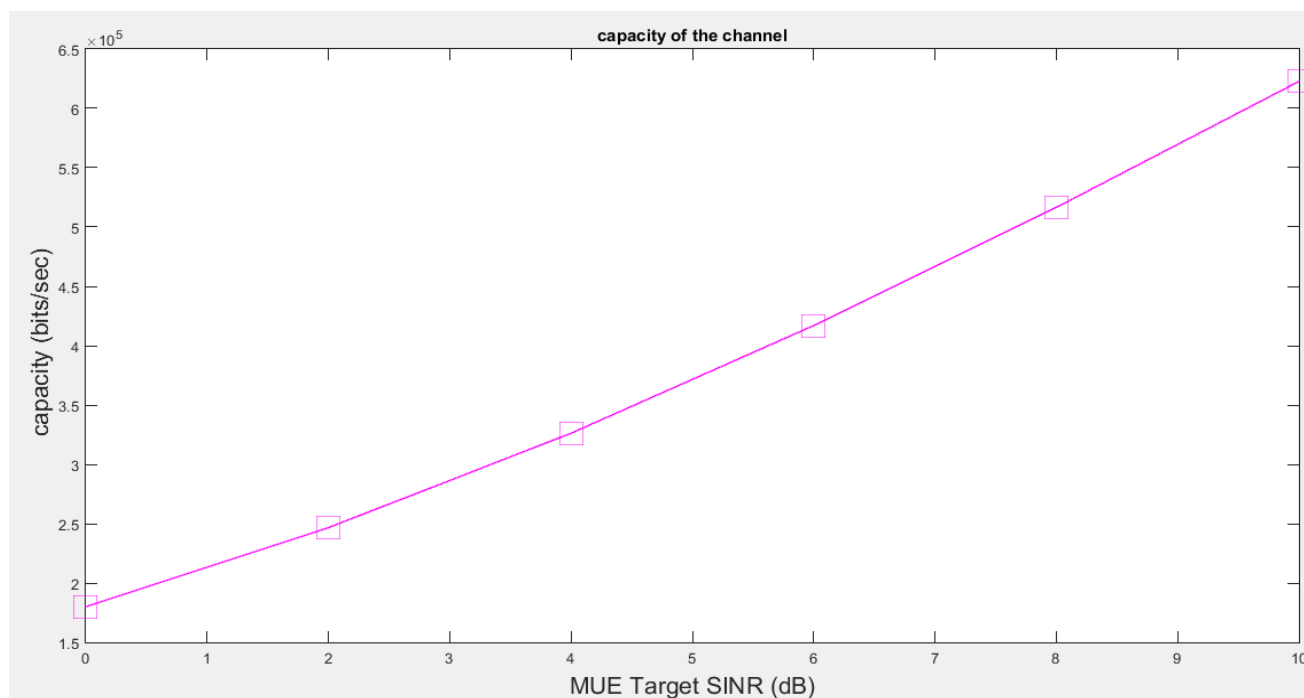
Σχήμα 119 : Average FUE SINR value vs Target SINR



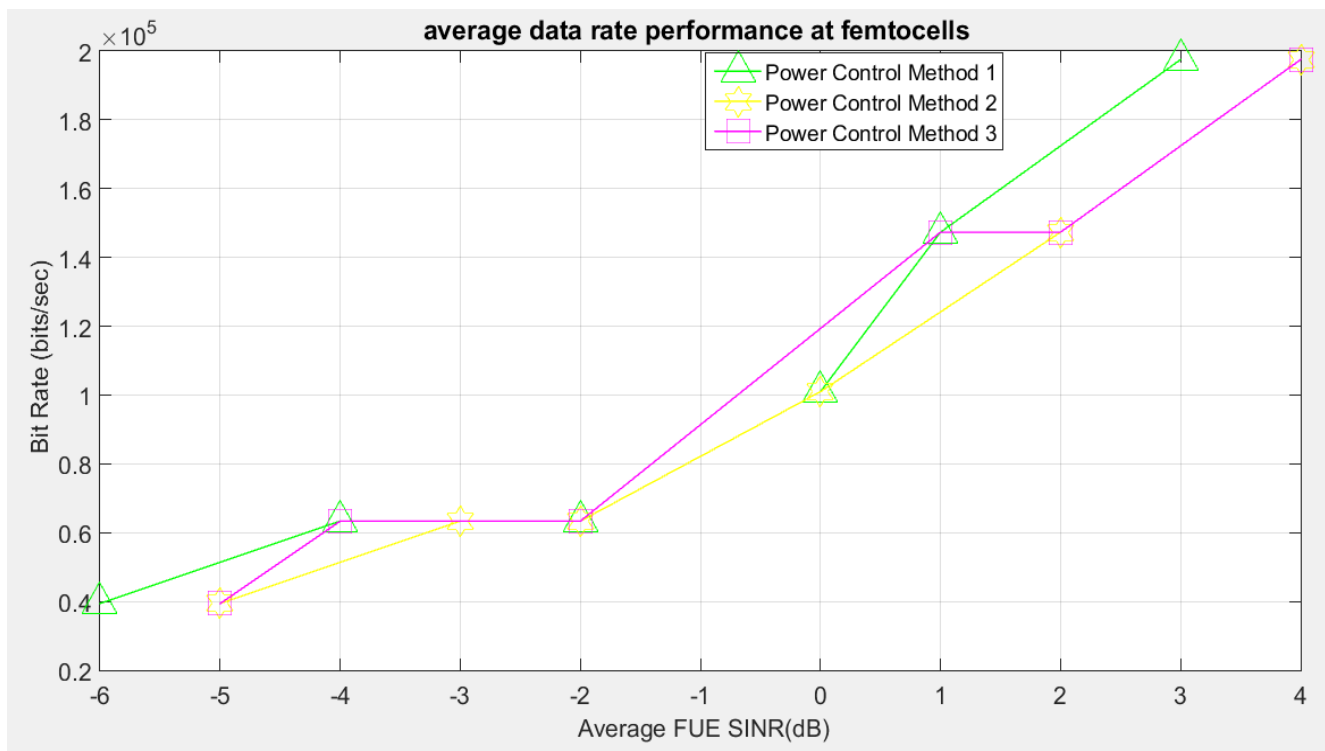
Σχήμα 120 : Average iteration times vs Target SINR



Σχήμα 121: Ρυθμός δεδομένων στο MeNB



Σχήμα 122: Χωρητικότητα καναλιού



Σχήμα 123: Μέσος ρυθμός δεδομένων στα FeNBs



7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Σύννοψη συμπερασμάτων

Στην παρούσα προπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνήθηκε το φαινόμενο των παρεμβολών σε ετερογενή κινητά δίκτυα στο LTE-Advance όπου συνυπήρχαν macrocells με διατάξεις pico και femto σταθμών βάσεων. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμήθηκαν τεχνικές αντιμετώπισης των διαστροματικών και ομοστροφιακών παρεμβολών μέσω της δυνατότητας διαμέρισης φορέων μεταξύ των δυο επίπεδων και μεθόδων ελέγχου όπως προδιαγράφονται και προτείνονται στα πλαίσια της LTE-A τεχνολογίας.

Αρχικά έγινε περιγραφή του προβλήματος. Κατηγοριοποιήθηκαν οι παρεμβολές και παρουσιάστηκαν τα πιθανά σενάρια κατά τα οποία μπορεί να εκδηλωθεί το φαινόμενο. Στην συνέχεια προγράφηκαν επεξηγηματικά οι προτεινόμενες τεχνικές αντιμετώπισης των παρεμβολών αυτών, βάσει επίσημων προδιαγραφών που δημοσιεύει ο οργανισμός 3GPP. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα προγράμματα προσομοίωσης που χρησιμοποιήσαμε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Η αρχιτεκτονική, οι δυνατότητες, οι λειτουργίες και το μοντέλο στο οποίο βασίστηκε η αναλυτική εκτίμηση των προαναφερόμενων τεχνικών παρουσιάστηκε λεπτομερώς.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αναλύθηκαν διεξοδικώς προκειμένου να εκτιμηθούν όλες οι τεχνικές αντιμετώπισης παρεμβολών ως προς την απόδοση του δικτύου και να αξιολογηθούν ως προς το μέσο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, τον λόγο ισχύς λήψης προς παρεμβολή και θόρυβο (SINR), τη φασματική απόδοση και την απόδοση των χρηστών στα όρια της κυψέλης.

Συγκεκριμένα, στις ομοδιαυλικές αναπτύξεις στην αξιολόγηση αναλύθηκαν 6 μέθοδοι ελέγχου ισχύος, τρεις στην κάτω ζεύξη και τρεις στην άνω. Όλοι οι μέθοδοι βελτίωναν την απόδοση του δικτύου με καλύτερη απόδοση οι μέθοδοι των εξισώσεων (9), (10), στην κάτω ζεύξη για την αντιμετώπιση των παρεμβολών στο MUE, ενώ από την μεριά του FUE η μέθοδος που μείωσε λιγότερο το SINR από τη μέγιστη τιμή ήταν η μέθοδος της εξίσωσης (12). Στο σενάριο που αφορούσε την άνω ζεύξη, η μέθοδος Γ έφερε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την απόδοση του δικτύου στο Uplink. Αντίθετα, στα σενάρια που αναπτύχθηκαν στο ProMan αποδείχθηκε ότι η διαμέριση του φάσματος σε δυο επίπεδα που απαρτίζουν το ετερογενές δίκτυο, εξαλείφει πλήρως τις παρεμβολές και φέρει έως και 55 % απόδοση στα άκρα της μακροκυψέλης.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία διερεύνησε ποσοτικά και ποιότητα τους προβληματισμούς στη σύγχρονη σχεδίαση του δικτύου με τρόπο τέτοιο, ώστε η αντιμετώπιση των παρεμβολών στην ανάπτυξη των λεγομένων ετερογενών δικτύων να είναι επιτεύξιμη.



7.2 Μελλοντική έρευνα

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να επεκταθούν και να μελετηθούν περαιτέρω από μελλοντικές μελέτες. Αρχικά θα μπορούσαν να δημιουργηθούν διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης όσον αφορά στην μελέτη παρεμβολών ετερογενών δικτύων στο εξειδικευμένο λογισμικό ProMan. Δηλαδή, διαφορετικές τοπολογίες καθώς και πιο πολύπλοκες αναπτύξεις. Είδαμε στο κεφάλαιο 5 πως έχουμε δυο κατηγορίες αντιμετώπισης παρεμβολών. Η πρώτη αφορά την περίπτωση που έχουμε πολλούς φορείς στη διάθεση μας, ενώ στη δεύτερη έχουμε τις ομοδιαυλικές αναπτύξεις. Οπότε, μια ακόμα επέκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας όσον αφορά στην περίπτωση που έχουμε πολλούς φορείς είναι η αντιμετώπιση των παρεμβολών σε ετερογενή κινητά δίκτυα επικοινωνιών μέσω της τεχνικής carrier aggregation όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καταμερισμός φάσματος.

Αντίθετα, όσον αφορά τις ομοδιαυλικές αναπτύξεις, μια πολλά υποσχόμενη τεχνική αντιμετώπισης των παρεμβολών στα ετερογενή δίκτυα είναι ο συντονισμός των σταθμών βάσεων που απαρτίζουν το ετερογενές δίκτυο στο πεδίο του χρόνου. Μια τέτοια τεχνική στο LTE-A είναι η χρήση των Almost Blank Subframes (ABS). Τα ABS είναι υποπλαίσια που περιέχουν μόνο μερικά απαραίτητα σήματα με χαμηλή ισχύ, όπως PSS/SSS, PBCH και SIB1, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συμβατότητα με το τερματικό προηγούμενων εκδόσεων (8/9). Τα ABS υποπλαίσια χρονοπρογραμματίζονται μόνο από τον θήτη των παρεμβολών. Δηλαδή, σε σενάρια Macro – Pico τα ABS τα χρησιμοποιεί η μακροκυψέλη και σε σενάρια Macro-Femto η φεμτοκυψέλη.

Τέλος, όσον αφορά τον συντονισμό των σταθμών βάσεων που απαρτίζουν το ετερογενές δίκτυο στο πεδίο της συχνότητας, μια πολλά υποσχόμενη τεχνική είναι ο καταμερισμός πόρων στο πεδίο συχνοτήτων, κατά το οποίο τα femtocells λειτουργούν σε συμπληρωματικές συχνότητες από αυτές των macro χρηστών τέτοιες τεχνικές είναι οι Strick FFR, Soft FFR.



8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] 3GPP TS 23.002 (September 2011) Network Architecture, Release 10, section 4.1.4.
- [2] aleksandar damnjanovic, juan montojo, yongbin wei, tingfang ji, tao luo, madhavan vajapeyam, taesang yoo, osok song, and durga malladi “a survey on 3gpp heterogeneous networks” in *IEEE Wireless Communications*, June 2011
- [3] xristos Basilopoulos, Dimitris Xenikos, Petros Voudas “Δίκτυα πρόσβασης Νέας Γενιάς”, 2010
- [4] Spyros Louvros “ Το δίκτυο LTE”, 2014.
- [5]. Agilent, “3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges,” June 2009.
- [6] H. Zarrinkoub, “Understanding LTE with MATLAB : from mathematical foundation to simulation, performance evaluation and implementation,” *Wiley*, 2014.
- [7]. T. T. Tran, Y. Shin and O. S. Shin, “Overview of enabling technologies for 3GPP LTE-advanced,” in *Springer EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-12, 2012.
- [8] International Telecommunication Union-Telecommunications Standardization Sector (ITU-T). (2001). ITU-T Recommendation G983.3: A Broadband Optical Access System with an Increased Service Capability by Wavelength Allocation. Geneva Switzerland: ITU-T.
- [9]. I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez, E. C. Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced,” in *Elsevier Physical Communication*, no. 3, pp. 217-244, 2010.
- [10]. Q. Li, R. Q. Hu, Y. Qian and G. Wu, “Cooperative communications for wireless networks: techniques and applications in LTE-advanced systems,” in *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 2, April 2012.
- [11]. Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura and H. Ishii, “Future steps of LTE-A: evolution toward integration of local area and wide area systems,” in *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 1, pp. 12-18, February 2013.
- [12]. D. Astely, E. Dahlman, G. Fodor, S. Parkvall and J. Sachs, “LTE release 12 and beyond,” in *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 7, pp. 154-160, July 2013.
- [13]. R. Zhang, M. Wang, L. X. Cai, Z. Zheng, X. Shen and L. L. Xie, “LTE-unlicensed: the future of spectrum aggregation for cellular networks,” in *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, no. 3, pp. 150-159, June 2015.
- [14] 3GPP TS 36.322 (December 2010) Radio Link Control (RLC) Protocol Specification, Release 10.



- [15] 3GPP TS 36.212 (September 2011) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding, Release 10.
- [16]. 3GPP TS 36.211 (September 2011) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation, Release 10.
- [17]. 3GPP TS 36.101 (October 2011) User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception, Release 10.
- [18]. 3GPP TS 36.104 (October 2011) Base Station (BS) Radio Transmission and Reception, Release 10.
- [19] Ian F. Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez and Elias Chavarria Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced,” in Elsevier Physical Communication, no. 3, pp. 217- 244, 2010.
- [20]. Guangxiang Yuan, Xiang Zhang, Wenbo Wang and Yang Yang, “Carrier Aggregation for LTE-Advanced Mobile Communication Systems,” in IEEE Communications Magazine, vol. 48, pp. 88-93, February 2010.
- [21]. A. Z. Yonis, M. F. L. Abdullah and M. F. Ghanim, “Effective Carrier Aggregation on LTE Advanced Systems,” in International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 41, pp. 15-26, April 2012
- [22]. Maruti Gupta, Satish C. Jha, Ali T. Koc and Rath Vannithamby, “Energy impact of Emerging Mobile Internet Applications on LTE Networks: Issues and Solutions,” in IEEE Communications Magazine, vol. 51 issue 2, pp. 90-97, February 2013
- [23]. Nokia, “LTE-Advanced Carrier Aggregation Optimization,” in Nokia Networks white paper.
- [24]. Jeanette Wannstrom, “Carrier Aggregation Explained,” in 3GPP, June 2013.
- [25] White_paper_c11-481360, ‘Cisco visual networking index: Forecast and methodology’, June 2011.
- [26]. ITU, Report M.2135: ‘Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced’, 2008.
- [27] 3GPP TR 36.921 V9.0.0, Home eNodeB (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis.
- [28] López-Pérez, *et al.*, ‘OFDMA Femtocells: A Roadmap on Interference Avoidance’, in *IEEE Communications Magazine*, pp. 41–48, September 2009.
- [29] rk et al., “Beam Subset Selection Strategy for Interference Reduction in Two-tier Femtocell Networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, Nov. 2010, pp. 3440–49.
- [30] Beatriz Soret, Hua Wang, Aalborg University klaus i. pedersen and claudio rosa, nokia siemens networks “multicell cooperation for lte-advanced heterogeneous network scenarios” in *IEEE Wireless Communications*, February 2013.
- [31] Peter Ökvist, Arne Simonsson “LTE HetNet Trial - Range Expansion including Micro/Pico Indoor Coverage Survey”, in *IEEE Wireless Communications*, June 2012
- [32] Ahmad Mudassir¹, Saleem Akhtar¹, Hesham Kamel², “Survey on Inter-cell Interference Coordination in LTE-Advanced Heterogeneous Networks” in 978-1-5090-2000-3/16/\$31.00 ©2016 IEEE



- [33] David Ió Pez-Pérez, I-smail güvenç, Guillaume de la roche, Marios Kountouris, Tony Q “Enhanced Intercell Interference Coordination Challenges in Heterogeneous Networks” in IEEE Wireless Communications, June 2011
- [34] Lars Lindbom (Ericsson), Robert Love, Sandeep Krishnamurthy (Motorola Mobility), Chunhai Yao (Nokia Siemens Networks), Nobuhiko Miki (NTT DOCOMO), Vikram Chandrasekhar (Texas Instruments) “Enhanced Inter-cell Interference Coordination for Heterogeneous Networks in LTE-Advanced: A Survey”, December 2011
- [35] Kyong-Tak Cho, Junsik Kim, Gwangil Jeon, Byung Han Ryu , Namhoon Park “Femtocell Power Control by Discrimination of Indoor and Outdoor Users”, in IEEE, 2011
- [36] Sawsan A. Saad, Mahamod Ismail, and Rosdiadee Nordin “ A Survey on Power Control Techniques in Femtocell Networks” in Engineering and Technology Publishing, 2013
- [37]. Jeanette Wannstrom, “LTE-Advanced,” in 3GPP, June 2013.
- [38]. Jeanette Wannstrom, “HetNet/Small Cells,” in 3GPP, August 2014
- [39]. Andy Germano “The Impact of Femtocells on Next Generation Mobile Networks”, 2010
- [40] Harri Holma, Anti Toskala “ LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access” April 2009
- [41] L. Liu, J. Zhang, J.-C. Yu and J. Lee, ‘Inter-cell interference coordination through limited feedback’, *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, vol. 2010, February 2010.
- [42] CMCC, ‘R1-105094 LS on eICIC progress in RAN1’, August 2010.
- [43] I2R, ‘R1-104732 eICIC for HeNB UL and MUE DL based on HeNB UL Measurement’, August 2010.
- [44] John Wiley - Femtocells Technologies and Deployment
- [45] John Wiley “Heterogeneous Cellular Networks” 2013
- [46] L. Poongup et al., “Interference Management in LTE Femtocell Systems Using Fractional Frequency Reuse,” Proc. 12th Int’l. Conf. Advanced Commun. Tech., vol. 2, 7–10 Feb. 2010, pp. 1047–51
- [47] Samsung, ‘R1-102223 Performance Evaluation of Femto-based HetNet’, April 2010.