



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**Αποδοτικές Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ετερογενή
Δίκτυα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Κολάκης

Επιβλέπων : Δήμητρα – Θεοδώρα Κακλαμάνη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**Αποδοτικές Τεχνικές Διαχείρισης Ραδιοπόρων σε Ετερογενή
Δίκτυα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Κολάκης

Επιβλέπων : Δήμητρα – Θεοδώρα Κακλαμάνη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Δήμητρα Κακλαμάνη	Νικόλαος Ουζούνογλου	Ιάκωβος Βενιέρης
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π	Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2016

.....
Κολάκης Γεώργιος

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

Copyright © Κολάκης Γεώργιος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ολοένα αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών των κινητών τερματικών καθώς και η ανταγωνιστική σχέση μεταξύ των παρόχων των ασύρματων δικτύων κατέστησαν σαφή την ανάγκη για τεχνολογική εξέλιξη και ανάπτυξη νέων τεχνολογικών συστημάτων. Πλέον το σύγχρονο τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον αποτελεί ένα σύμπλεγμα δικτύων, τα οποία διαφέρουν σε επίπεδο λογισμικού, αρχιτεκτονικής, κόστους εγκατάστασης, φασματικών αναγκών, εμβέλειας, χωρητικότητας, ταχύτητας, ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Εξαιτίας αυτής της ετερογένειας, το φάσμα κατέληξε αλόγιστα κατελιμμένο (τόσο στις αδειοδοτούμενες όσο και στις μη-αδειοδοτούμενες ζώνες) με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και να δυσχεραίνεται η συνέργεια διαφορετικών δικτύων. Με απώτερο σκοπό την αλληλοεπικάλυψη των διαφορετικών αναγκών των συστατικών δικτύων, η εν λόγω συνέργεια μπορεί να επιτευχθεί αφού αξιοποιηθούν τα κοινά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, αλλά και εξομαλυνθούν οι διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ άλλων και στο φυσικό στρώμα.

Προς αυτή την κατεύθυνση, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας υλοποιείται πλατφόρμα προσομοίωσης ενός ετερογενούς MIMO συστήματος, η οποία υποστηρίζει ταυτόχρονα δίκτυα τόσο τοπικής (LAN), όσο και μητροπολιτικής εμβέλειας (MAN), και διεκπεραιώνει τον συντονισμό τους στο φυσικό στρώμα (PHY) με τη βοήθεια της πολλαπλής πρόσβασης με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας (OFDMA). Χάρη στην OFDMA μετριάζονται οι επιπτώσεις της πολύοδης διάδοσης στις ασύρματες ζεύξεις, καταστέλλεται η διασυμβολική παρεμβολή χάρη στο κυκλικό πρόθεμα, αξιοποιείται αποδοτικότερα το φάσμα με τη βοήθεια των τεχνικών επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, ενώ όταν συνδυάζεται με πολλαπλές κεραιές (MIMO) στα τερματικά, αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος (κέρδος χωρικής πολυπλεξίας).

Για το λόγο αυτό, παράλληλα με τη διαχείριση ετερογενών δικτύων, η εργασία εστιάζει και σε τεχνικές ανάθεσης ραδιοπόρων καθώς οι φασματικές ελλείψεις, όπως προαναφέρθηκε, είναι καίριας σημασίας και χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης. Πιο αναλυτικά, μελετώνται βιβλιογραφικά ώριμες τεχνικές ανάθεσης (με και χωρίς γνώση καναλιού) με τις οποίες συγκρίνονται δύο νέες προτεινόμενες τεχνικές, ενώ η αξιολόγηση τους θα προκύψει κατόπιν εκτίμησης συγκεκριμένων παραμέτρων του

συστήματος (χωρητικότητα, καταναλισκόμενη ισχύς ανά τερματικό, συνολική καταναλισκόμενη ισχύς, επιρροή από ομοδιαυλικές παρεμβολές).

Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική:

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή της εξελικτικής πορείας των ασύρματων δικτύων καταλήγοντας στα ετερογενή δίκτυα.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του ασύρματου διαύλου, εστιάζοντας κυρίως στις επιπτώσεις που προκαλεί στις ασύρματες επικοινωνίες ο απρόβλεπτος χαρακτήρας του.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνικές διαμόρφωσης και πολλαπλής πρόσβασης που βελτιώνουν την ασύρματη επικοινωνία.

Στο 4^ο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής ανάλυση των τεχνικών OFDM/OFDMA, οι οποίες αποτελούν ζωτικό δομικό συστατικό των ετερογενών δικτύων που μελετώνται στην προκειμένη περίπτωση.

Στο 5^ο Κεφάλαιο μελετάται η σχετική βιβλιογραφία, αναλύοντας μεθόδους διαμοιρασμού του διαθέσιμου φάσματος και αποδοτικής διαχείρισής του

Στο 6^ο Κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά των περισσότερο διαδεδομένων δικτύων, WiMAX, LTE και Wi-Fi.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής ανάλυση της πλατφόρμας που φτιάχτηκε και των αποτελεσμάτων που αυτή έδωσε τόσο για το μεμονωμένο δίκτυο όσο και για το ετερογενές.

Τέλος στο 8^ο Κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της συνολικής μελέτης και ανάλυσης και προτείνονται τομείς του εξεταζόμενου αντικειμένου που αιτούνται περαιτέρω μελέτη.

Λέξεις Κλειδιά

Ετερογενή δίκτυα, MIMO, OFDMA, Διαχείριση ραδιοπόρων, Διαχείριση ισχύος

ABSTRACT

The growing need of the mobile terminals for enhanced services, along with the increasing competitiveness among the network providers, have resulted in the emergence of new wireless technologies. Currently, telecommunications' environment includes different networks in terms of separate software, architectural complexity, implementation costs, spectral needs, ranges, capacity, bit rates, security protocols and privacy settings. Due to this heterogeneity, the available spectrum (both licensed, and unlicensed) is limited, hence the evolution rate of the emerging technologies deteriorates, while synergy between the networks becomes not an easy task. Since the objective is to serve clients' needs any time, anywhere, the diverging networks must reach a joint agreement either by exploiting their similarities or by smoothing their differences especially in the physical layer.

To this end, this thesis suggests a simulation platform for heterogeneous MIMO systems, which supports both LAN (Local Access) as well as MAN (Metropolitan Access) networks and bridges them at the physical layer (PHY) thanks to the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) baseband modulation scheme. The OFDM can inherently mitigate multipath fading, intersymbol interference (ISI) thanks to the cyclic prefix (CP) and efficiently manage the available spectrum by applying frequency re-use techniques. If OFDM is combined with Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) antennas, then the system can perform better in terms of system's capacity (spatial multiplexing gain).

Alongside the platform, the thesis also focus on radio resource allocation techniques. Specifically, mature allocation techniques are studied through relevant bibliography and two new techniques are suggested. After assessing certain network parameters (i.e. capacity, power consumption per terminal, total power consumption, etc.), system's performance is evaluated.

This thesis is structured as follows:

Chapter 1 provides the evolution of the wireless networks, concluding in heterogeneous networks

Chapter 2 analyzes the wireless channel's inherent characteristics, focusing on its unpredictable behaviour and the respective impact on the wireless communications.

Chapter 3 focuses on multiple-access and modulation techniques.

In Chapter 4, the OFDM/OFDMA schemes are given in detail.

Chapter 5 provides all relevant studies bibliography and thoroughly analyzes the performance of resource allocation strategies.

In the following chapter, Chapter 6, the most notable networks as ingredients of heterogeneous network, are technically described (i.e. WiMAX, LTE and Wi-Fi).

Simulations for both the standalone and heterogeneous networks are given extensively in Chapter 7.

Finally, Chapter 8 summarizes the conclusions of this study and outlines pending issues for future work.

Key Words

Heterogeneous networks, MIMO, OFDMA, Radio resources mangement, Power management

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια μου κα. Δήμητρα - Θεοδώρα Κακλαμάνη, για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και σύγχρονο θέμα των ασύρματων τηλεπικοινωνιών. Ειδικές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στην κα. Μαρία Σεϊμένη, υποψήφια διδάκτορα και ερευνήτρια στο Εργαστήριο Ευφών Επικοινωνιών και Δικτύων Ευρείας Ζώνης για την αδιάλειπτη βοήθεια και υπομονή της, τόσο κατά την υλοποίηση της πλατφόρμας και την ανάπτυξη των τεχνικών ανάθεσης ραδιοπόρων, όσο και κατά την συγγραφή της διπλωματικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με στήριξαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και της συγγραφής της παρούσας εργασίας,

Κολάκης Γεώργιος,

Μάρτιος 2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	- 19 -
1.1	ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΓΕΝΕΩΝ.....	- 20 -
1.2	ΠΡΩΤΗ ΓΕΝΙΑ-1G	- 21 -
1.3	ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΝΙΑ (2G έως και 2.7G)	- 21 -
1.4	2.5G-GPRS (General packet Radio Service)	- 22 -
1.5	2.75G-EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)	- 23 -
1.6	3G	- 23 -
1.7	3.5G-HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access).....	- 24 -
1.8	3.75G – HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access).....	- 24 -
1.9	4G	- 25 -
2	ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΚΑΝΑΛΙ.....	- 27 -
2.1	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ.....	- 27 -
2.2	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	- 28 -
2.2.1	Απώλειες Διαδρομής για διάδοση στον Ελεύθερο Χώρο.....	- 28 -
2.2.2	Cost 231-Hata.....	- 28 -
2.3	ΣΚΙΑΣΗ	- 29 -
2.4	ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ	- 30 -
2.4.1	Τύποι Διαλείψεων Μικρής Κλίμακας	- 30 -
2.5	ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ	- 32 -
2.5.1	Ομοδιαυλικές παρεμβολές.....	- 32 -
2.5.2	Παρεμβολές γειτονικών διαύλων	- 33 -
2.5.3	Διασυμβολική παρεμβολή.....	- 34 -
3	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	- 35 -
3.1	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	- 35 -
3.1.1	PSK (Phase Shift Keying)	- 35 -
3.1.2	FSK (Frequency Shift Keying).....	- 36 -
3.1.3	ASK (Amplitude Shift Keying).....	- 36 -
3.1.4	M-QAM (M-Quadrature Amplitude Modulation).....	- 37 -
3.1.5	MSK (Minimum Shift Keying) και GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)-	37 -
3.2	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	- 40 -
3.2.1	FDMA (Frequency Division Multiple Access)	- 40 -
3.2.2	TDMA (Time Division Multiple Access)	- 40 -
3.2.3	CDMA (Code Division Multiple Access)	- 40 -

3.2.4 SDMA (Space Division Multiple Access).....	- 41 -
3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣΗΣ	- 41 -
4 OFDM ΚΑΙ OFDMA.....	- 43 -
4.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	- 43 -
4.2 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access).....	- 45 -
5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΑΥΛΩΝ	- 48 -
5.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	- 48 -
5.1.1 Τομεοποίηση Κυψελών	- 49 -
5.1.2 Διάσπαση Κυψελών	- 49 -
5.1.3 Έξυπνες Κεραίες-MIMO.....	- 50 -
5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΑΥΛΩΝ	- 51 -
5.2.1 Τεχνικές Απόδοσης Ραδιοδιαύλων με CSI.....	- 52 -
5.2.2 Τεχνικές απόδοσης ραδιοδιαύλων χωρίς CSI.....	- 53 -
6 ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	- 55 -
6.1 LTE	- 56 -
6.2 WiMAX.....	- 58 -
6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ WiMAX ΚΑΙ LTE	- 58 -
6.4 Wi-Fi.....	- 59 -
6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ WiMAX/LTE ΚΑΙ Wi-Fi	- 61 -
6.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 63 -
7 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΟΛΥΧΡΗΣΤΙΚΟΥ ΠΟΛΥΚΥΨΕΛΩΤΟΥ OFDMA ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	- 65 -
7.1 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	- 65 -
7.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΡΑΔΙΟΔΙΑΥΛΩΝ	- 71 -
7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕΜΟΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ - 74 -	
7.4 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	- 81 -
7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ	- 84 -
7.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΜΟΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	- 89 -
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	- 93 -
8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 93 -
8.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	- 94 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	- 96 -
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ	- 96 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1-1– Χρονολογικό διάγραμμα εξέλιξης των γενιών.....	- 19 -
Εικόνα 1-2– Παράδειγμα σύγχρονου κυψελωτού δικτύου	- 20 -
Εικόνα 1-3 – Διάγραμμα αύξησης χρηστών την περίοδο 1997-2007	- 22 -
Εικόνα 1-4- Εξελικτικό διάγραμμα από την πρώτη ως την τρίτη γενιά.....	- 24 -
Εικόνα 1-5– Παράδειγμα ετερογενούς δικτύου	- 25 -
Εικόνα 2-1– Παράδειγμα πολύοδης διάδοσης μέσω ανάκλασης και περίθλασης	- 27 -
Εικόνα 2-2–Ποιοτικό παράδειγμα επίδρασης σκίασης	- 29 -
Εικόνα 2-3– Ποιοτικό παράδειγμα επίδρασης απωλειών διαδρομής και διαλείψεων μικρής και μεγάλης κλίμακας στο σήμα	- 30 -
Εικόνα 2-4– Παράδειγμα επίδρασης επίπεδων και επιλεκτικών ως προς την συχνότητα διαλείψεων στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας.....	- 31 -
Εικόνα 2-5– Ποιοτικό παράδειγμα γρήγορων και αργών διαλείψεων	- 32 -
Εικόνα 2-6–Παράδειγμα Ομοδιαλυτικής Παρεμβολής	- 33 -
Εικόνα 2-7- Παράδειγμα παρεμβολής γειτονικών διαύλων	- 34 -
Εικόνα 3-1– Παράδειγμα PSK διαμόρφωσης	- 35 -
Εικόνα 3-2– Διαγράμματα αστερισμού των BPSK και QPSK	- 36 -
Εικόνα 3-3– Παράδειγμα FSK διαμόρφωσης	- 36 -
Εικόνα 3-4– Παράδειγμα ASK διαμόρφωσης.....	- 37 -
Εικόνα 3-5– Διαγράμματα αστερισμού για διαφορετικά 8-QAM	- 37 -
Εικόνα 3-6– Παράδειγμα MSK διαμόρφωσης.....	- 38 -
Εικόνα 3-7– Δημιουργία GMSK από MSK με εφαρμογή Gaussian φίλτρου με πλάτη 0.3 και 0.5.....	- 38 -
Εικόνα 3-8– FDMA, TDMA και CDMA.....	- 41 -
Εικόνα 3-9– SDMA τεχνική.....	- 41 -
Εικόνα 3-10– TDD και FDD τεχνικές αμφιδρόμησης	- 42 -
Εικόνα 4-1– Υποκανάλια OFDM.....	- 43 -
Εικόνα 4-2– Δομικό διάγραμμα με παράλληλα ορθογωνική μετάδοση	- 44 -
Εικόνα 4-3– Παράδειγμα διαστήματος φύλαξης.....	- 44 -
Εικόνα 4-4– OFDM σύμβολο και κυκλικό πρόθεμα.....	- 44 -
Εικόνα 4-5– Δομικό διάγραμμα OFDM.....	- 45 -
Εικόνα 4-6– OFDM και OFDMA τεχνικές	- 46 -
Εικόνα 4-7– Μορφή OFDMA σήματος στο πεδίο του χρόνου.....	- 47 -
Εικόνα 5-1– Κυψελωτό δίκτυο και ομάδες επαναχρησιμοποίησης συχνότητας.....	- 48 -
Εικόνα 5-2– Παραδείγματα τομεοποίησης κυψελών για 120° και 60°	- 49 -
Εικόνα 5-3– Παράδειγμα διάσπασης κυψελών	- 49 -
Εικόνα 5-4– Μορφή MIMO συστήματος.....	- 50 -
Εικόνα 5-5– Η RC τεχνική απόδοσης ραδιοπόρων.....	- 54 -
Εικόνα 6-1– Ετερογενές Δίκτυο με Wi-Fi και LTE	- 55 -
Εικόνα 6-2– Ετερογενές Δίκτυο με Wi-Fi και WiMAX	- 56 -
Εικόνα 6-3– Παραδείγματα LTE CA, LTE-H και LTE-U.....	- 57 -
Εικόνα 6-4–Wi-Fi Mesh δίκτυο	- 61 -
Εικόνα 6-5–Wi-Fi/ WiMAX Mesh δίκτυο	- 64 -
Εικόνα 7-1–Γεωμετρία συστήματος για 19 κυψέλες ακτίνας 1Km	- 66 -

Εικόνα 7-2–Διάγραμμα απωλειών κατευθυντικότητας κεραίας τομέα για 360 μοίρες	- 68 -
Εικόνα 7-3–Διάγραμμα ροής του κώδικα για την υλοποίηση του μεμονωμένου δικτύου..	- 70 -
Εικόνα 7-4– Παράδειγμα ανάθεσης πρώτων 3 υποκαναλιών με την μέθοδο Random.....	- 71 -
Εικόνα 7-5– Παράδειγμα ανάθεσης πρώτων 3 υποκαναλιών με την μέθοδο Sequential ...	- 72 -
Εικόνα 7-6– Μορφή μεμονωμένης κυψέλης της τεχνικής RWRS.....	- 73 -
Εικόνα 7-7– Παράδειγμα ανάθεσης πρώτων 3 υποκαναλιών με την μέθοδο RWRS για την εξωτερική περιοχή, τομέα 1	- 74 -
Εικόνα 7-8– Παράδειγμα Ανάθεσης 3 ραδιοδιαυλων. Α) Διαθέσιμα κανάλια. Β) Ταξινόμηση διαθέσιμων καναλιών σε φθίνουσα σειρά κατά SNR	- 74 -
Εικόνα 7-9 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=10%.....	- 75 -
Εικόνα 7-10 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=10%.....	- 76 -
Εικόνα 7-11 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=10%	- 76 -
Εικόνα 7-12 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=30%.....	- 77 -
Εικόνα 7-13 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=30%.....	- 77 -
Εικόνα 7-14 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=30%.....	- 78 -
Εικόνα 7-15 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=30% στην Κεντρική Κυψέλη	- 78 -
Εικόνα 7-16 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=30% στην Κεντρική Κυψέλη.....	- 79 -
Εικόνα 7-17 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=30% στην Κεντρική Κυψέλη	- 79 -
Εικόνα 7-18 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=50%.....	- 80 -
Εικόνα 7-19 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=50%.....	- 81 -
Εικόνα 7-20 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=50%.....	- 81 -
Εικόνα 7-21 Γεωμετρία ετερογενούς δικτύου για 19(1Km)-19(0.5Km)κυψέλες	- 82 -
Εικόνα 7-22 Διάγραμμα ροής του ετερογενούς συστήματος.....	- 83 -
Εικόνα 7-23 Μέση Χωρητικότητα του ετερογενούς δικτύου ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών.....	- 85 -
Εικόνα 7-24 Μέση Χωρητικότητα MAN(παχιές μπάρες)/LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών	- 85 -
Εικόνα 7-25 Μέση Συνολική Ισχύς του ετερογενούς δικτύου ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών.....	- 86 -
Εικόνα 7-26 Μέση Συνολική Ισχύς MAN(παχιές μπάρες)/LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών	- 86 -
Εικόνα 7-27 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη του ετερογενούς δικτύου ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών.....	- 87 -
Εικόνα 7-28 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη MAN(παχιές μπάρες)/LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών	- 87 -
Εικόνα 7-29 Μέση Χωρητικότητα του ετερογενούς δικτύου(παχιές μπάρες), MAN υποδικτύου (μεσαίες μπάρες) και LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών στην κεντρική κυψέλη	- 88 -
Εικόνα 7-30 Μέση Συνολική Ισχύς του ετερογενούς δικτύου(παχιές μπάρες), MAN υποδικτύου (μεσαίες μπάρες) και LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών στην κεντρική κυψέλη	- 88 -
Εικόνα 7-31 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη του ετερογενούς δικτύου(παχιές μπάρες), MAN υποδικτύου (μεσαίες μπάρες) και LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών στην κεντρική κυψέλη	- 89 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1–Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών όλων των γενιών	- 26 -
Πίνακας 3-1–Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών όλων των τεχνικών διαμόρφωσης... - 39 -	
Πίνακας 6-1–Συγκριτικός πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών LTE/WiMAX	- 59 -
Πίνακας 6-2–Τεχνικά χαρακτηρίστηκα LTE/WiMAX/Wi-Fi	- 63 -
Πίνακας 7-1–Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων μεμονωμένου δικτύου	- 66 -
Πίνακας 7-2 Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων μεμονωμένου δικτύου	- 82 -
Πίνακας 7-3 Σύγκριση Μεμονωμένου-Ετερογενούς δικτύου με βάσει την Μέση Χωρητικότητα	- 90 -
Πίνακας 7-4 Σύγκριση Μεμονωμένου-Ετερογενούς δικτύου με βάσει την Μέση Συνολική ισχύς	- 91 -
Πίνακας 7-5 Σύγκριση Μεμονωμένου-Ετερογενούς δικτύου με βάσει την Μέση Ισχύς ανά Χρήστη	- 92 -

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

0.5G	0.5 Generation
0G	Zero Generation
1G	1 st Generation
2.5G	2.5 nd Generation
2.75G	2.75 Generation
2G	2 nd Generation
3.5G	3.5 Generation
3.75	3.75 Generation
3G	3 rd Generation
3GPP	3 rd Generation Partnership Project
4G	4 th Generation
5G	5 th Generation
8PSK	8-Phase Shift Keying
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ARP	Autoradiopuhelin
ASK	Amplitude Shift Keying
AT&T	American Telephone and Telegraph
AMTS	Advanced Mobile Telephone System
BER	Bit Error Rate
CDM	Code Division Multiplexing
CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Cyclic Prefix
CSI	Channel State Information
DCA	Dynamic Channel Assignment
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
FCA	Fixed Channel Assignment
FDD	Frequency Division Duplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing

FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HCA	Hybrid Channel Assignment
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Packet Uplink Access
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMT2000	International Mobile Telecommunications 2000
IP	Internet Protocol
IPTV	TV over IP
IS-95	Interim Standard 95
ITU	International Telecommunication Union
IMTS	Improved Mobile Telephone Service
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
M-QAM	M-Quadrature Amplitude Modulation
MTS	Mobile Telephone Service
NLOS	Non Line of Sight
NTM	Nordic Mobile Telephone
NTT	Nippon Telephone and Telegraph
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDC	Personal Digital Cellular
PSK	Phase Shift Keying

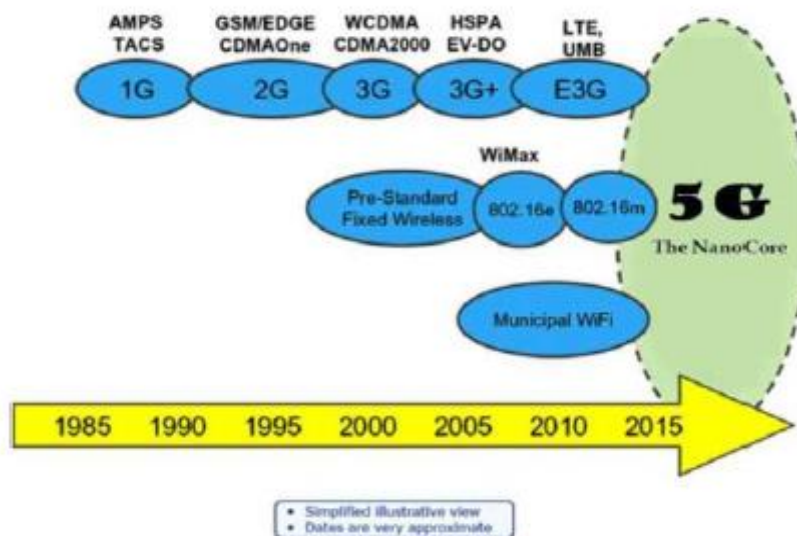
PTMP	Point to Multipoint
PTP	Point to Point
PTT	Push-To-Talk
SDMA	Space Division Multiple Access
SIM	Subscriber Identity Module for a mobile phone
SNR	Signal to Noise Ratio
TACS	Total Access Communication System
TDD	Time Division Duplexing
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WAP	Wireless Access Point
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WEP	Wireless Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPA	Wireless Protected Access
WPS	Wi-Fi Protected Setup
WWWW	World Wide Wireless Web

1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Στο κεφαλαίο αυτό θα εξεταστεί η ιστορική πορεία της εξέλιξης των ασύρματων δικτύων, με σκοπό να γίνει κατανοητό πως τα δίκτυα έφτασαν στην τέταρτη γενιά και εξελίχθηκαν στα εξεταζόμενα ετερογενή δίκτυα.

Η ιστορία των ασυρμάτων τηλεπικοινωνιών μπορεί να ταξινομηθεί σε διάφορες γενιές δικτύων. Κάθε γενιά αποτελούσε τεράστιο βήμα που δημιουργούσε επανάσταση στις κινητές επικοινωνίες. Ουσιαστικά όλα ξεκίνησαν με την πρώτη γενιά (1G) το 1980. Τα συστήματα που αναπτύχθηκαν ήταν αναλογικά και κάλυπταν μόνο φωνητικές υπηρεσίες. Το 1990, εμφανίστηκε η δεύτερη γενιά (2G) η οποία αντικατέστησε την πρώτη και προσέφερε πλούσιο σύνολο υπηρεσιών όπως υψηλή ποιότητα φωνής και αυξημένη κινητικότητα, εκμεταλλευόμενη την εμφάνιση της ψηφιακής τεχνολογίας. Και οι δυο πρώτες γενιές βασίζονταν στην μεταγωγή κυκλώματος για δεδομένα με χαμηλή ταχύτητα. Μετά την τεράστια εμπορική επιτυχία της δεύτερης γενιάς ακολούθησε η γενιά 2.5, ένα μεταβατικό στάδιο μεταξύ δεύτερης και τρίτης γενιάς. Η γενιά 2.5 (2.5G) βασίστηκε και σε μεταγωγή πακέτου και κυκλώματος προσφέροντας υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος. Η τρίτη γενιά (3G) που ακολούθησε το 2000 βασίστηκε μόνο στην μεταγωγή πακέτου προσφέροντας μεγαλύτερες ταχύτητες, καλύτερη κάλυψη παγκόσμιου επιπέδου και νέες υπηρεσίες, αλλά δεν κατάφερε να επαναλάβει την πρωτοφανή επιτυχία της δεύτερης γενιάς [1]. Η ασταμάτητη αύξηση των απαιτήσεων των χρηστών, αλλά και οι περιορισμοί της τρίτης γενιάς οδήγησαν στην τέταρτη γενιά (4G) η οποία στοχεύει στην δια-λειτουργικότητα όλων των διαφορετικών δικτύων και συσκευών προσφέροντας ακόμα υψηλότερες ταχύτητες, μεγαλύτερη κάλυψη και νέες υπηρεσίες κάτω από την ομπρέλα του IP [2]. Έχει ανακοινωθεί και πέμπτη γενιά (5G) η οποία όμως είναι σε πολύ πρωταρχικό στάδιο και θα υποστηρίξει το WWW (World Wide Wireless Web) [3].

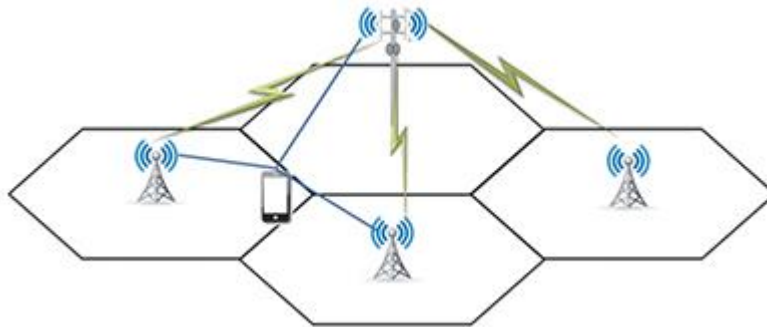
Όλες οι γενιές και τα ενδιάμεσα, μεταβατικά στάδια τους (εκτός της πέμπτης) εξηγούνται στην συνέχεια λεπτομερειακά.



Εικόνα 1-1- Χρονολογικό διάγραμμα εξέλιξης των γενιών

1.1 ΔΙΚΤΥΑ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΓΕΝΕΩΝ

Η ασύρματη τηλεφωνία ξεκίνησε με την τεχνολογία 0G, που έγινε διαθέσιμη μετά το Δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Στην περίοδο προ της ευρείας χρήσης κινητής τηλεφωνίας, υπήρχε περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και ασύρματοι τηλεφωνητές διαχειρίζονταν τις κλήσεις. Δεν υποστηριζόταν η λειτουργία μεταγωγής ούτε δινόταν στο χρήστη δυνατότητες όπως αυτή της αλλαγής συχνοτήτων [3]. Επίσης για πρώτη φορά εισάγεται η έννοια της κυψέλης από την Bell Labs η οποία θα δώσει το όνομά της στα σημερινά κυψελωτά δίκτυα.



Εικόνα 1-2- Παράδειγμα σύγχρονου κυψελωτού δικτύου

Ο όρος 0G αναφέρεται στην προ-ευρείας χρήσης κινητή τηλεφωνία της δεκαετίας του 1970, όπως τα Ράδιο-τηλέφωνα που μερικοί χρήστες είχαν εγκαταστημένα στα αυτοκίνητά τους. Το κινητό ράδιο-τηλεφωνικό σύστημα οδήγησε στη δημιουργία της σύγχρονης κινητής τηλεφωνίας ευρείας χρήσης.

Οι τεχνολογίες που εφαρμόζονταν στα συστήματα τεχνολογίας 0G συμπεριλάμβαναν τις PTT (Push-To-Talk), MTS (Mobile Telephone Service), IMTS (Improved Mobile Telephone Service), AMTS (Advanced Mobile Telephone System), OLT (Νορβηγικό αρκτικόλεξο για τη δημόσια υπηρεσία παροχής ενσύρματης τηλεφωνίας) και MTD (Σουηδικό Αρκτικόλεξο για το σύστημα κινητής τηλεφωνίας) [3].

Μεταβατική γενιά μεταξύ της 0G και της 1G αποτελεί η λεγόμενη 0.5G. Στην εν λόγω γενιά εμπίπτουν εκείνες οι κατηγορίες τεχνολογιών που παρείχαν καλύτερες λειτουργίες σε σχέση με τις βασικές τεχνολογίες 0G.

Τα πρώιμα αυτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας ξεχωρίζουν από τα προγενέστερα ραδιοτηλεφωνικά συστήματα ως μία τεχνολογία που ήταν ένα ευρέως προσβάσιμο μέρος του δημόσιου δικτύου τηλεφωνίας. Σε αντίθεση με τους αστυνομικούς ασυρμάτους ή τα ραδιοταξί, δε λειτουργούσαν αποκλειστικά στο πλαίσιο του αποκλειστικού κλειστού τους δικτύου συχνοτήτων, αλλά παρείχαν εξατομικευμένους αριθμούς κλήσης.

Πρώιμα παραδείγματα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας περιλαμβάνουν: το Autoradiopuhelin (ARP), το πρώτο δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας της Φινλανδίας, ιδρυθέν το 1971, το B-Netz, ιδρυθέν το 1972, το δεύτερο δημόσιο δίκτυο

κινητής τηλεφωνίας της Γερμανίας και το πρώτο πλήρως αυτοματοποιημένο δίκτυο που δεν απαιτούσε χειριστές [3].

1.2 ΠΡΩΤΗ ΓΕΝΙΑ-1G

Η τεχνολογία 1G είναι η πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας πραγματικά ευρείας χρήσης. Τα πρώτα κινητά τηλέφωνα ήταν αναλογικά και εμφανίστηκαν στην παγκόσμια αγορά το 1980. Παρόλα αυτά, το πρωτότυπο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας τέθηκε σε λειτουργία το 1979 από τη Nippon Telephone and Telegraph (NTT) [4]. Στην συνέχεια εμφανίστηκαν αντίστοιχα δίκτυα παγκοσμίως. Στην Ευρώπη, τα δύο πλέον δημοφιλή αναλογικά συστήματα ήταν το Nordic Mobile Telephone (NMT) και το TACS (Total Access Communication System). Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το πρώτο δίκτυο 1G τέθηκε σε λειτουργία το 1982, με την ονομασία AMPS [3]. Τα προαναφερθέντα συστήματα είχαν κοινά βασικά χαρακτηριστικά την αναλογική διαμόρφωση FM, την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης FDMA και την τεχνική FDD[4].

Όλα τα συστήματα είχαν δυνατότητες τόσο handover όσο και roaming, αλλά τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας αδυνατούσαν να δια-λειτουργήσουν μεταξύ χωρών. Αυτό ήταν το πρώτο κυριότερο μειονέκτημα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς. Τα κινητά τηλέφωνα τεχνολογίας 1G είχαν αναξιόπιστα χαμηλής χωρητικότητας handoff, χαμηλής ποιότητας φωνητικές διασυνδέσεις, μηδενική δυνατότητα διασφάλισης επικοινωνιών [3] και υψηλό κόστος [4]. Επίσης είχαν θέματα ασφάλειας αφού οι φωνητικές κλήσεις αναπαράγονταν σε πύργους ραδιο-επικοινωνιών, που τα καθιστούσε επιρρεπή σε απόπειρες παρακολούθησης [3].

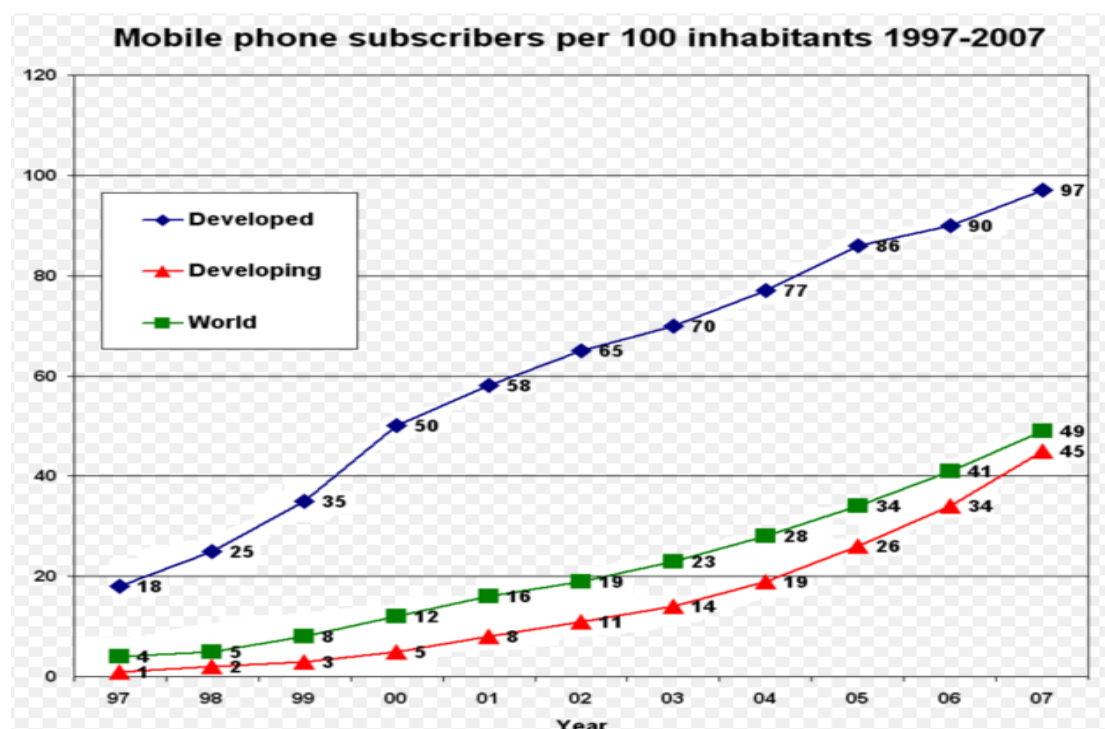
1.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΝΙΑ (2G έως και 2.7G)

Το άλμα από την πρώτη στην δεύτερη γενιά ασύρματων τηλεφώνων βασίστηκε στις πρωτοποριακές εφαρμογές της ψηφιακής τεχνολογίας που έλαβαν χώρα στα μέσα της δεκαετίας του '80. Τα ψηφιακά συστήματα προσέφεραν σημαντικά πλεονεκτήματα στις ασύρματες επικοινωνίες: αυξημένη ανοσία στον θόρυβο, αυξημένη ικανότητα επεξεργασίας σήματος προσφέροντας περισσότερο αποδοτικές τεχνικές μετάδοσης, διαμόρφωσης, κωδικοποίησης και διόρθωσης, δυνατότητες κρυπτογράφησης, χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, χαμηλότερο κόστος, επιπλέον τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (TDMA,CDMA) και duplexing (TDD) [4].

Το σύστημα 2G βασίστηκε κυρίως στα νέα συστήματα πρόσβασης κινητής τηλεφωνίας, τα TDMA και CDMA. Το TDMA μοίραζε το σήμα σε χρονικά περιθώρια ενώ το CDMA παρείχε ένα αποκλειστικό κωδικό σε κάθε χρήστη, ώστε να μπορούν να επικοινωνήσουν πολλοί χρησιμοποιώντας ένα μόνο κανάλι. Παραλλαγές της τεχνολογίας TDMA συμπεριλάμβαναν τα συστήματα GSM (Ευρώπη), PDC(Ιαπωνία) και το IS-136 (ΗΠΑ). Το IS-95 (ΗΠΑ) ήταν το πρώτο σύστημα βασισμένο στη CDMA τεχνολογία [4].

Η τεχνολογία 2G έκανε την πρώτη της εμπορική εμφάνιση στη Φινλανδία το 1991, μετά από συνεργασία Ευρωπαϊκών τηλεφωνικών εταιρειών, υπό το όνομα

GSM(Global System for Mobile Communications) [5]. Το GSM στηρίζεται σε FDMA τεχνική αλλά χρησιμοποιούσε την TDMA τεχνική με FDD για να πολυπλέξει έως και 8 κλήσεις ανά κανάλι επικοινωνίας με τεχνική διαμόρφωσης GMSK. Έτσι εκτός από τη δυνατότητα εκτέλεσης φωνητικών κλήσεων, επέτρεπε και ανταλλαγή δεδομένων με ταχύτητες έως και 14.4kbps [4]. Η τεχνολογία αυτή προσέφερε τρεις φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από ότι τα αναλογικά συστήματα, roaming μεταξύ χωρών, κρυπτογράφηση για την καταπολέμηση υποκλοπών και εισήγαγε τις κάρτες SIM για εύκολη αλλαγή λογαριασμού ανά τερματικό [5]. Επιπλέον παρείχε υπηρεσίες όπως τα γραπτά μηνύματα, μηνύματα εικόνων και δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων πολυμέσων.



Εικόνα 1-3 – Διάγραμμα αύξησης χρηστών την περίοδο 1997-2007

Μέσα σε 20 χρόνια, η τεχνολογία GSM που αποτέλεσε την βάση των υπηρεσιών που υπάρχουν σήμερα και το πιο πετυχημένο βήμα από εμπορική άποψη, συνεχώς εξελισσόταν ώστε να προσφέρει διαρκώς καλύτερες υπηρεσίες στην αγορά. Οι νέες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν βάση του GSM, οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός πιο αναπτυγμένου μεταβατικού συστήματος, γνωστό και ως τεχνολογία 2.5G.

1.4 2.5G-GPRS (General packet Radio Service)

Η αναβάθμιση του GSM, με την υποστήριξη υπηρεσιών δεδομένων με τεχνολογία μεταγωγής πακέτου οδήγησε στο GPRS [4], κάτι που είχε γίνει επιτακτικό μετά την αύξηση των χρηστών που χρησιμοποιούσαν το Διαδίκτυο μέσω κινητού .

Η επέκταση GPRS αναβάθμισε την ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων και παρείχε υπηρεσίες όπως το Πρωτόκολλο Ασύρματης Εφαρμογής (WAP), Υπηρεσίες

Μηνυμάτων Πολυμέσων (MMS) και εφαρμογές διαδικτυακής επικοινωνίας, όπως email και ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο [3].

Το μειονέκτημα με το GPRS είναι ότι η κίνηση δεδομένων έχει πάντα μικρότερη προτεραιότητα από εκείνη των υπηρεσιών GSM και χρησιμοποιεί τους ραδιοπόρους που δεν χρησιμοποιεί το GSM. Έτσι δεν μπορούν να υπολογιστούν εκ των προτέρων οι ακριβείς διαθέσιμοι πόροι, και να εγγυηθεί συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης [4].

1.5 2.75G-EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Τα δίκτυα GPRS αναβαθμίστηκαν στην τεχνολογία EDGE με την εισαγωγή της τεχνολογία κρυπτογράφησης 8PSK [4]. Η τεχνολογία EDGE εφαρμόστηκε αρχικά στα δίκτυα της Cingular (νυν AT& T) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το EDGE ορίστηκε ως μέρος της οικογένειας τεχνολογίας GSM από την 3GPP και έδωσε τη δυνατότητα αναβάθμισης έως και τριπλάσιας ταχύτητας ανταλλαγής δεδομένων για τα υπάρχοντα δίκτυα GSM/GPRS. Έτσι, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα χρονικά περιθώρια σε συνδυασμό με την κρυπτογράφηση 8PSK, μπορούσε να παρέχει ταχύτητες ανταλλαγής δεδομένων έως και 236.8kbps [3].

Οι υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τεχνολογίας EDGE, σε συνδυασμό με την άμεση χρήση χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης πρόσθετου λογισμικού ή την αναβάθμιση σε νέο υλικό, επέτρεψαν την ταχύτερη εφαρμογή της μεταξύ χρηστών των GPRS συστημάτων απλά [4] και χωρίς πρόσθετες χρεώσεις [3].

1.6 3G

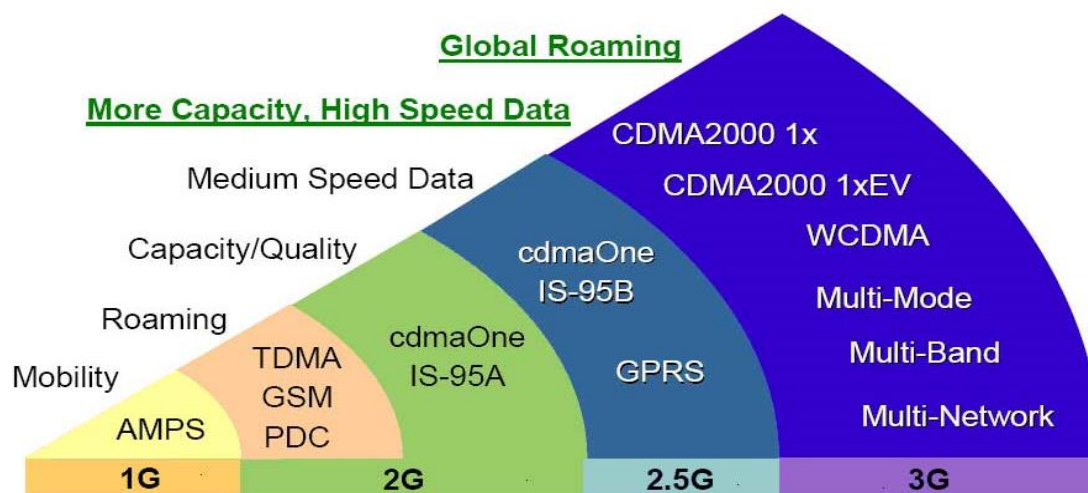
Η τεχνολογία 3G είναι η τρίτη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας που υπερκάλυψε την τεχνολογία 2G και είναι ο προκάτοχος της 4G. Βασίζεται στο πρότυπο της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) που στόχευε να εφαρμόσει ένα διεθνές εύρος συχνότητας στα 2000 MHz το οποίο θα στήριζε ένα μοναδικό, ομοιογενές και παγκόσμιο κριτήριο ασύρματης επικοινωνίας ενώνοντας τα διαφορετικά δίκτυα δεύτερης γενιάς σε Ιαπωνία, Ευρώπη και ΗΠΑ. Αυτό το πρωτόκολλο έγινε γνωστό ως το Κριτήριο Διεθνούς Κινητής Τηλεφωνίας 2000 (IMT-2000) [6].

Οι ραδιοεπαφές που αναπτύχθηκαν σύμφωνα με το IMT-2000 είναι το WCDMA/UMTS και το cdma2000. Το WCDMA σχεδιάστηκε για να εκμεταλλευτεί τη δομή του GSM, ενώ το cdma2000 τη δομή του IS-95 [4]. Το πρόγραμμα συνεργασίας 3^{ης} γενιάς (3GPP) χρησιμοποίησε αυτές τις δυο βάσεις για να δημιουργήσει ένα σύστημα το οποίο κάλυπτε τα αυστηρά κριτήρια του IMT-2000.

Οι τεχνολογίες 3G επιτρέπουν στους διαχειριστές του δικτύου να προσφέρουν ένα μεγαλύτερο εύρος πιο απαιτητικών υπηρεσιών στους χρήστες, παρέχοντας παράλληλα ακόμη ταχύτερη ανταλλαγή δεδομένων με καλύτερη χρήση του δικτύου τους [6]. Οι υπηρεσίες αυτές συμπεριλαμβάνουν ασύρματη τηλεφωνία, βίντεο-κλήσεις και ασύρματη ανταλλαγή δεδομένων ευρείας ζώνης, ασύρματη τηλεόραση και βίντεο-συνδιασκέψεις [7].

Η τεχνολογία 3G παρείχε τις κάτωθι αναβαθμίσεις σε σχέση με τις προηγούμενες τεχνολογίες:

- Ταχύτερη ροή ήχου και βίντεο σε υψηλότερη ποιότητα
- Πολλαπλάσια αυξημένη ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων
- Δυνατότητα βίντεο-συνδιασκέψεων
- Περιήγηση στο διαδίκτυο και χρήση WAP σε ακόμη υψηλότερες ταχύτητες
- Υπηρεσίες IPTV (Τηλεόρασης μέσω του internet) [3]



Εικόνα 1-4- Εξελικτικό διάγραμμα από την πρώτη ως την τρίτη γενιά

1.7 3.5G-HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)

Η HSDPA είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης τηλεφωνίας που έγινε γνωστό ως 3.5G και αποτέλεσε την εξέλιξη των 3G δικτύων βασισμένων στα συστήματα WCDMA, επιτρέποντας ακόμη υψηλότερες ταχύτητες ανταλλαγής δεδομένων, μέχρι και 3.5 φορές μεγαλύτερες.[6] Η υπηρεσία HSDPA είναι μία υπηρεσία ανταλλαγής πακέτων δεδομένων με δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων έως και τα 10Mbit/s, την οποία πέτυχε μέσω βελτιώσεων του λογισμικού στα προϋπάρχοντα δίκτυα [4].

1.8 3.75G – HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)

Ο όρος 3.75G αναφέρεται στο εύρος των τεχνολογιών που δεν εμπίπτουν στις παραμέτρους των τεχνολογιών ασύρματης/κινητής τηλεφωνίας 3G. Το σύστημα HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) είναι μία εξέλιξη του συστήματος UMTS/WCDMA [3].

Η τεχνολογία HSUPA είναι άμεσα συνδεδεμένη με την τεχνολογία HSDPA και οι δύο τεχνολογίες είναι ξεκάθαρα αλληλένδετες και οδήγησαν στο HSPA το οποίο είναι ο συνδυασμός των δύο και αποτελεί μια από τις πιο χρησιμοποιημένες ευρυζωνικές ασύρματες τεχνολογίες στον κόσμο [6].

Το HSUPA προσφέρει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης στην άνω ζεύξη, επιτρέποντας την εύκολη ανταλλαγή μεγάλου μεγέθους αρχείων μεταξύ δικτύου και

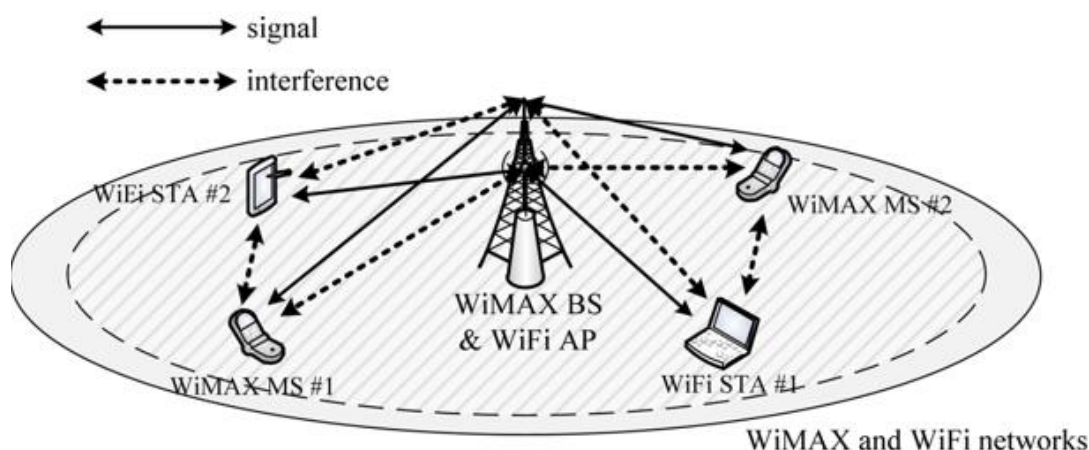
χρήστη. Στην πράξη δίνεται η δυνατότητα μεταφόρτωσης από το χρήστη στο δίκτυο πολυμεσικού περιεχομένου που παράγεται ή φυλάσσεται για αυτόν [4].

1.9 4G

Η τεχνολογία 4G ενσωματώνει την ιδέα της δια-συμβατότητας μεταξύ ετερογενών δικτύων, τερματικών και υπηρεσιών επιτρέποντας ανταλλαγή δεδομένων σε ταχύτητες έως και 100Mbps ακόμη και αν ο δέκτης ή ο διακομιστής κινούνται σε ταχύτητες 60 χιλιομέτρων την ώρα [2].

Ο όρος τέταρτη γενιά έχει αμφισβητηθεί σε κάποια δίκτυα τέταρτης γενιάς τα οποία χρονικά και τεχνολογικά ανήκουν στην τρίτη αλλά ικανοποιούν τις προδιαγραφές της ITU για την τέταρτη. Σημαντικά τεχνολογικά μέρη της τέταρτης γενιάς αποτελούν οι OFDM και MIMO τεχνικές, που αποτελούν και κοινό παράγοντα των διαφορετικών δικτύων της γενιάς αυτής. Για αυτό τον λόγο πολλοί ειδικοί θεωρούν τέταρτης γενιάς τα δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούν OFDM όπως το Wi-Fi (Wireless Fidelity), WiMAX (Worldwide Interoperability Microwave Access) και LTE (Long Term Evolution) [8],[9].

Τα LTE, Wi-Fi και WiMAX δίκτυα και τα αντίστοιχα πρότυπα τους 802.11x και 802.16.x, θα αναφερθούν αναλυτικά στην συνέχεια.



Εικόνα 1-5– Παράδειγμα ετερογενούς δικτύου

Συμπερασματικά κάθε γενιά και τα μεταβατικά στάδια της οδήγησαν σε ολοένα καλύτερες υπηρεσίες και κάλυψη, υψηλότερες ταχύτητες και πιο οικονομικές λύσεις. Όμως η πολυφωνία οργανισμών και εταιρειών οδήγησε σε μια πληθώρα ετερογενών δικτύων με δυσκολίες συνύπαρξης τεχνολογικά και φασματικά. Η τέταρτη γενιά έρχεται να το αντιμετωπίσει αυτό βάζοντας όλα τα ετερογενή δίκτυα κάτω από την ίδια ομπρέλα του IP με δομικά υλικά την OFDM και την MIMO. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η συνύπαρξη Wi-Fi και WiMAX/LTE, μέσω της πλατφόρμας που φτιάχτηκε, και μελετώνται αποδοτικοί τρόποι διαχείρισης των διαθέσιμων ραδιοπόρων τους για την αύξηση της χωρητικότητας χρηστών και την μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών σε μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή.

ΓΕΝΙΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
1G	14.4Kbps	AMPS,NTM,TACS	1970-1980	Τα τερματικά χρησιμοποιούνται μόνο για φωνή
2G	9.6/14.4Kbps	TDMA,CDMA GSM	1990-2000	Πολυπλεξία επιτρέπει πολλαπλούς χρήστες ανά κανάλι, πέρα από φωνή μεταδίδονται και δεδομένα
2.5G	171.2Kbps 20-40Kbps	GPRS	2001-2004	Το διαδίκτυο γίνεται δημοφιλές αυξάνοντας την ανάγκη για δεδομένα, μερικά κινητά εμφανίζουν ικανότητα πλοήγησης διαδικτύου
3G	3.1Mbps 500-700Mbps	cdma 2000 (UMTS,EDGE)	2004-2005	Υποστηρίζονται υπηρεσίες πολυμέσων, συμβατότητα πρόσβασης από διαφορετικά είδη συσκευών
3.5G	14.4 Mbps 1-3Mbps	HSPA	2006-2010	Υψηλότερες ταχύτητες για τις ανάγκες των χρηστών
4G	100-300 Mbps 3-5 Mbps 100Mbps	WiMAX(802.16x) LTE Wi-Fi(802.11x)	Παρόν	Ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες, ζωντανή ροή υψηλής ποιότητας, αυξημένη φορητότητα
5G	Πιθανόν Gbps	-	-	-

Πίνακας 1-1-Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών όλων των γενιών

2 ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΚΑΝΑΛΙ

Σημαντικό κομμάτι για την υλοποίηση της πλατφόρμας αποτελεί η κατανόηση των μηχανισμών του ασύρματου διαύλου και τους περιορισμούς που αυτός εισάγει. Σε αυτό το κεφαλαίο αναλύονται τα προβλήματα που εισάγονται, το λόγο ύπαρξης τους και το πώς αυτά επιλύονται είτε μέσω μοντελοποίησης και διαχείρισης είτε μέσω των έμφυτων μηχανισμών των πρωτοκόλλων Wi-Fi, WiMAX και LTE.

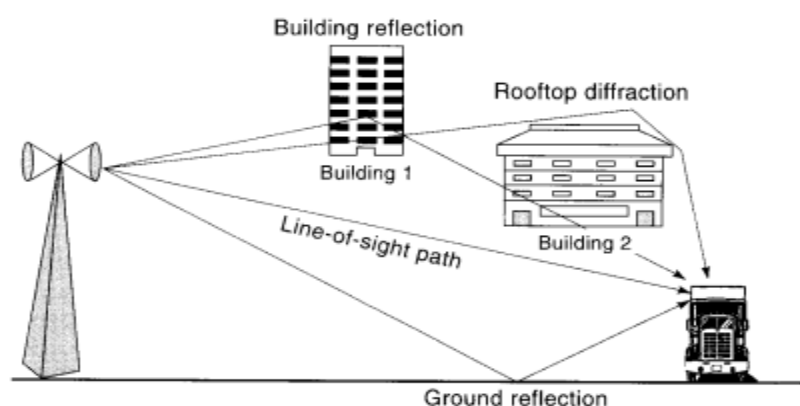
2.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Οι μηχανισμοί που διέπουν την ραδιοδιάδοση είναι πολύπλοκοι και ποικίλοι αλλά μπορούν να συνοψιστούν σε τρεις βασικούς: την ανάκλαση (reflection), την περίθλαση (diffraction) και την σκέδαση (scattering).

Ανάκλαση εμφανίζεται όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες από το μήκος κύματος του. Ανακλώμενα κύματα παράγονται μετά από πρόσκρουση των διαδιδόμενων κυμάτων στο έδαφος και σε κτήρια συμβάλλοντας αρνητικά ή θετικά στο αρχικό κύμα.

Περίθλαση εμφανίζεται όταν παρεμβάλλεται αδιαπέραστο σώμα στη διαδρομή του ραδιοκύματος. Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, παράγονται δευτερογενή κύματα από το εμπόδιο, τα οποία φτάνουν στον δέκτη ακόμα και όταν δεν υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Έτσι εξηγείται πώς γίνεται χωρίς οπτική επαφή να πραγματοποιείται η επικοινωνία σε αστικά περιβάλλοντα.

Σκέδαση εμφανίζεται όταν στη διαδρομή του κύματος εμφανίζονται εμπόδια με διαστάσεις ίσες ή μικρότερες του μήκους κύματος του. Ως αποτέλεσμα παρατηρείται η επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές κατευθύνσεις, όπως και στο φυσικό φαινόμενο της διάχυσης. Ο τελευταίος μηχανισμός είναι και ο πιο δύσκολος να προβλεφθεί μιας και αλλαγές τέτοιου μεγέθους είναι συνεχείς σε ένα αστικό περιβάλλον [10]. Λόγω των πολύ μικρών μηκών κύματος που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες ασύρματες τηλεπικοινωνίες, μπορούμε να θεωρήσουμε το ηλεκτρομαγνητικό κύμα ως ακτίνα [11] όπως και παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-1.



Εικόνα 2-1- Παράδειγμα πολύοδης διάδοσης μέσω ανάκλασης και περίθλασης

Χωρίς τους παραπάνω μηχανισμούς δεν θα ήταν εφικτή η επικοινωνία σε ένα περιβάλλον όπως το αστικό όπου είναι πρακτικά αδύνατη η συνεχόμενη επικοινωνία με άμεση οπτική επαφή με την κεραία μετάδοσης. Επίσης όμως δημιουργούνται και προβλήματα λόγω των πολλών διαφορετικών διαδρομών που ακολουθεί το κύμα και την μεταξύ αυτών απρόβλεπτη συμβολή.

2.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Οι απώλειες διαδρομής αποτελούν απαραίτητο στοιχείο μελέτης αφού αυτές θα μας υποδείξουν την κάλυψη του εκάστοτε ασύρματου συστήματος. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά μοντέλα απωλειών αναλόγως την απόσταση, την συχνότητα λειτουργίας και το περιβάλλον αλλά παρακάτω θα αναλυθούν το μοντέλο διαδρομής για διάδοση στον ελεύθερο χώρο, που αποτέλεσε και βάση όλων των υπόλοιπων μοντέλων, και το μοντέλο που καλύπτει όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις και χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, το μοντέλο Cost 231-Hatta [12].

2.2.1 Απώλειες Διαδρομής για διάδοση στον Ελεύθερο Χώρο

Στα περισσότερα περιβάλλοντα παρατηρείται ότι το σήμα πέφτει σε συνάρτηση με την απόσταση. Ανάλογα το περιβάλλον ο συντελεστής α που επηρεάζει τον τρόπο που μεταβάλλονται με την απόσταση οι απώλειες παίρνει την μορφή $P_r d^{-\alpha}$ όπου P_r η εκπεμπόμενη ισχύς και d η απόσταση πομπού-δέκτη. Στην πιο απλή μορφή του ο συντελεστής α είναι ίσος με 2, για τον ελεύθερο χώρο. Όταν μια κεραία εκπέμπει ένα σήμα, το εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις σε μορφή σφαίρας. Έτσι η πυκνότητα ισχύος του σήματος σε απόσταση d είναι η συνολική εκπεμπόμενη ισχύς δια την περιοχή που είναι $4\pi d^2$. Αναλόγως την συχνότητα υπάρχουν επιπλέον απώλειες, και γενικά η σχέση μεταξύ εκπεμπόμενης P_t και λαμβανόμενης ισχύος P_r είναι:

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.1)$$

Όπου G_t και G_r είναι τα αντίστοιχα κέρδη κεραιών πομπού και δέκτη και λ είναι το μήκος κύματος [11].

2.2.2 Cost 231-Hata

Το μοντέλο αυτό αποτελεί εξέλιξη του γνωστού εμπειρικού μοντέλου Okumura-Hatta και έχει πολύ καλή εφαρμογή σε ευρωπαϊκά αστικά περιβάλλοντα [4]. Το μοντέλο έχει την παρακάτω μορφή:

$$L(dB) = A + B \log d + C \quad (2.2.a)$$

$$A = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log(H_{bs}) - a(H_{ms}) \quad (2.2.β)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(H_{bs}) \quad (2.2.γ)$$

όπου H_{bs} είναι το ύψος του σταθμού εκπομπής, H_{ms} είναι το ύψος του κινητού τερματικού και C είναι 0dB για πόλεις μεσαίου μεγέθους και 3dB για μητροπολιτικά κέντρα. Για να έχει σωστά αποτελέσματα το μοντέλο θα πρέπει να έχει εφαρμογή σε

μακροκυψέλες, δηλαδή σε περιπτώσεις όπου η κεραία του σταθμού βάσης είναι πάνω από τις στέγες των σπιτιών, και να ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια[4]:

$$150 \leq f_c \leq 1500 \text{MHz} \quad (2.3.\alpha)$$

$$30 \leq H_{bs} \leq 200 \text{m} \quad (2.3.\beta)$$

$$1 \leq H_{ms} \leq 10 \text{m} \quad (2.3.\gamma)$$

$$1 \leq d \leq 20 \text{Km} \quad (2.3.\gamma)$$

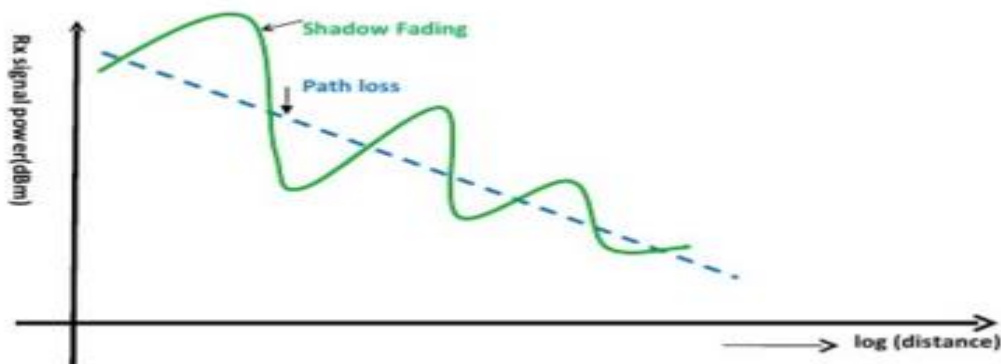
Το περιβάλλον που εξετάζεται στην πλατφόρμα που φτιάχτηκε ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες και για αυτό τον λόγο το COST 231 Hata καλύπτει την ανάγκη μοντελοποίησης απωλειών διάδοσης στον δίαυλο.

2.3 ΣΚΙΑΣΗ

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για την εύρεση των απωλειών δεν λαμβάνει υπόψιν ότι η αταξία στο περιβάλλον μπορεί να δώσει για δύο σημεία, στην ίδια απόσταση από την κεραία εκπομπής, διαφορετικά αποτελέσματα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται σκίαση και είναι ένα τυχαίο αργό φαινόμενο που επηρεάζει τις απώλειες διάδοσης [10]. Μαθηματικά μπορεί να μεταφραστεί σαν μια τυχαία μεταβλητή λογαριθμικής κανονικής κατανομής η οποία θα προστεθεί στο μοντέλο COST 231 Hata υπό την παρακάτω μορφή:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma^{-1} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.4)$$

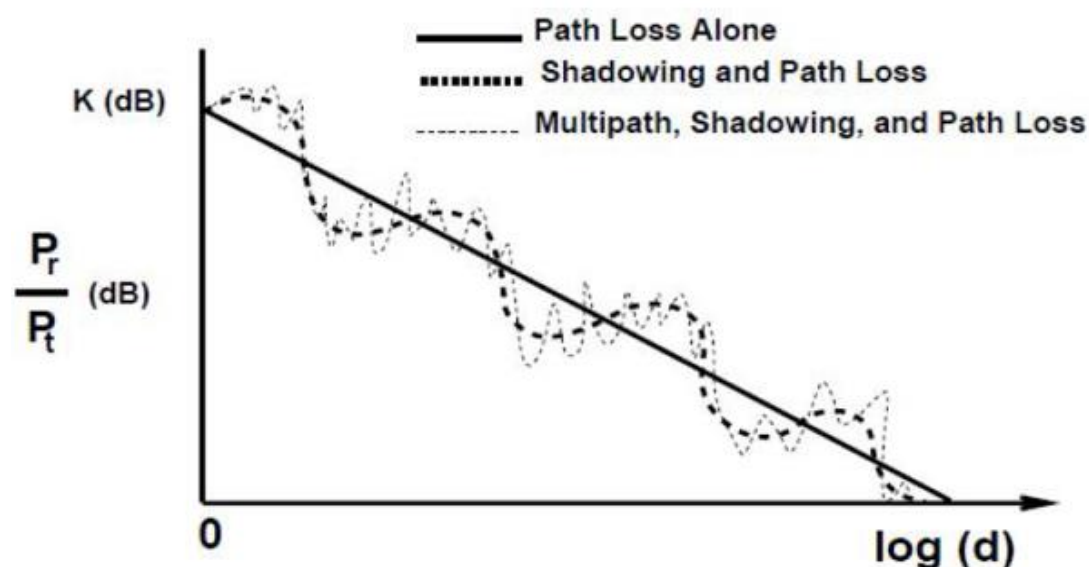
Όπου x η μετρούμενη στάθμη ισχύος, μ η μέση τιμή απωλειών και σ η τυπική απόκλιση η οποία συνήθως κυμαίνεται από 4 ως 12dB, για αυτό παίρνουμε τον μέσο όρο $\sigma=8\text{dB}$ [13].



Εικόνα 2-2–Ποιοτικό παράδειγμα επίδρασης σκίασης

2.4 ΔΙΑΛΕΙΨΕΙΣ

Οι διαλείψεις μπορούν να διαχωριστούν σε δύο είδη: τις διαλείψεις μεγάλης κλίμακας, που αποτελούνται από τις απώλειες διάδοσης και την σκίαση, και τις διαλείψεις μικρής κλίμακας [4]. Οι διαλείψεις μικρής κλίμακας προκαλούνται και επηρεάζονται από την πολυδιαδρομική μετάδοση που κυριεύει περιβάλλοντα όπως το αστικό, την ταχύτητα του κινητού τερματικού και των γύρω του αντικειμένων και από το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για το μεταδιδόμενο σήμα [13].



Εικόνα 2-3– Ποιοτικό παράδειγμα επίδρασης απωλειών διαδρομής και διαλείψεων μικρής και μεγάλης κλίμακας στο σήμα

2.4.1 Τύποι Διαλείψεων Μικρής Κλίμακας

Ο τύπος διάλειψης μικρής κλίμακας εξαρτάται από τις παραμέτρους του σήματος (φάσμα συχνοτήτων B_s , περίοδος συμβόλου T_s) και τις παραμέτρους του καναλιού (διασπορά καθυστέρησης και διασπορά Doppler). Εξ' ου και έχουμε τέσσερις διαφορετικούς τύπους διαλείψεων. Τις επίπεδες και τις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα, που αποτελούν τις διαλείψεις εξαιτίας της πολυδιαδρομικής διάδοσης και τις γρήγορες και αργές που αποτελούν τις διαλείψεις λόγω της διασποράς Doppler.

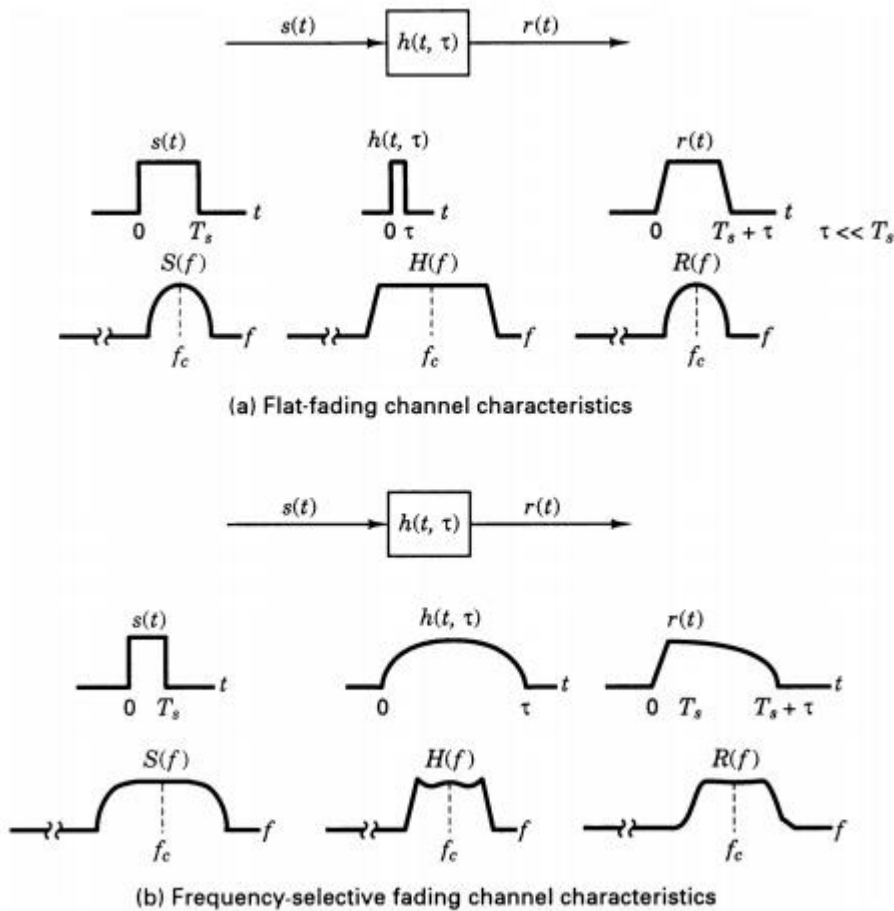
2.4.1.1 Επίπεδες Διαλείψεις

Τέτοιου είδους διαλείψεις συμβαίνουν όταν το φάσμα του εκπεμπόμενου σήματος είναι πολύ μικρότερο από το εύρος συνοχής του καναλιού. Το ίδιο ισχύει αν η περίοδος του συμβόλου είναι πολύ μεγαλύτερη από την διασπορά καθυστέρησης. Σε αυτήν την περίπτωση το κινητό κανάλι έχει σταθερό κέρδος και γραμμική αλλαγή φάσης στο φάσμα του [13].

2.4.1.2 Διαλείψεις επιλεκτικές ως προς την συχνότητα

Διαλείψεις τέτοιου είδους συμβαίνουν όταν το φάσμα του σήματος είναι μεγαλύτερο από το φάσμα συνοχής του καναλιού ή η διάρκεια συμβόλου του είναι μικρότερη της διασποράς καθυστέρησης του καναλιού. Ως αποτέλεσμα έχουμε στον παραλήπτη να

παραλαμβάνουμε πολλαπλά αντίγραφα του εκπεμπόμενου σήματος με χρονική καθυστέρηση. Επίσης στο κανάλι εμφανίζεται διασυμβολική παρεμβολή [13].



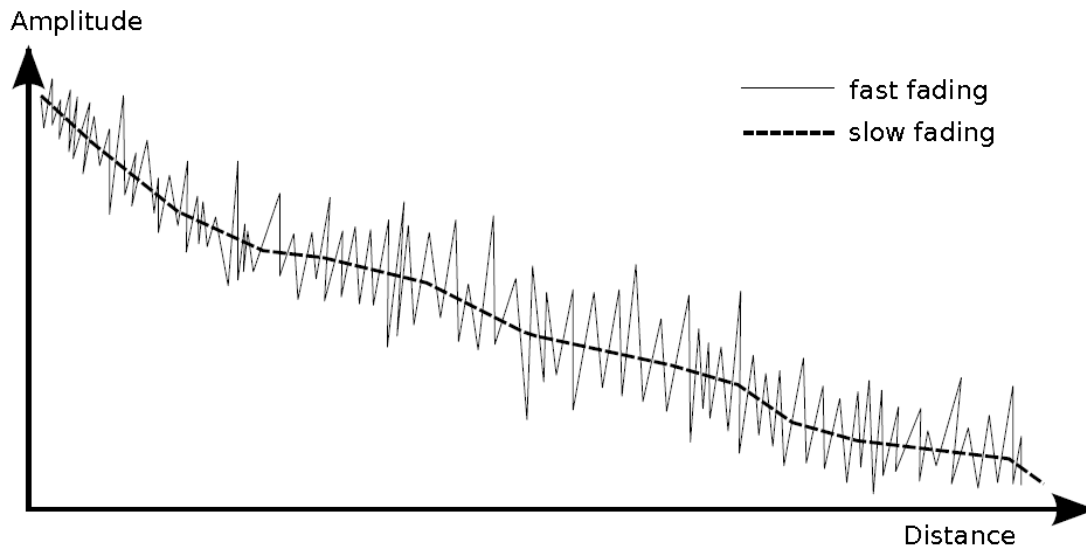
Εικόνα 2-4– Παράδειγμα επίδρασης επιπέδων και επιλεκτικών ως προς την συχνότητα διαλείψεων στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας

2.4.1.3 Γρήγορες Διαλείψεις

Σε ένα κανάλι με γρήγορες διαλείψεις, η κρουστική απόκριση του διαύλου μεταβάλλεται ταχύτερα από τη διάρκεια συμβόλου του σήματος. Η διασπορά Doppler προκαλεί τότε παραμόρφωση στο σήμα και φασματική διασπορά. Γρήγορες διαλείψεις συναντάμε σε μεταδόσεις δεδομένων πολύ χαμηλών ρυθμών [13].

2.4.1.4 Αργές Διαλείψεις

Σε κανάλι που παρουσιάζει αργές διαλείψεις, ο ρυθμός μεταβολής της κρουστικής απόκρισης του διαύλου είναι πολύ μικρότερη από την διάρκεια συμβόλου του σήματος. Στην περίπτωση αυτή μπορεί ο διάυλος να θεωρηθεί σταθερός κατά την διάρκεια της μετάδοσης ενός ή περισσότερων συμβόλων. Στο πεδίο της συχνότητας αυτό σημαίνει ότι η διασπορά Doppler είναι αρκετά μικρότερη από το εύρος ζώνης του σήματος. Από τα προηγούμενα καταλαβαίνουμε ότι στην περίπτωση των διαλείψεων λόγω διασποράς Doppler, σημαντικό ρόλο παίζουν η ταχύτητα του τερματικού ή/και η κινητικότητα των σκεδαστών στο περιβάλλον διάδοσης και το σχήμα διαμόρφωσης του σήματος [13].



Εικόνα 2-5– Ποιοτικό παράδειγμα γρήγορων και αργών διαλείψεων

Για την αντιμετώπιση των διαλείψεων τα εξεταζόμενα δίκτυα χρησιμοποιούν την τεχνική OFDM η οποία προσφέρει τους απαραίτητους μηχανισμούς για την μείωση των επιδράσεων τους. Αναλυτική αναφορά στην OFDM θα γίνει στην συνέχεια της παρούσας εργασίας.

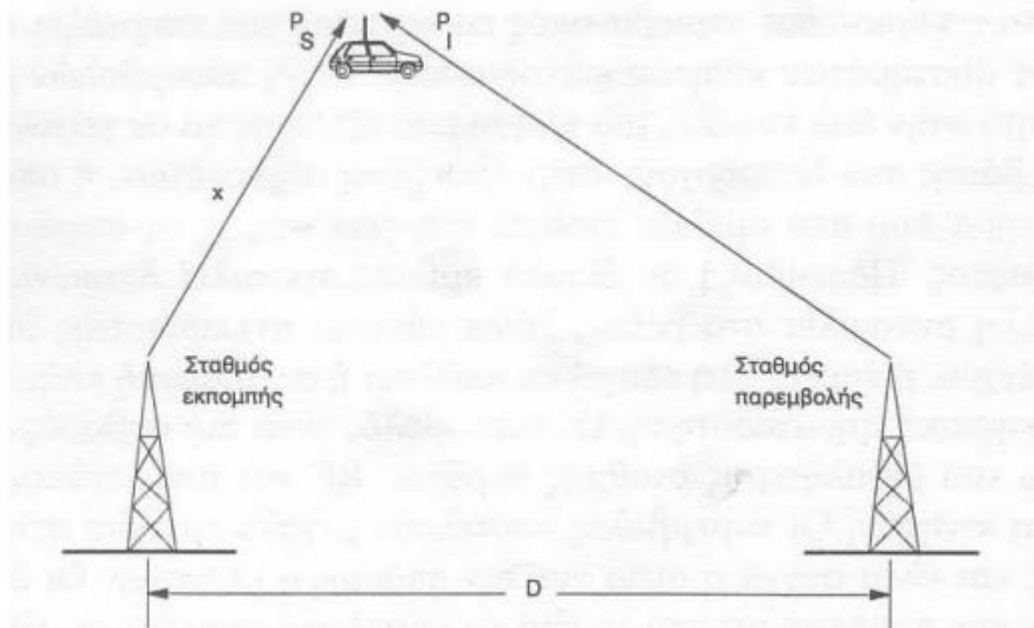
2.5 ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ

Στην ασύρματη επικοινωνία δύο ακίνητων πομποδεκτών με σύνδεση σημείο προς σημείο, ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα της επικοινωνίας είναι ο θόρυβος που προέρχεται από το γύρω περιβάλλον. Αν ο ένας ή και οι δύο κινούνται, τότε η ποιότητα της επικοινωνίας επηρεάζεται επίσης και από τις διαλείψεις λόγω πολλαπλών διαδρομών. Στην περίπτωση όμως που εξετάζουμε υπάρχουν πολλοί πομποδέκτες, με παραπλήσιες συχνότητες που ο ένας μπορεί να παρεμβάλει τον άλλον. Πηγή παρεμβολών μπορεί να είναι ένα άλλο τερματικό ή άλλοι σταθμοί βάσης που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Μιας και το κυψελωτό δίκτυο εξ ορισμού αποτελείται από πολλούς πομποδέκτες σε μικρή γεωγραφική περιοχή καταλαβαίνουμε ότι οι παρεμβολές αποτελούν και το κύριο περιοριστικό παράγοντα της επίδοσης του. Παρακάτω θα εξετάσουμε τα είδη των παρεμβολών στα κυψελωτά δίκτυα.

2.5.1 Ομοδιαυλικές παρεμβολές

Στην περιοχή κάλυψης ενός συστήματος κινητών τηλεπικοινωνιών, για να επιτευχθεί καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος που διατίθεται, επαναχρησιμοποιούνται διάυλοι της ίδιας συχνότητας σε διάφορες μη γειτονικές περιοχές. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την ύπαρξη πολλών κυψελών στην περιοχή εξυπηρέτησης του συστήματος που χρησιμοποιούν την ίδια ομάδα συχνοτήτων [10]. Οι κυψέλες αυτές ονομάζονται ομοδιαυλικές κυψέλες και οι παρεμβολές μεταξύ τους ομοδιαυλικές. Η ομοδιαυλική

παρεμβολή μπορεί να γίνει σοβαρό πρόβλημα αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.



Εικόνα 2-6–Παράδειγμα Ομοδιαυλικής Παρεμβολής

Σε αντίθεση με τον θερμικό θόρυβο, ο οποίος μπορεί να αντιμετωπιστεί με αύξηση του SNR, η ομοδιαυλική παρεμβολή δεν μπορεί διότι έτσι θα αυξηθεί το SNR των παρεμβαλλόμενων σημάτων. Για να καταφέρουμε να μειώσουμε αυτού του είδους τις παρεμβολές, θα πρέπει οι ομοδιαυλικές κυψέλες να απέχουν μεταξύ τους κάποια ελάχιστη απόσταση, ώστε να παρέχεται επαρκής χωρική απομόνωση. Το πόσο επηρεάζεται ένα δίκτυο από ομοδιαυλικές παρεμβολές συνοψίζεται στην παράμετρο α ,

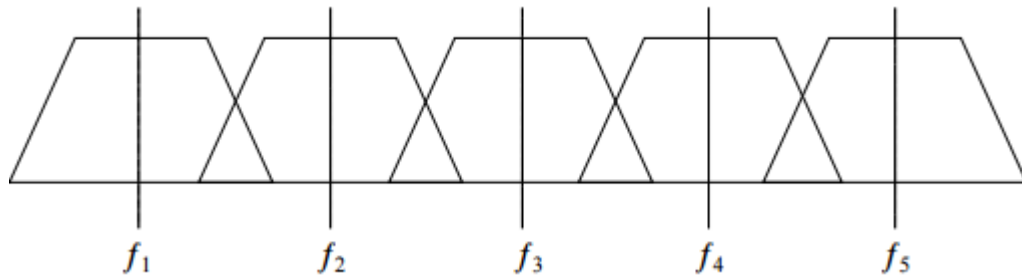
$$\alpha = \frac{D}{R} \quad (2.5)$$

όπου R η κάλυψη της κεραίας και D η απόσταση της από την κεραία της ομοδιαυλικής κυψέλης [10]. Προφανώς όσο μεγαλύτερο το α τόσο μικρότερες ομοδιαυλικές παρεμβολές έχουμε. Το πώς αντιμετωπίζονται οι ομοδιαυλικές παρεμβολές αποτελεί και τρόπο αποδοτικής διαχείρισης ραδιοπόρων και μελετάται στην συνέχεια.

2.5.2 Παρεμβολές γειτονικών διαύλων

Παρεμβολές γειτονικών διαύλων παρουσιάζονται όταν στην ίδια κυψέλη έχουμε διαύλους οι οποίοι είναι γειτονικοί στο φάσμα. Αυτό όμως δεν περιορίζει και τους μη γειτονικούς να παρεμβάλουν, μιας και οι δίαυλοι δεν έχουν αυστηρά περιορισμένο εύρος ζώνης. Ο βαθμός κατά τον οποίο αυτή η ατέλεια περιορίζει την επίδοση του συστήματος, είναι συνάρτηση της απόστασης των γειτονικών διαύλων, της απόκρισης του φίλτρου στην είσοδο του δέκτη, της επιλεκτικότητας του δέκτη, και την στατική κατανομή του λόγου της στάθμης φέροντος του επιθυμητού σήματος προς τη στάθμη φέροντος του γειτονικού διαύλου. Για να αποφευχθεί αυτού του είδους η παρεμβολή πέρα από το κομμάτι του φίλτρου, από διαχειριστικής άποψης,

μπορούμε να μοιράζουμε τους διαύλους έτσι ώστε να μην συνυπάρχουν γειτονικοί στην ίδια κυψέλη [10].



Εικόνα 2-7- Παράδειγμα παρεμβολής γειτονικών διαύλων

2.5.3 Διασυμβολική παρεμβολή

Η διασυμβολική παρεμβολή οφείλεται είτε σε σχετικά μεγάλη εξάπλωση της χρονοκαθυστέρησης σε μέσο που υπάρχει διάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών είτε σε σχετικά υψηλό ρυθμό ψηφιακής μετάδοσης [10]. Το συγκεκριμένο είδος παρεμβολής αντιμετωπίζεται πλήρως από την τεχνική OFDM.

3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

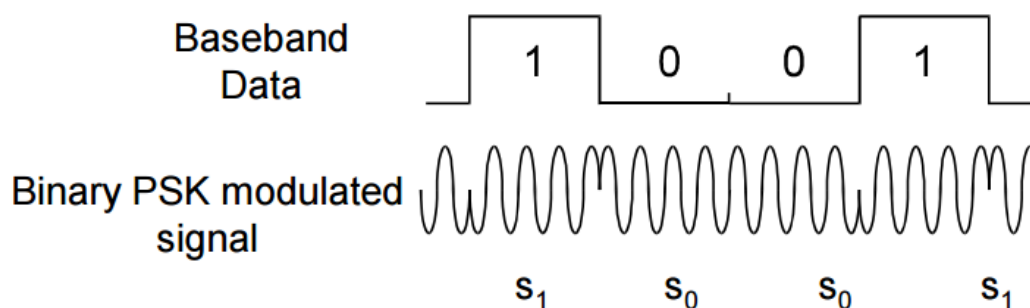
Λόγω του περιορισμένου εύρους φάσματος που έχει αποδοθεί στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών αλλά και των μεγάλων αναγκών που αυξάνονται καθημερινά, είναι αναγκαία η ανάπτυξη αποδοτικών τεχνικών κατανομής του φάσματος σε πολλούς χρήστες. Η κατανομή του εύρους ζώνης με απόδοση αποκλειστικών διαύλων καλείται πολλαπλή πρόσβαση. Επίσης όμως απαιτείται και αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ χρηστών και δικτύου. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται τεχνικές αμφιδρόμησης. Η πληροφορία, όμως ασχέτως των τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης και αμφιδρόμησης, αν δεν έρθει σε κατάλληλη μορφή μέσω διαμόρφωσης, δεν μπορεί να διαδοθεί στον δίαυλο. Στην συνέχεια θα εξεταστούν οι τρόποι διαμόρφωσης, πολλαπλής πρόσβασης και αμφιδρόμησης που καθιστούν ικανή την επικοινωνία στο ασύρματο περιβάλλον.

3.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Διαμόρφωση λέγεται η διαδικασία κατά την οποία το προς μετάδοση μήνυμα αποτυπώνεται σε ένα σήμα ραδιοσυχνότητας, το οποίο ονομάζεται φέρον, γιατί ουσιαστικά μεταφέρει την πληροφορία. Η αποτύπωση συνίσταται στην μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού του φέροντος (πλάτος, συχνότητα, φάση), ανάλογα με το σήμα πληροφορίας, με τρόπο ώστε ο δέκτης, αφού λάβει το διαμορφωμένο σήμα, να μπορέσει εύκολα και αξιόπιστα να ανακτήσει το σήμα πληροφορίας. Υπάρχουν πολλές τεχνικές με τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ψηφιακή διαμόρφωση. Η επιλογή της τεχνικής ψηφιακής διαμόρφωσης που χρησιμοποιεί ένα σύστημα επιλέγεται ανάλογα με την ευκολία υλοποίησης, την ανθεκτικότητα σε σφάλματα και παρεμβολές και τα επιθυμητά φασματικά χαρακτηριστικά [4].

3.1.1 PSK (Phase Shift Keying)

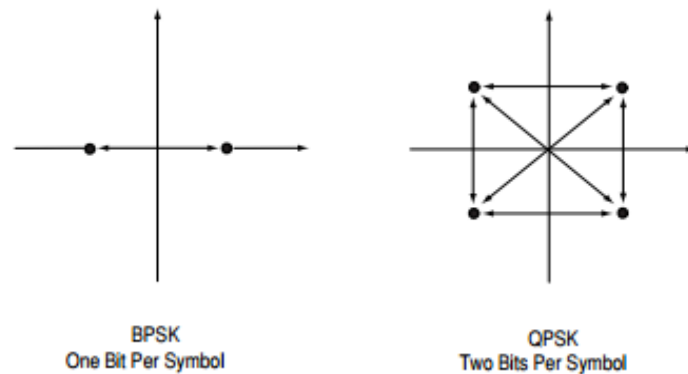
Στην τεχνική PSK, το πλάτος και η συχνότητα του διαμορφωμένου σήματος παραμένουν σταθερά ενώ η φάση έχει μια από τις M πιθανές τιμές (μια για κάθε σύμβολο του αλφαβήτου της διαμόρφωσης) [4]. Όπου η τεχνική ονομάζεται MPSK αναλόγως την τιμή του M (Binary PSK για $M=2$, Quadrature PSK για $M=4$).



Εικόνα 3-1– Παράδειγμα PSK διαμόρφωσης

Οι κυματομορφές μπορούν να παρασταθούν, για μεγαλύτερη ευκολία και εποπτεία, στο μιγαδικό επίπεδο με διανύσματα (Εικόνα 3-2). Αυτός ο τρόπος παρουσίασης τις

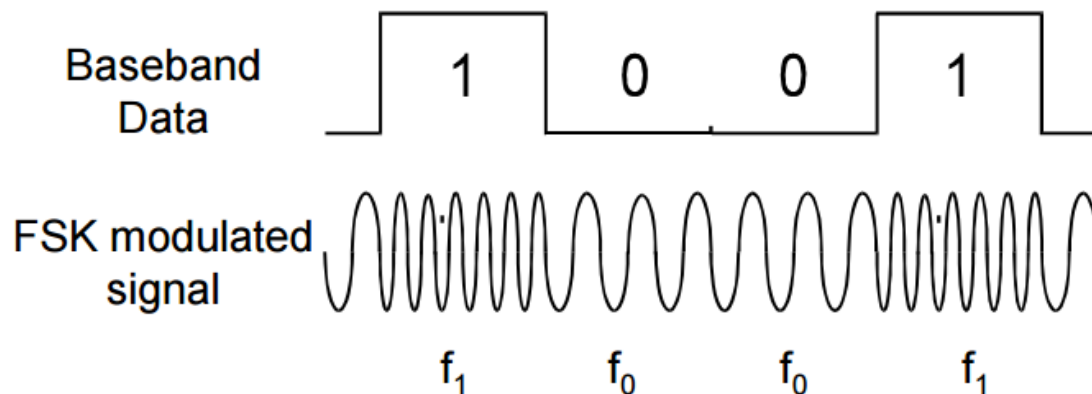
αντιστοίχισης των bits πληροφορίας με τις διαμορφωμένες κυματομορφές ονομάζεται διάγραμμα αστερισμού.



Εικόνα 3-2– Διαγράμματα αστερισμού των BPSK και QPSK

3.1.2 FSK (Frequency Shift Keying)

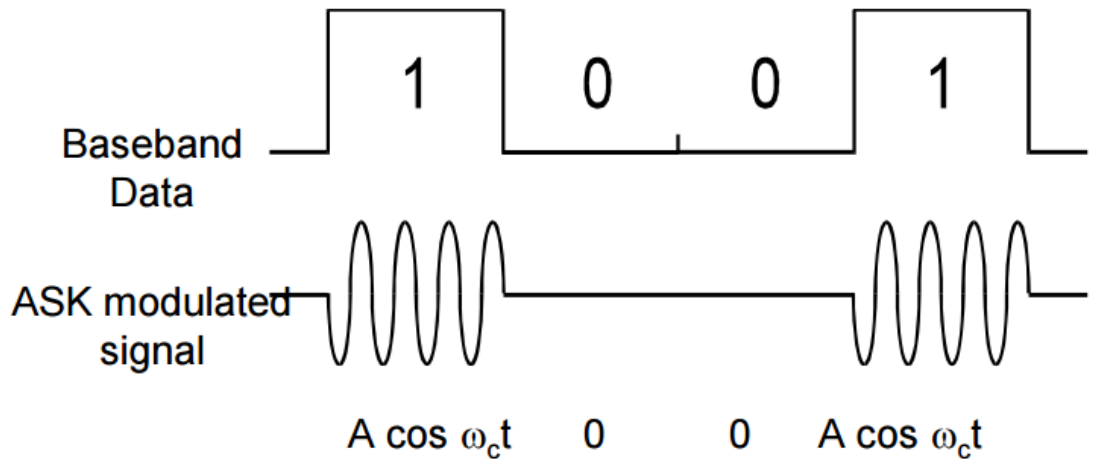
Στην FSK, το πλάτος και η φάση του διαμορφωμένου σήματος παραμένουν σταθερά, ενώ η συχνότητα έχει μια από M πιθανές τιμές (μια για κάθε σύμβολο του αλφαβήτου της διαμόρφωσης).



Εικόνα 3-3– Παράδειγμα FSK διαμόρφωσης

3.1.3 ASK (Amplitude Shift Keying)

Στην ASK, η συχνότητα και η φάση του διαμορφωμένου σήματος παραμένουν σταθερά, ενώ το πλάτος έχει μια από M πιθανές τιμές.



Εικόνα 3-4– Παράδειγμα ASK διαμόρφωσης

Γενικά, στα σύγχρονα ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα, η ASK δεν χρησιμοποιείται, παρά μόνο σε υβριδικές μορφές, δηλαδή σε συνδυασμό με PSK και FSK [4].

3.1.4 M-QAM (M-Quadrature Amplitude Modulation)

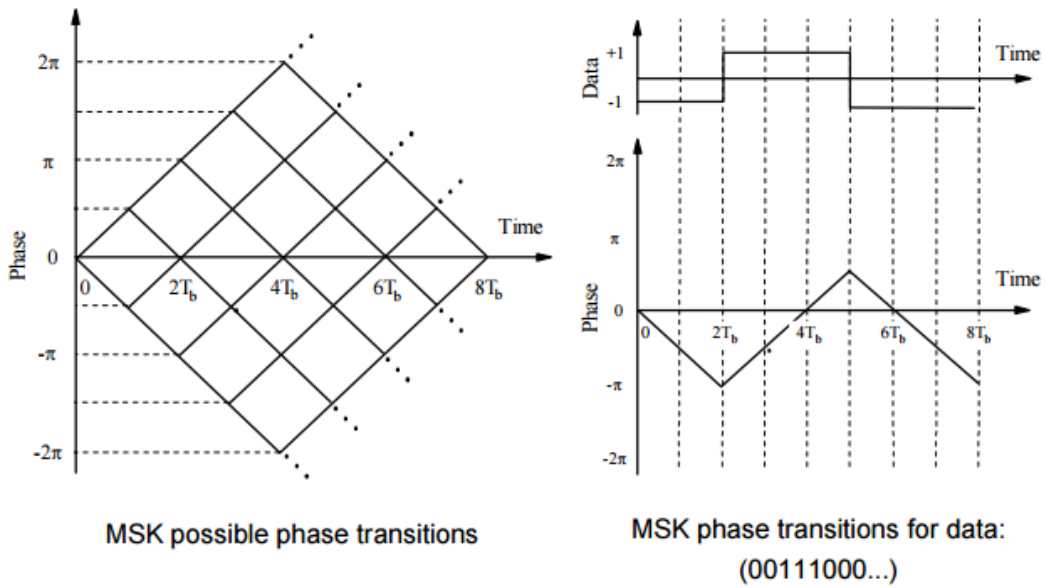
Η διαμόρφωση αυτή αποτελεί υβριδική μορφή των PSK και ASK, όπου τα ψηφιακά σύμβολα του αλφαβήτου έχουν διαφορετικά πλάτη και φάσεις. Ισοδύναμα μπορεί να θεωρηθεί ως δύο διαμορφώσεις πλάτους, που οι φάσεις τους παρουσιάζουν διαφορά 180 μοιρών, δηλαδή πραγματοποιούνται σε δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες, εξ ου και το όνομα της διαμόρφωσης. Το διάγραμμα αστερισμού ποικίλει ανάλογα το μέγεθος του αλφαβήτου και των ποιων ψηφιακών συμβόλων χρησιμοποιούνται (Εικόνα 3-5) [4].



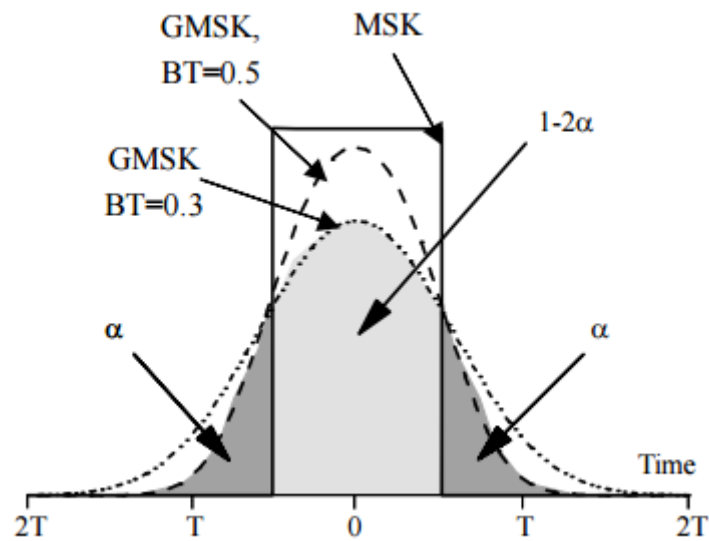
Εικόνα 3-5– Διαγράμματα αστερισμού για διαφορετικά 8-QAM

3.1.5 MSK (Minimum Shift Keying) και GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

Οι δύο αυτές τεχνικές διαμόρφωσης ανήκουν στις λεγόμενες φασματικά αποδοτικές τεχνικές. Η MSK θεωρείται δυαδική της FSK, με συχνότητες που διαφέρουν κατά το μισό της διάρκειας παλμού κάθε συμβόλου. Η GMSK είναι μια μορφή δυαδικής διαμόρφωσης που προκύπτει από την MSK. Αφού διαμορφωθεί η κυματομορφή σύμφωνα με την MSK περνάει από ένα φίλτρο μορφοποίησης παλμών Gauss, που της προσδίδει καλύτερη απόδοση ως προς την ισχύ και ως προς το φάσμα [4].



Εικόνα 3-6– Παράδειγμα MSK διαμόρφωσης



Εικόνα 3-7– Δημιουργία GMSK από MSK με εφαρμογή Gaussian φίλτρου με πλάτη 0.3 και 0.5

Η αναφορά στις διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης περιορίστηκε στους ορισμούς ώστε με τον παρακάτω πίνακα να επιτευχθεί καλύτερη εποπτεία των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων των κυριότερων εφαρμογών κάθε τεχνικής [15], [16].

Τύπος	Σύμβολα	Χωρητικότητα πληροφορίας	Φασματική απόδοση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
BASK	1	Φτωχή	Φτωχή	Απλή υλοποίηση, φτηνή	Όχι φασματικά αποδοτική τεχνική, πιο επιρρεπής σε θόρυβο, λειτουργεί μόνο σε γραμμική περιοχή
BFSK	1	Καλύτερη της BASK	Όχι αποδοτική	Απλή υλοποίηση, φτηνή	Πολύπλοκη κατασκευή παραλήπτη
BPSK	2	Διπλή της BFSK	Χρησιμοποιείται για γρήγορη μεταφορά δεδομένων	Απλή υλοποίηση, συμπαγής τεχνική, χρησιμοποιείται κυρίως σε δορυφορικές εφαρμογές	Μη αποδοτική χρήση φάσματος
QPSK	4	Διπλή της BFSK	Υψηλή απόδοση	Διπλάσια πληροφορία στο ίδιο φάσμα, πιο αποδοτική από την BPSK	Πολύπλοκη κατασκευή παραλήπτη
MSK	4	Ίση της QPSK	Η εκτός ζώνης ισχύς πολύ χαμηλότερη της QPSK	Φασματικά αποδοτική και εύκολη υλοποίηση, ομαλή μεταβολή φάσης σε σχέση με QPSK	Το φάσμα δεν είναι αρκετά συμπαγές
GMSK	4	Ίση με MSK	Πολύ καλή	Φασματικά αποδοτική, χρησιμοποιείται στην GSM τεχνολογία	Υψηλή διασυμβολική παρεμβολή
16-QAM 64-QAM	16 64	Υψηλότερη από τις άλλες	Καλύτερη από τις άλλες	Υψηλή φασματική απόδοση, μικρή ευαισθησία σε λάθη συγχρονισμού,	Ευάλωτη στο φαινόμενο Doppler, μη αποδοτική από άποψη ισχύος

Πίνακας 3-1–Συγκεντρικός πίνακας χαρακτηριστικών όλων των τεχνικών διαμόρφωσης

3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Η κίνηση των δεδομένων στις ασύρματες επικοινωνίες, και συγκεκριμένα στα κυβελωτά δίκτυα, χωρίζεται σε δυο μέρη: στην κίνηση από τον σταθμό βάσης προς τα τερματικά (downlink) και από τα τερματικά προς τον σταθμό βάσης (uplink). Σε κάθε περίπτωση κίνησης οι πόροι του ασύρματου δικτύου πρέπει να μοιράζονται αποδοτικά. Στον δίαυλο downlink η κατανομή των πόρων πραγματοποιείται μέσω κατάλληλου σχήματος πολυπλεξίας. Όταν η εκπομπή διαχωρίζεται στο πεδίο του χρόνου προκύπτει η πολυπλεξία TDM (Time Division Multiplexing) αντίστοιχα κατά τον διαχωρισμό στο πεδίο της συχνότητας προκύπτει η πολυπλεξία FDM (Frequency Division Multiplexing) και στο πεδίο του κώδικα CDM (Code Division Multiplexing). Αντιστρόφως, στον δίαυλο uplink επιλέγεται κατάλληλο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης. Ως πολλαπλή πρόσβαση ορίζεται η ταυτόχρονη πρόσβαση στους ίδιους πόρους από πολλούς χρήστες και αφορά ασύρματα συστήματα που λειτουργούν στην ίδια γεωγραφική περιοχή και ζώνη συχνοτήτων [13].

3.2.1 FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Κατά την FDMA οι χρήστες διαχωρίζονται στο πεδίο της συχνότητας καθώς μεταδίδουν σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες μέσω καναλιών σταθερού εύρους ζώνης. Τα κριτήρια για την επιλογή του πλήθους και της κατανομής των καναλιών είναι κυρίως η αποφυγή της παρεμβολής και η επάρκεια εύρους ζώνης για την υποστήριξη των ρυθμών μετάδοσης των τερματικών. Μεταξύ των καναλιών συνηθίζεται να μεσολαβούν ζώνες προστασίας ώστε να αντιμετωπίζονται οι ατέλειες των φίλτρων, η παρεμβολή γειτονικού διαύλου και η φασματική εξάπλωση λόγω Doppler [13]. Η FDMA αποτελεί την βάση της τεχνικής OFDMA, η οποία αποτελεί σημαντικό κομμάτι των δικτύων τέταρτης γενιάς. Στην τεχνική OFDMA θα γίνει αναλυτική αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο.

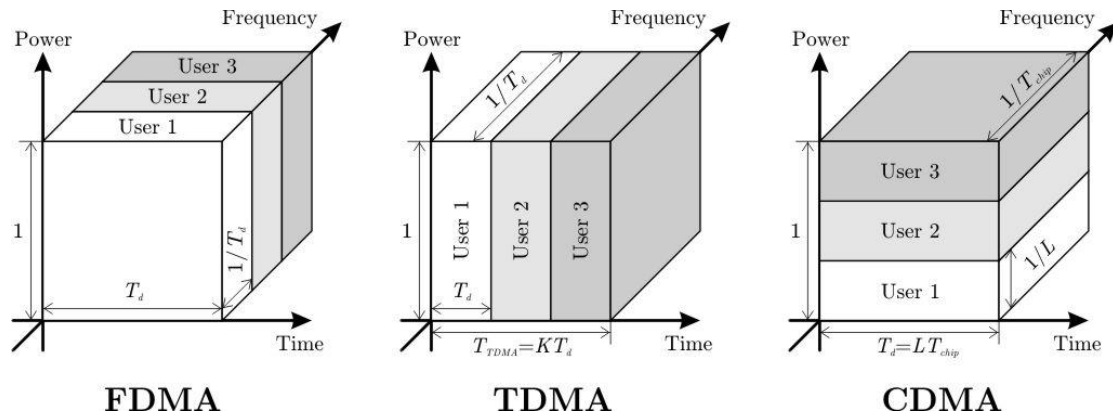
3.2.2 TDMA (Time Division Multiple Access)

Στην TDMA οι χρήστες διαχωρίζονται στο πεδίο του χρόνου καθώς σε κάθε έναν από αυτούς εκχωρούνται κατά κυκλικό τρόπο χρονοσχιμές. Επειδή κάθε χρονοσχιμή καταλαμβάνει ολόκληρο το εύρος ζώνης του συστήματος, πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια για τη μείωση των ενδοσυστημικών παρεμβολών. Η TDMA μέσω της κυκλικότητας εκχώρησης των χρονοσχιμών προσφέρει απλοποίηση των βοηθητικών λειτουργιών, όπως την εκτίμηση διαύλου, και πιο εύκολη απόδοση διαφορετικών ειδών ποιότητας υπηρεσίας σε σχέση με την FDMA. Από την άλλη όμως απαιτεί δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης, μιας και δεν μεταδίδει συνέχεια, και μεγαλύτερη προσοχή στον συντονισμό των χρηστών [13].

3.2.3 CDMA (Code Division Multiple Access)

Κατά την τεχνική CDMA το σήμα πληροφορίας πολλαπλασιάζεται με μια μοναδική ακολουθία ψηφίων (κώδικας). Λόγω του πολλαπλασιασμού αυτού, το εύρος ζώνης του τελικού σήματος αποτελεί πολλαπλάσιο του αρχικού, πράγμα που φαίνεται μη αποδοτικό, όμως αποκτά σημαντικά πλεονεκτήματα όταν το απλωμένο αυτό φάσμα χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από πολλούς χρήστες. Όλοι οι χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα, στο ίδιο φάσμα και ξεχωρίζουν μεταξύ τους από τον μοναδικό κώδικα

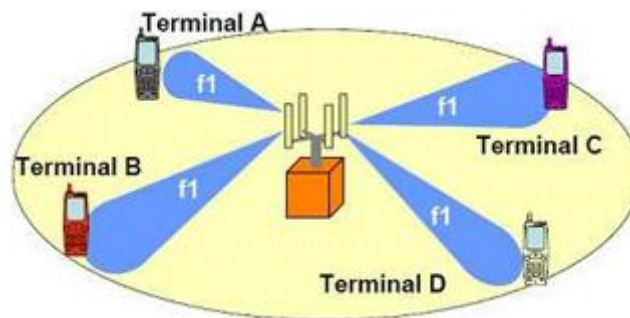
τους. Αυτό βέβαια δημιουργεί θέματα πολυπλοκότητας ορθογωνιότητας όταν το πλήθος των χρηστών είναι πολύ μεγάλο [13].



Εικόνα 3-8– FDMA,TDMA και CDMA

3.2.4 SDMA (Space Division Multiple Access)

Η πολλαπλή πρόσβαση SDMA αξιοποιεί το πεδίο του χώρου για να εξυπηρετήσει πολλαπλούς χρήστες μέσω κατευθυντικών κεραιών. Η υλοποίηση αυτή γίνεται στα κυψελωτά μέσω χωρισμού της κυψέλης σε N τομείς κάλυψης $360/N$ μοιρών. Τότε προκύπτει σε κάθε τομέα υψηλότερο κέρδος κατευθυντικής κεραιάς και μικρότερη διατομεακή παρεμβολή. Η εκχώρηση των εντός τομέα μπορεί να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε άλλη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης. Η υλοποίηση SDMA μπορεί να βασισθεί σε τεχνικές έξυπνων κεραιών, όπως θεωρούνται οι MIMO κεραιές, μια τεχνική που χρησιμοποιείται ιδιαίτερος στα δίκτυα τέταρτης γενιάς [13].

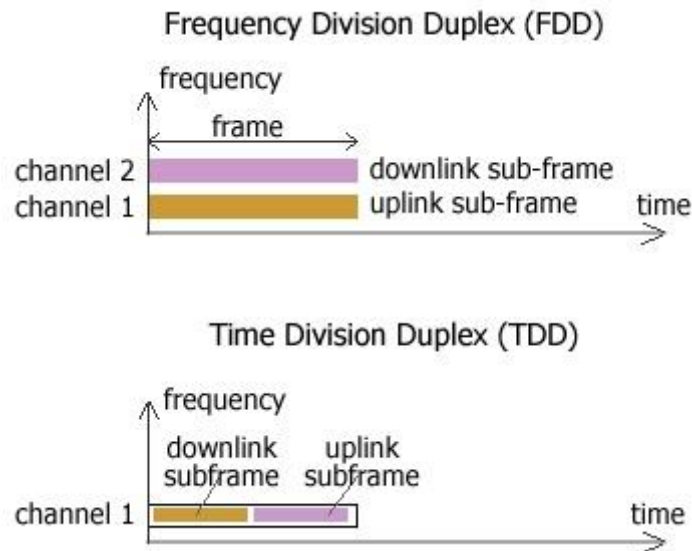


Εικόνα 3-9– SDMA τεχνική

3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ένα σύστημα πολλαπλών χρηστών περιλαμβάνει τις μεταδόσεις downlink και uplink. Στην μετάδοση downlink επιτυγχάνεται σχετικά εύκολα συγχρονισμός αφού αποτελεί υπέρθεση των επιμέρους σημάτων που αποστέλλονται από τον ίδιο πομπό προς πολλαπλούς δέκτης. Αντιθέτως όμως η μετάδοση uplink απαιτεί σωστό συγχρονισμό μεταξύ χρηστών και περιορισμένη ισχύ για την αποτροπή προβλημάτων. Στην γενική περίπτωση δεν είναι εφικτή η εκπομπή και λήψη στην ίδια ζώνη συχνοτήτων λόγω της αμοιβαίας παρεμβολής που προκαλούν οι δύο μεταδόσεις. Επομένως τα αμφίδρομα συστήματα θα πρέπει να διαχωρίζουν τις μεταδόσεις με τρόπο που τις καθιστά ορθογώνιες ώστε να μην

παρεμβάλουν η μία στην άλλη, όπου η τεχνική αυτή ονομάζεται τεχνική αμφιδρόμησης. Ο διαχωρισμός γίνεται συνήθως στο πεδίο της συχνότητας (FDD) ή στο πεδίο του χρόνου (TDD) [13].



Εικόνα 3-10– TDD και FDD τεχνικές αμφιδρόμησης

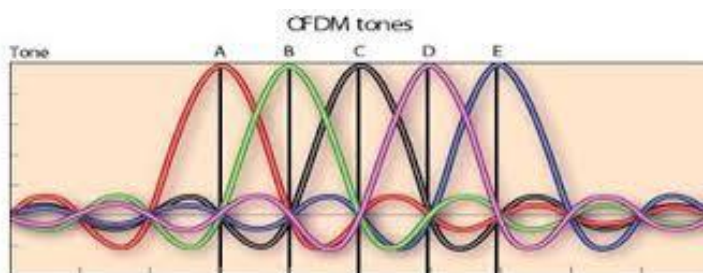
Η FDD αποτελεί συνηθέστερη τεχνική αμφιδρόμησης και απαιτεί την εκχώρηση δύο διακριτών ζωνών συχνότητας για της μεταδόσεις uplink και downlink. Κύριο μειονέκτημα της είναι η μη αποδοτική αξιοποίηση του φάσματος καθώς δεσμεύει εύρος ζώνης και για τις δύο κατευθύνσεις, ιδιαιτέρως αν αναλογιστούμε το πόσο ασύμμετρη είναι η επικοινωνία. Λύση στο παραπάνω πρόβλημα δίνει η TDD που αναθέτει διαφορετικές χρονοσχισμές σε κοινή φασματική ζώνη, προσδίδοντας καλύτερη διαχείριση του φάσματος αλλά μεγαλύτερο κίνδυνο διασυμβολικής παρεμβολής [13].

4 OFDM ΚΑΙ OFDMA

Οι τεχνικές OFDM και OFDMA αποτελούν πολύ σημαντικό κομμάτι τις τεχνολογίας της τέταρτης γενιάς δικτύων τηλεπικοινωνίας, έχοντας ενσωματωθεί στα εξεταζόμενα πρωτόκολλα 802.11x (Wi-Fi), 802.16x (WiMAX), LTE και μαζί με την τεχνική MIMO αποτελούν το κοινό βασικό στοιχείο για την επίτευξη της ετερογένειας. Για αυτό τον λόγο τους δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα σε σχέση με τις προαναφερόμενες τεχνικές του προηγούμενου κεφαλαίου.

4.1 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Η τεχνική OFDM αποτελεί συνδυασμό διαμόρφωσης και πολυπλεξίας. Η πολυπλεξία συνήθως αναφέρεται σε ανεξάρτητα σήματα, αλλά στην περίπτωση της OFDM, τα σήματα που πολυπλέκονται αποτελούν υποσύνολα του αρχικού σήματος [17]. Πιο συγκεκριμένα το προς μετάδοση ευρυζωνικό σήμα διαιρείται σε μεγάλο αριθμό παράλληλων σημάτων στενής ζώνης. Σε σύγκριση με την FDM, η τεχνική OFDM επιτυγχάνει εξοικονόμηση φάσματος, αφού τα υποκανάλια είναι αλληλοκαλυπτόμενα (Εικόνα 4-1). Η αλληλοκάλυψη των καναλιών επιτρέπεται, με την προϋπόθεση ότι μεταξύ τους θα είναι ορθογώνια. Η ορθογωνιότητα εξασφαλίζει ότι στα σημεία όπου το φάσμα ενός υποκαναλιού παρουσιάζει κορυφή, το φάσμα των γειτονικών υποκαναλιών παρουσιάζει μηδενισμό [4].



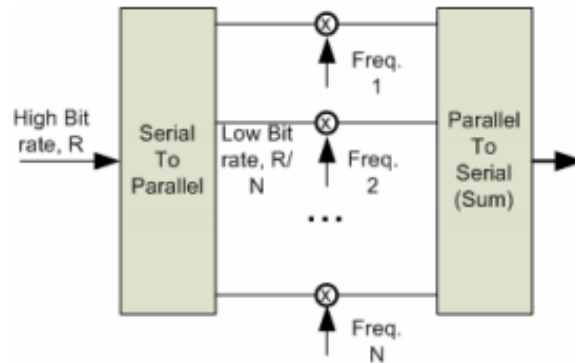
Εικόνα 4-1– Υποκανάλια OFDM

Για να ισχύει αυτό, θα πρέπει τα υποκανάλια να έχουν φέρουσες συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας βασικής συχνότητας, Εικόνα 4-2. Όταν υπάρχει σφάλμα συγχρονισμού, τότε η συνθήκη ορθογωνιότητας δεν ισχύει και εμφανίζεται αλλοίωση του σήματος. Αυτός είναι ο λόγος που συστήματα βασιζόμενα στην τεχνική OFDM είναι ευαίσθητα σε σφάλματα συγχρονισμού και απαιτείται η εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών για την διόρθωση αυτών των σφαλμάτων [4].

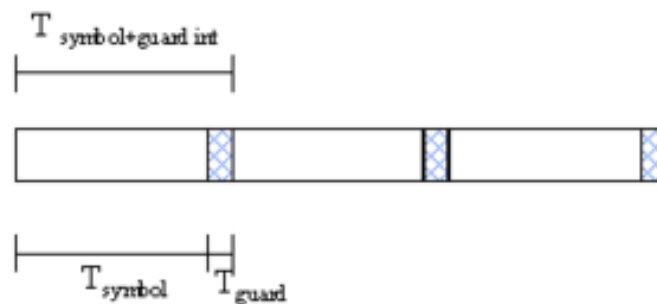
Η πληροφορία αφού κωδικοποιηθεί και διαμορφωθεί, εισέρχεται σε έναν μετατροπέα σειράς /παράλληλης, οδηγείται σε μια συστοιχία N μικτών και στην συνέχεια οι έξοδοι των μικτών αθροίζονται, για να προκύψει το τελικό OFDM σήμα. Όπως έχει αποδειχτεί [18], η ίδια διάταξη μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση IFFT (Inverse Fast Fourier Transform).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των τεχνικών παράλληλης μετάδοσης είναι ότι η διάρκεια συμβόλου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα σειριακά συστήματα, γεγονός που επιτρέπει την χρήση χρονικών διαστημάτων φύλαξης μεταξύ διαδοχικών

συμβόλων, Εικόνα 4-3. Η προσθήκη αυτή προστατεύει το σήμα από την διασυμβολική παρεμβολή. Από την άλλη πλευρά το διάστημα φύλαξης είναι ένα χρονικό διάστημα που δεν μεταδίδεται πληροφορία, συνεπώς υποβιβάζεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων [4].

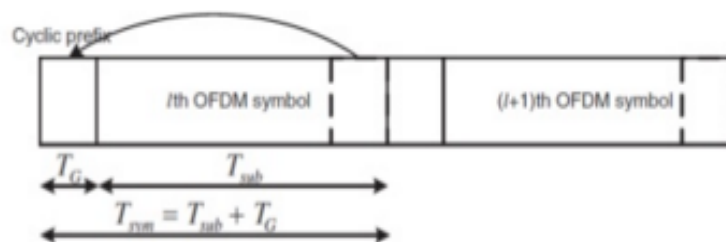


Εικόνα 4-2– Δομικό διάγραμμα με παράλληλα ορθογωνική μετάδοση



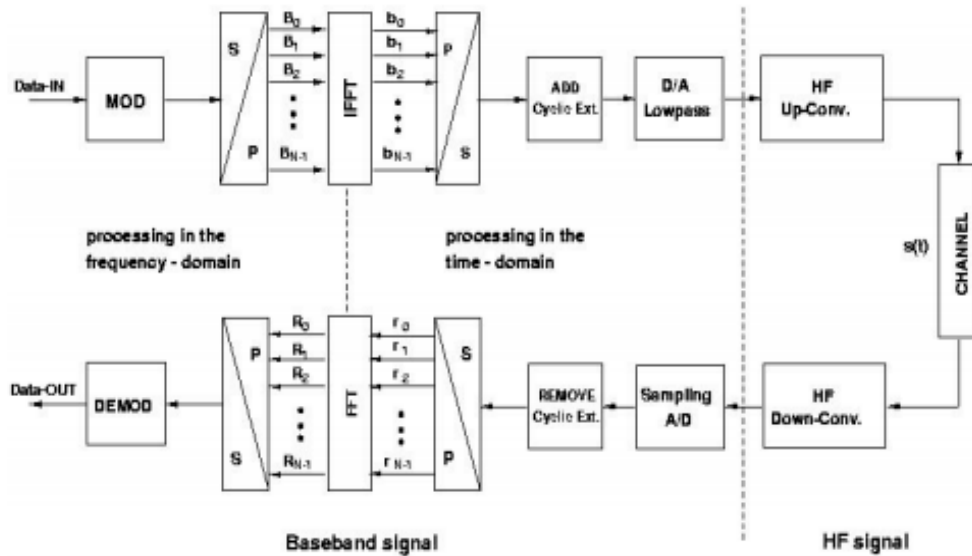
Εικόνα 4-3– Παράδειγμα διαστήματος φύλαξης

Κατά την διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, ο δέκτης απορρίπτει όποια σήματα λαμβάνει. Ο πομπός μπορεί να μην εκπέμπει σήμα κατά την διάρκεια του διαστήματος φύλαξης, αλλά σε ένα σύστημα OFDM, ο πομπός εκπέμπει ένα τμήμα του εκπεμπόμενου συμβόλου και συγκεκριμένα μια κυκλική επέκταση του. Έτσι το διάστημα φύλαξης καταλαμβάνεται από ένα τμήμα του προς μετάδοση συμβόλου το οποίο δημιουργείται με την μορφή κυκλικού προθέματος (CP), το οποίο επιτρέπει την πραγματοποίηση της ισοστάθμισης στο δέκτη μέσω μιας απλής μιγαδικής διαίρεσης [4] και μειώνοντας την επίδραση των διαλείψεων λόγω της συχνό-επιλεκτικής συμπεριφοράς του διαύλου[17].



Εικόνα 4-4– OFDM σύμβολο και κυκλικό πρόθεμα

Η υλοποίηση μιας OFDM σε δομικό διάγραμμα είναι της παρακάτω μορφής (Εικόνα 4-5) [19]:

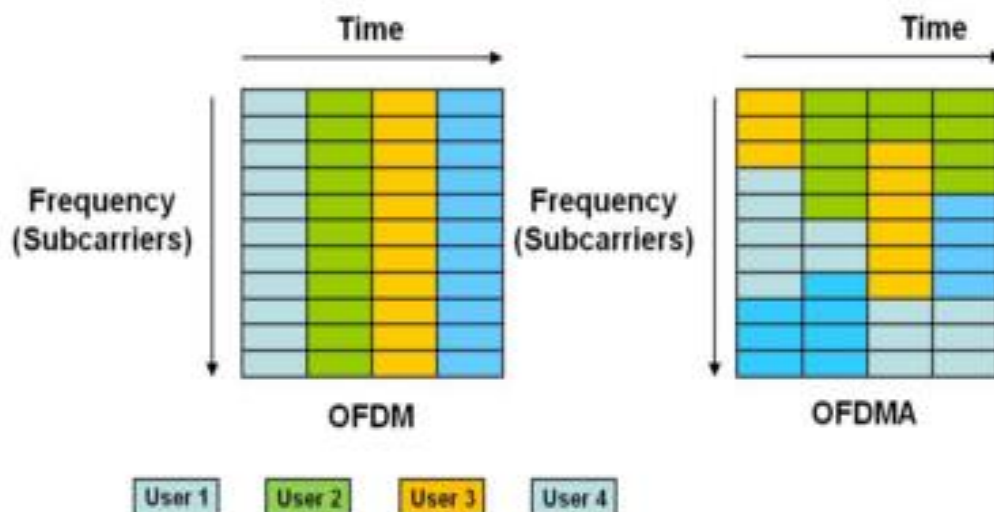


Εικόνα 4-5– Δομικό διάγραμμα OFDM

Το προς μετάδοση σήμα αφού κωδικοποιηθεί και διαχωριστεί σε πακέτα, διαμορφώνεται ψηφιακά και μετατρέπεται από σειριακό σε παράλληλο ώστε να τροφοδοτηθεί στην IFFT. Στην έξοδο του IFFT έχουμε ξανά μετατροπή από παράλληλο σε σειριακό και πρόσθεση του CP το οποίο αφαιρείται στον δέκτη. Στην συνέχεια ακολουθεί η αντίστροφη διαδικασία μέχρι να φτάσουμε στο σήμα στην αρχική του μορφή, στην ιδανική περίπτωση.

4.2 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

Η OFDMA αποτελεί επέκταση της OFDM κατά την οποία σε κάθε χρήστη εκχωρείται μόνο ένα υποσύνολο των διαθέσιμων υποκαναλιών σε συγκεκριμένες χρονοσχισμές [4]. Ενώ το σύνολο των διαθέσιμων υποκαναλιών καθορίζεται από την OFDM, το ποιο υποσύνολο εκχωρείται σε κάθε χρήστη καθορίζεται από την OFDMA [13]. Ουσιαστικά αποτελεί μια συνδυασμένη εφαρμογή των τεχνικών FDMA και TDMA αφού στον κάθε χρήστη αποδίδονται διαφορετικά φέροντα σε διαφορετικές χρονοσχισμές.



Εικόνα 4-6– OFDM και OFDMA τεχνικές

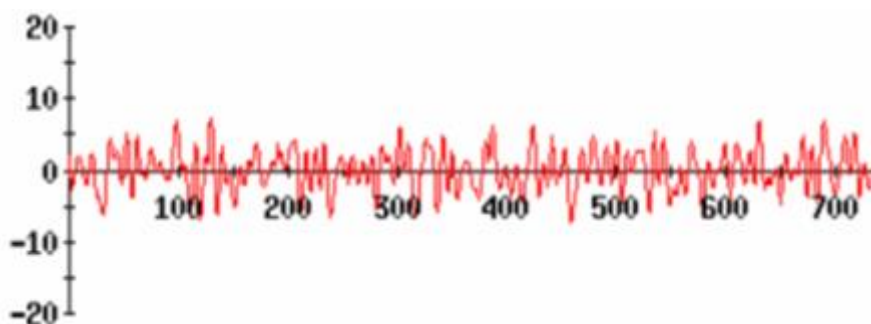
Η πρόσβαση OFDMA αποσκοπεί στην τυχαιοποίηση της χρήσης του διαύλου και την μεσοστάθμιση των παρεμβολών. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτυγχάνονται μέσω της τεχνικής της μεταπήδησης συχνότητας, δηλαδή της κατανομής υποκαναλιών σε κάθε χρήστη αντίστοιχα προς μια ψευδοτυχαία ακολουθία μεταπήδησης που χαρακτηρίζει κάθε χρήστη κατά τυχαίο τρόπο. Οι ακολουθίες που χρησιμοποιούνται είναι και αυτές ορθογώνιες [13].

Πλεονεκτήματα της OFDMA που την έκαναν κατάλληλη για τα συστήματα τέταρτης γενιάς:

- Σε κάθε κυψέλη οι χρήστες λειτουργούν σε διαφορετικά υποκανάλια οπότε μηδενίζεται η πιθανότητα εμφάνισης παρεμβολής γειτονικών διαύλων [13].
- Οι ακολουθίες μεταπήδησης δημιουργούνται με τέτοιο τρόπο ώστε χρήστες σε διαφορετικές κυψέλες να παρεμβάλουν μεταξύ τους μόνο για μικρό χρονικό διάστημα μειώνοντας την επίδραση των ομοιοδιαυλικών παρεμβολών [13].
- Προσφέρεται δυνατότητα ήπιας διαπομπής δύο ειδών, είτε διατηρώντας το ίδιο σύνολο υποκαναλιών και ακολουθίας μεταπήδησης σε δύο κυψέλες, είτε με διαφορετικό σύνολο υποκαναλιών [13].
- Με την χρήση των CP και IFFT εξαφανίζονται οι διασυμβολικές παρεμβολές [20].
- Οι πομποδέκτες είναι πιο απλοί στην σχεδίαση χάρη στη χρήση FFT και IFFT [20].
- Με τον διαχωρισμό του εύρους ζώνης σε υποκανάλια στενής ζώνης, τυχαιοποιούνται τα λάθη από τις διαλείψεις, μετατρέποντας το κανάλι σε κανάλι με επίπεδες διαλείψεις [20].

Η OFDMA, παρόλα τα πλεονεκτήματά της έχει και κάποια μεγάλα μειονεκτήματα: Ένα από αυτά αποτελεί η μεγάλη διακύμανση του πλάτους του OFDMA σήματος, δηλαδή ο μεγάλος λόγος PAR (Peak-to-Average Ratio). Το φαινόμενο αυτό

δημιουργείται από την φύση του OFDMA σήματος που αποτελεί άθροισμα πολλών σημάτων στενής ζώνης τα οποία ποικίλουν, θυμίζοντας θόρυβο στην μορφή του (Εικόνα 4-7).



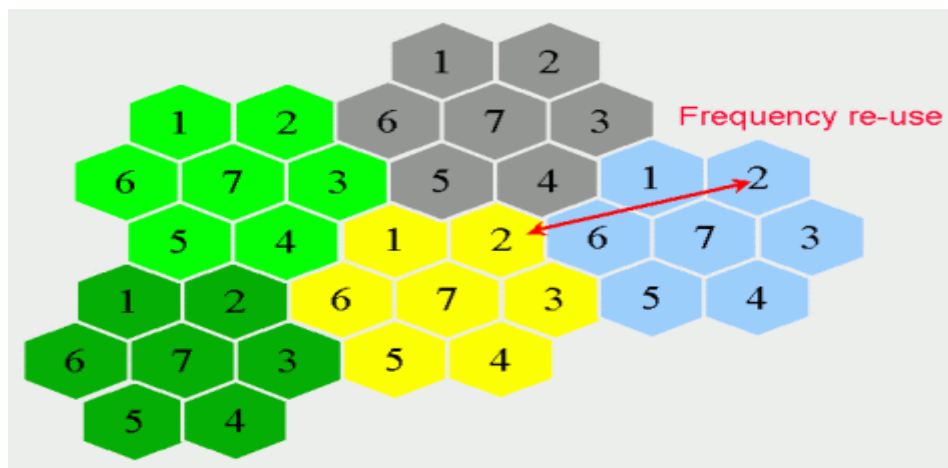
Εικόνα 4-7– Μορφή OFDMA σήματος στο πεδίο του χρόνου

Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αύξηση του κόστους της OFDMA, καθώς απαιτούνται καλύτεροι RF ενισχυτές, που αποτελούν και το πιο ακριβό κομμάτι του υλικού [20].

Άλλα μειονεκτήματα της OFDMA είναι η ευαισθησία σε θέματα συγχρονισμού και σε ομοιοδιαυλικές παρεμβολές, λόγω του πόσο κοντά είναι φασματικά τα χωριζόμενα σήματα στενής ζώνης. Τρόπους μείωσης των ομοιοδιαυλικών παρεμβολών, οπότε και αποδοτική διαχείριση των διαθέσιμων ραδιοπόρων, εξετάζονται στην συνέχεια.

5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΑΥΛΩΝ

Ένα σημαντικό ζήτημα, που σχετίζεται με τη χρήση των ασύρματων πόρων σε ένα κυψελωτό σύστημα, είναι το πώς πρέπει να κατανεμηθούν οι πόροι, ώστε να επιτευχθεί η υψηλότερη απόδοση φάσματος. Το ζήτημα αυτό λύνεται από τις τεχνικές απόδοσης των διαύλων που προσπαθούν να διαιρέσουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε υποσύνολα διαύλων που δεν παρεμβάλλουν μεταξύ τους. Ωστόσο αν οι αποστάσεις των υποσυνόλων δεν είναι αρκετά μεγάλες, δημιουργούνται παρεμβολές που επηρεάζουν την ποιότητα της επικοινωνίας. Η βελτίωση της απόδοσης του διαθέσιμου φάσματος επιτυγχάνεται με την κυψελωτή δομή, την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και τις τεχνικές βελτίωσης φασματικής απόδοσης. Η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων είναι δυνατή λόγω της μορφής του κυψελωτού συστήματος και των απωλειών διάδοσης που εμφανίζονται στο ασύρματο περιβάλλον.



Εικόνα 5-1- Κυψελωτό δίκτυο και ομάδες επαναχρησιμοποίησης συχνότητας

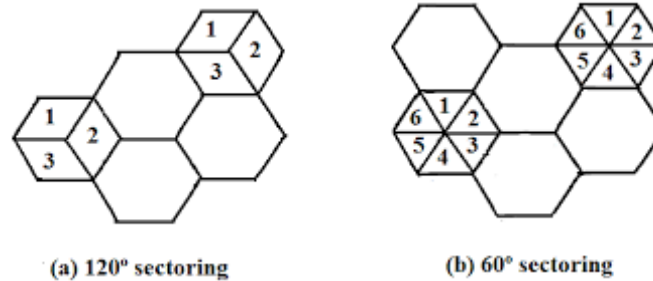
Άλλο ζήτημα όμως αποτελεί και το πώς θα μοιραστούν οι διαθέσιμοι πόροι ανά χρήστη ώστε να έχουμε ελαχιστοποίηση ισχύος, αύξηση ρυθμού απόδοσης και δικαιοσύνη μεταξύ των χρηστών. Για αυτούς τους λόγους στην συνέχεια εξετάζονται τεχνικές διαμοιρασμού των διαθέσιμων ραδιοπόρων, οι οποίες υπάρχουν σε πολύ μεγάλο αριθμό στην βιβλιογραφία και σε διαφορετικά είδη κατηγοριοποίησης, καθώς και τεχνικές βελτίωσης φασματικής απόδοσης.

5.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Υπάρχουν πολλές τεχνικές βελτίωσης της φασματικής απόδοσης των κυψελωτών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων της τομεοποίησης των κυψελών, της διάσπασης τους και της χρήσης έξυπνων κεραιών. Η φασματική απόδοση των συστημάτων είναι αντιστρόφως ανάλογη της έκτασης των κυψελών. Βέβαια με την μείωση του μεγέθους των κυψελών, έχουμε επιδείνωση του προβλήματος των γρήγορων μεταπομπών. Πολλές φορές αντί να μειώσουμε το μέγεθος των κυψελών, μειώνουμε το μέγεθος των ομάδων επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων, αυξάνοντας την επαναχρησιμοποίηση [4].

5.1.1 Τομεοποίηση Κυψελών

Η τομεοποίηση κυψελών είναι μια πολύ κοινή μέθοδος για τον περιορισμό των ομοδιαυλικών παρεμβολών. Κάθε κυψέλη χωρίζεται σε τομείς με χρήση κατευθυντικών κεραιών. Συνηθέστερες εφαρμογές είναι τομείς των 60° και των 120° , αν και υπάρχουν υλοποιήσεις με 90° .

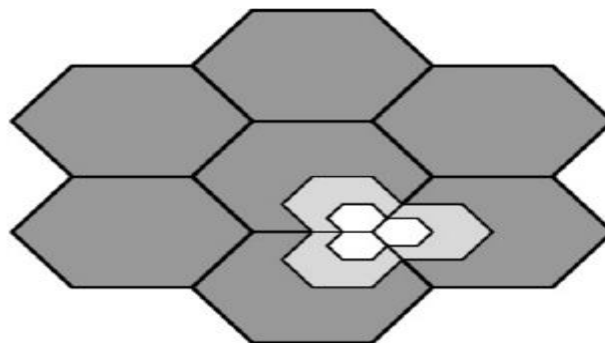


Εικόνα 5-2– Παραδείγματα τομεοποίησης κυψελών για 120° και 60°

Οι συχνότητες των φερόντων, που έχουν αποδοθεί στην κυψέλη, χωρίζονται σε ομάδες ανά τομέα, με προφανές πλεονέκτημα την μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών. Άλλο πλεονέκτημα που προσφέρει η συγκεκριμένη τεχνική είναι αυξημένο κέρδος σε σχέση με τις ομοιοκατευθυντικές κεραιές. Το κόστος που προκύπτει από την τομεοποίηση είναι ο αυξανόμενος αριθμός κεραιών στον σταθμό βάσης, ο αυξανόμενος αριθμός μεταπομπών και μειωμένος βαθμός χρησιμοποίησης των διαύλων, λόγω της διαίρεσης τους ανά τομέα [4].

5.1.2 Διάσπαση Κυψελών

Κατά την τεχνική αυτή, χωρίζουμε την κυψέλη σε μικρότερες κυψέλες, δημιουργώντας νέους σταθμούς βάσης σε προκαθορισμένες περιοχές της αρχικής κυψέλης, με μειωμένη εκπεμπόμενη ισχύ και συνεπώς μικρότερη ακτίνα κάλυψης, ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος με αυξημένη επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Με την συνεχή διάσπαση κυψελών είναι δυνατή η αντιμετώπιση αυξημένου φορτίου τηλεπικοινωνιακής κίνησης [4].



Εικόνα 5-3– Παράδειγμα διάσπασης κυψελών

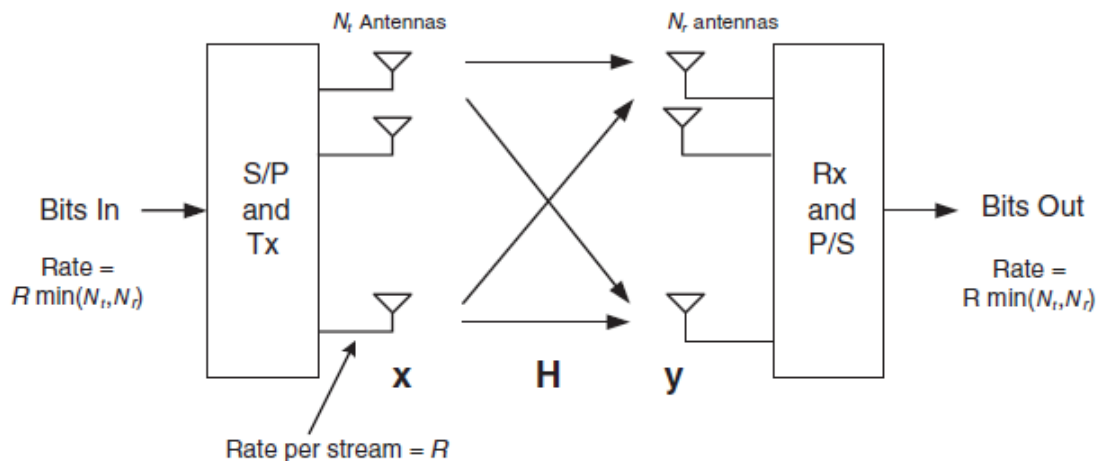
Αν θεωρήσουμε ότι οι νέες κυψέλες έχουν μισή ακτίνα κάλυψης από της αρχικές, τότε η περιοχή που καταλαμβάνει η νέα κυψέλη είναι περίπου το $\frac{1}{4}$ της αρχικής. Άρα με τη διάσπαση των κυψελών απαιτούνται επιπλέον ομάδες για την κάλυψη της περιοχής και συνεπώς προκύπτει μεγαλύτερος αριθμός διαύλων, δηλαδή αύξηση της

χωρητικότητας. Στην πράξη χωρίζουμε τις διαθέσιμες συχνότητες σε δύο ομάδες, με μια ομάδα να αποδίδεται στις μεγαλύτερες αρχικές κυψέλες και μια στις μικρές. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει μικρή απόδοση διαύλων [4]. Βέβαια αυτό επιλύεται αν στις μικρότερες κυψέλες χρησιμοποιήσουμε άλλη υπηρεσία, όπως στην παρούσα εργασία, με διαφορετικό εύρος ζώνης από αυτό της υπηρεσίας των μεγαλύτερων κυψελών.

5.1.3 Έξυπνες Κεραίες-MIMO

Η χρήση πολλαπλών κεραιών επιτρέπει την δημιουργία ανεξάρτητων καναλιών στον πεδίο του χώρου εφαρμόζοντας διαφορική λήψη χώρου, χωρίς την χρήση επιπλέον εύρους ζώνης. Πέρα από την διαφορική λήψη χώρου, οι πολλαπλές κεραιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τεχνικές beamforming και χωρικής πολυπλεξίας. Χωρική πολυπλεξία ονομάζεται η τεχνική κατά την οποία το σήμα πολυπλέκεται σε ανεξάρτητα και με ξεχωριστή κωδικοποίηση σήματα πληροφορίας, ονομαζόμενα streams, ένα για κάθε μια από τις πολλαπλές κεραιές [4]. Beamforming είναι η τεχνική, κατά την οποία οι πολλαπλές κεραιές συνδυάζουν κατά τέτοιο τρόπο τις κατευθυντικότητές τους ώστε σε ένα συγκεκριμένο σημείο να έχουμε επιθυμητή αρνητική ή θετική συμβολή [13]. Όταν πολλαπλές κεραιές χρησιμοποιούνται από την πλευρά του πομπού αλλά και του δέκτη, ανεξάρτητα από τις τεχνικές που εφαρμόζονται, αναφερόμαστε σε σύστημα MIMO (Multiple Input Multiple Output). Τα συστήματα MIMO προσφέρουν πληθώρα πλεονεκτημάτων [20]:

- Αύξηση στην αξιοπιστία του συστήματος (Μείωση BER)
- Αύξηση ρυθμού απόδοσης και χωρητικότητας συστήματος
- Αύξηση της περιοχής κάλυψης
- Μείωση της απαιτούμενης ισχύος εκπομπής



Εικόνα 5-4– Μορφή MIMO συστήματος

Καθώς αυξάνεται το πλήθος των κεραιών αυξάνεται και η επίδραση των θετικών που αναφέρθηκαν, όμως η αύξηση αυτή οδηγεί σε αύξηση κόστους και πολυπλοκότητας. Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος χρησιμοποιείται η Antenna Selection Technique (AST). Η AST είναι μια τεχνική επεξεργασίας σήματος που

βοηθάει στην μείωση του αριθμού των απαιτούμενων κεραιών, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την επίδοση του συστήματος στα επιθυμητά επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα η εξεταζόμενη τεχνική διαλέγει τα N καλύτερα σήματα, προερχόμενα από N κεραιές, από το πλήθος M σημάτων του συστήματος, και τα επεξεργάζεται. Έτσι προκαλείται μείωση των χρησιμοποιούμενων κεραιών από M σε N , οδηγώντας σε οικονομικότερο σύστημα ενώ παράλληλα διατηρείται το μεγαλύτερο κομμάτι των πλεονεκτημάτων ενός M -MIMO συστήματος [45].

Λόγω των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν, η MIMO τεχνική είναι πολύ δημοφιλής, έχοντας αποτελέσει σημαντικό παράγοντα προς την επίτευξη των στόχων που έχουν θέσει τα δίκτυα τέταρτης γενιάς.

5.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΑΥΛΩΝ

Με δεδομένη μια ομάδα διαύλων, που προκύπτουν από καθορισμένη φασματική περιοχή, πρέπει να αποδοθούν οι δίαυλοι και το επίπεδο ισχύος εκπομπής, έτσι ώστε για κάθε ομάδα διαύλων που αποδίδεται σε μια κυψέλη, να ικανοποιείται ένας ανεκτός λόγος φέροντος προς παρεμβολή. Το παραπάνω ζήτημα έρχονται να λύσουν οι τεχνικές απόδοσης διαύλων που μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: στην σταθερή απόδοση διαύλων (FCA), στην δυναμική απόδοση διαύλων (DCA) και στην υβριδική (HCA).

Με την FCA, σε κάθε κυψέλη αποδίδεται ένας σταθερός αριθμός διαύλων για αποκλειστική χρήση. Υπάρχει καθορισμένη σχέση μεταξύ κάθε διαύλου και κάθε κυψέλης, σε συμφωνία πάντα με τους περιορισμούς της ομοδιαυλικής παρεμβολής. Στην απλή μορφή της η FCA κατανέμει ομοιόμορφα τους διαύλους στις κυψέλες. Σε περίπτωση που όλοι οι δίαυλοι είναι κατειλημμένοι, μια νέα κλήση ή μια προσπάθεια για μεταπομπή θα απορριφθεί. Η στρατηγική αυτή μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά σε συστήματα όπως της πρώτης γενιάς αλλά δεν μπορεί σε μεγαλύτερης λόγω της έλλειψης ευελιξίας σε αναδιατάξεις του συστήματος, χειρισμού απρόβλεπτης κίνησης και διάθεσης εύρους ζώνης σύμφωνα με ζήτηση [10].

Τα σχήματα σταθερής κατανομής δεν μπορούν να πετύχουν υψηλή απόδοση φάσματος στα κυψελωτά δίκτυα, λόγω των χρονικών και χωρικών διακυμάνσεων της κίνησης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το μειονέκτημα, έχουν σχεδιαστεί σχήματα DCA, στα οποία δεν υπάρχει σταθερή σχέση μεταξύ δίαυλου και κυψέλης. Αντιθέτως όλοι οι δίαυλοι κρατούνται σε κεντρικό σημείο διάθεσης και εκχωρούνται δυναμικά στις κυψέλες καθώς ξεκινούν νέες κλήσεις στο σύστημα. Μετά το τέλος μιας κλήσης, ο δίαυλος που αποδεσμεύεται συγκαταλέγεται στους ελεύθερους διαύλους του κεντρικού σημείου διάθεσης [10]. Οι DCA τεχνικές χωρίζονται ανάλογα την κατανομή του ελέγχου σε κεντρικές, που απαιτούν πληροφορίες σε επίπεδο συστήματος, σε αποκεντρωμένες, που απαιτούν επικοινωνία μεταξύ κάποιων σταθμών βάσης, και σε πλήρως αποκεντρωμένες, που δεν υπάρχει καθόλου επικοινωνία μεταξύ σταθμών βάσης [4].

Οι τεχνικές HCA συνδυάζουν χαρακτηριστικά των δύο τεχνικών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Σε κάθε κυψέλη αποδίδεται μια σταθερή ομάδα διαύλων, αλλά μια ομάδα διαύλων κρατείται για δυναμική απόδοση από το κέντρο μεταγωγής σε περίπτωση ανάγκης. Οι τεχνικές αυτές είναι οι πιο αποδοτικές αλλά απαιτούν τεράστια υπολογιστική εργασία για την αναδιάταξη των διαύλων σε ένα μεγάλο σύστημα [4].

Άλλο τρόπο διαχωρισμού των τεχνικών απόδοσης διαύλων αποτελεί αν η απόδοση γίνεται με γνώση καναλιού ή όχι. Μιας και θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία με τεχνικές απόδοσης χωρίς γνώση καναλιού (CSI), αναφέρουμε παρακάτω πιο λεπτομερειακά τις τεχνικές με το συγκεκριμένο είδος κατηγοριοποίησης.

5.2.1 Τεχνικές Απόδοσης Ραδιοδιαύλων με CSI

Οι τεχνικές που απαιτούν CSI (Channel State Information) στην πλειοψηφία τους αποτελούν αλγόριθμους επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να χωριστούν σε αυτούς που επιλύουν το πρόβλημα ελάχιστης ισχύος και σε αυτούς που επιλύουν το πρόβλημα μέγιστου ρυθμού μετάδοσης. Οι τεχνικές αυτές είναι πολύπλοκες και για αυτόν τον λόγο εφαρμόζονται στον πομπό της κάτω ζεύξης.

Το πρόβλημα ελάχιστης ισχύος μπορεί να διατυπωθεί ως η εύρεση της κατάλληλης κατανομής καναλιών στους χρήστες ή/και του κατάλληλου επιπέδου διαμόρφωσης για κάθε αποδοθέν κανάλι έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η εκπεμπόμενη ισχύς [21]. Ο πρώτος αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για να επιλύσει το πρόβλημα αυτό χρησιμοποίησε την προσαρμοστική διαμόρφωση σε συνδυασμό με προσαρμοστική κατανομή καναλιών από τον Wong [22], με αρκετές απλοποιήσεις και χρησιμοποιώντας εξαντλητικό τρόπο επίλυσης (greedy approach). Αυτός όμως ο αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε σαν βάση από άλλες ερευνητικές ομάδες, όπως του Lin [23], που χώρισε τον αλγόριθμο σε δύο βήματα, με πρώτο βήμα την επιλογή συγκεκριμένου αριθμού καναλιών και ισχύος ανά χρήστη και το δεύτερο την επιλογή συγκεκριμένων καναλιών ανά χρήστη. Οι προαναφερθέντες αλγόριθμοι εφαρμόζονται μόνο σε μια κυψέλη, αμελώντας τις ομοδιαυλικές παρεμβολές, σε αντίθεση με τον αλγόριθμο των Pietrzyk και Janssen [24] που παρουσίασαν έναν αλγόριθμο κατάλληλο για κυψελωτό δίκτυο. Οι δημιουργοί βασίστηκαν στην ιδέα του Lin, κάνοντας όμως τις κατάλληλες τροποποιήσεις ώστε να συμπεριλαμβάνονται και οι ομοδιαυλικές παρεμβολές. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμός τους χωρίζεται σε τρία βήματα: στο πρώτο επιλέγεται ο κατάλληλος σταθμός βάσης, ενώ ταυτόχρονα διατηρείται μια λίστα με τους επικρατέστερους σε περίπτωση που ο αρχικός αποτύχει. Στο δεύτερο αποδίδονται κανάλια στον νέο χρήστη και με δεδομένη την γνώση του καναλιού ξαναμοιράζονται τα κανάλια στην κυψέλη. Στο τρίτο και τελευταίο βήμα αποδίδεται ισχύς στους χρήστες της κυψέλης του νέου χρήστη πραγματοποιώντας ταυτόχρονα προσαρμοστική διαμόρφωση και έλεγχο ισχύος. Μιας και κάθε χρήστης αιτεί μια συγκεκριμένη υπηρεσία, για να αποφευχθεί η αρνητική αλλοίωση των ομοδιαυλικών χρηστών με κάθε νέα είσοδο χρήστη, πραγματοποιείται έλεγχος ισχύος σε όλους τους ομοδιαυλικούς σταθμούς βάσης [21]. Τον παραπάνω

αλγόριθμο χρησιμοποιούμε σε μια μεταλλαγμένη μορφή του για την βάση της πλατφόρμας μας.

Στους αλγόριθμους που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης το πρόβλημα εξακολουθεί να είναι ο τρόπος διαμοιρασμού των ασύρματων πόρων. Έναν τέτοιο αλγόριθμο πρότειναν οι Rhee και Cioffi [25] με μια μερικώς βέλτιστη λύση που θεωρεί ότι η μέγιστη ισχύς ισοκατανέμεται στα κανάλια και εκμεταλλεύεται τη συνάρτηση χωρητικότητας του Shannon. Έναν άλλο αλγόριθμο πρότειναν οι Jang και Lee [26], ο οποίος χωρίζεται σε δύο βήματα: στο πρώτο καθορίζεται ένα σύνολο χρηστών που θα μπορούν να χρησιμοποιούν το κάθε κανάλι και στο δεύτερο καθορίζονται τα επίπεδα ισχύος για κάθε κανάλι έτσι ώστε να μεγιστοποιείται ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης. Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιείται η αποκλειστική χρήση καναλιών, που αποδεικνύεται να είναι και η βέλτιστη λύση σε τέτοιου είδους πρόβλημα. Στο δεύτερο βήμα χρησιμοποιείται αλγόριθμος water filling, που αποδίδει περισσότερη ισχύ σε κανάλια που παρουσιάζουν καλύτερο κέρδος. Οι Chang και Kuo [27] πρότειναν έναν αλγόριθμο ο οποίος θεωρεί γνωστό τον τρόπο απόδοσης των καναλιών εστιάζοντας στον έλεγχο ισχύος και στην προσαρμοστική διαμόρφωση. Ο αλγόριθμός αυτός χωρίζεται σε δύο βήματα: στο πρώτο βήμα επιλύεται ο αλγόριθμος maxmin για το SNR των χρηστών με άγνωστο την ισχύ του κάθε χρήστη και περιορισμό την επίτευξη μιας ελάχιστης τιμής χωρητικότητας για κάθε κανάλι. Στο δεύτερο επιλέγεται το κατάλληλο επίπεδο διαμόρφωσης με γνώμονα την μεγιστοποίηση της ρυθμοαπόδοσης του δικτύου. Οι Li και Liu [28] με την σειρά τους πρότειναν έναν αλγόριθμο με RNC (Radio Network Controller). Ο RNC λαμβάνει αποφάσεις υψηλότερου επιπέδου από αυτές του σταθμού βάσης, διότι διαθέτει συγκεντρωτικές πληροφορίες από όλους τους σταθμούς βάσης. Έτσι μοιράζει κανάλια όχι μόνο κατά χρήστη αλλά κατά σταθμό βάσης. Τέλος οι Zhang και Letaief [29] πρότειναν αλγόριθμο ο οποίος περιέχει και τεχνικές επιλογής κυψέλης. Σκοπός τους είναι η επίλυση του προβλήματος μέγιστης χωρητικότητας που θα προβλέπει πέρα από της απαιτήσεις των χρηστών και την κίνηση που αυτοί θα προκαλέσουν. Στην μια από τις τεχνικές που πρότειναν, για την επιλογή της κυψέλης, συνδυάζονται οι πληροφορίες για την ισχύ, το QoS και η κίνηση που προκαλείται από τους χρήστες ορίζοντας στον εξυπηρετητή σταθμό κάθε χρήστη ένα outage probability. Η τεχνική αυτή προσπαθεί να μειώσει την outage probability ανά κυψέλη τοποθετώντας κάθε νέο χρήστη στην σωστή για αυτόν τον σκοπό κυψέλη.

5.2.2 Τεχνικές απόδοσης ραδιοδιαύλων χωρίς CSI

Οι αλγόριθμοι της συγκεκριμένης κατηγορίας διαφοροποιούνται από τους προαναφερθέντες ως προς τον τρόπο που χειρίζονται τα φέροντα του συστήματος. Οι επόμενες τεχνικές δεν χρησιμοποιούν τη γνώση καναλιού για να αποδώσουν φέροντα, αλλά στηρίζονται σε απλές ιδέες που προκύπτουν από την παρατήρηση και την εμπειρία [21]. Για αυτόν τον λόγο και προσφέρουν απλότητα και εύκολη διαχείριση των χρηστών στο δίκτυο. Τέτοιου είδους τεχνικές δοκιμάζονται και στην πλατφόρμα μας για αυτό και θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στην κάθε μια.

5.2.2.1 Sequential Subcarrier Allocation

Η συγκεκριμένη τεχνική αποτελεί και την πιο απλή από τις εξεταζόμενες και είναι φανερό ότι μειονεκτεί σε ευφύια μιας και δεν προσφέρει μέσα αποφυγής των ομοδιαυλικών παρεμβολών. Στην τεχνική αυτή δίνονται στον χρήστη τα πρώτα N διαδοχικά, διαθέσιμα κανάλια. Αφού δοθούν τα κανάλια αφαιρούνται από την ομάδα των διαθέσιμων καναλιών, ώστε όταν ξαναζητήσει νέος χρήστης N κανάλια στην ίδια κυψέλη, θα δοθούν τα επόμενα N διαδοχικά, σε σειρά από τα προηγούμενα [30].

5.2.2.2 Coordinated Subcarrier Allocation

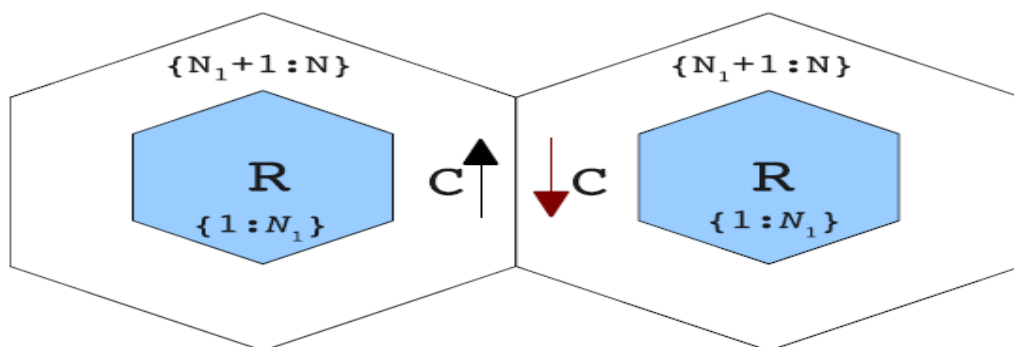
Την ιδέα αυτή εισήγαγε ο Fodor [31], η οποίος προτείνει ότι σε δυο γειτονικές κυψέλες, η μια θα αποδίδει τα κανάλια με την sequential, ενώ η άλλη με αντίστροφη sequential. Στην περίπτωση πολυκυψελωτού δικτύου, που οι σταθμοί βάσεις χαρακτηρίζονται από έναν αύξοντα αριθμό, οι κυψέλες με ζυγό αριθμό χρησιμοποιούν την sequential, και αυτές με μονό την αντίστροφη. Η τεχνική αυτή μειώνει την πιθανότητα δύο γειτονικές κυψέλες να έχουν κατειλημμένο το ίδιο πλήθος καναλιών, οπότε και τις ομοδιαυλικές παρεμβολές.

5.2.2.3 Random Subcarrier Allocation

Η παραπάνω τεχνική αποτελεί συνήθης τεχνική, η οποία χρησιμοποιήθηκε ευρέως στα δίκτυα δεύτερης γενιάς για να μετριάσει τις ομοδιαυλικές παρεμβολές [32]. Όταν ένας χρήστης ζητά N κανάλια, η τεχνική αυτή του τα δίνει με τυχαίο τρόπο από το πλήθος των διαθέσιμων καναλιών της εκάστοτε κυψέλης και στην συνέχεια τα αφαιρεί από την ομάδα των διαθέσιμων καναλιών.

5.2.2.4 Cell Splitting-Συνδυασμός sequential και random

Η συγκεκριμένη τεχνική χωρίζει την κυψέλη σε ομοκεντρικές περιοχές, όπου σε κάθε μια χρησιμοποιείται και άλλη από τις προαναφερθείσες τεχνικές. Ανάλογα το πλήθος των περιοχών χωρίζονται και τα κανάλια της κυψέλης σε ανάλογες ομάδες. Ο σταθμός βάσης αποφασίζει σε ποια περιοχή ανήκει ο χρήστης, σύμφωνα με το κέρδος καναλιού για την κεντρική συχνότητα του συστήματος [30]. Παράδειγμα χωρισμού αποτελεί ο χωρισμός σε δύο ομάδες: μια εσωτερική που χρησιμοποιεί την random και μια εξωτερική που χρησιμοποιεί την coordinated sequential (RC τεχνική) (Εικόνα 5-5).

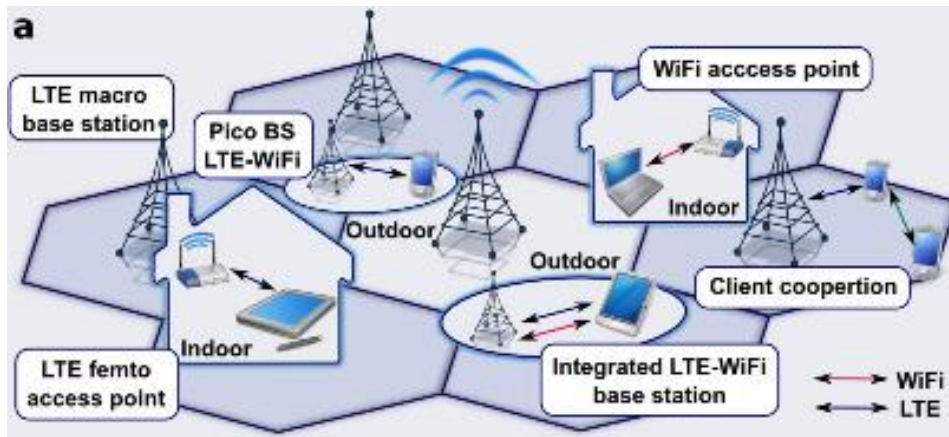


Εικόνα 5-5– Η RC τεχνική απόδοσης ραδιοπόρων

6 ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ

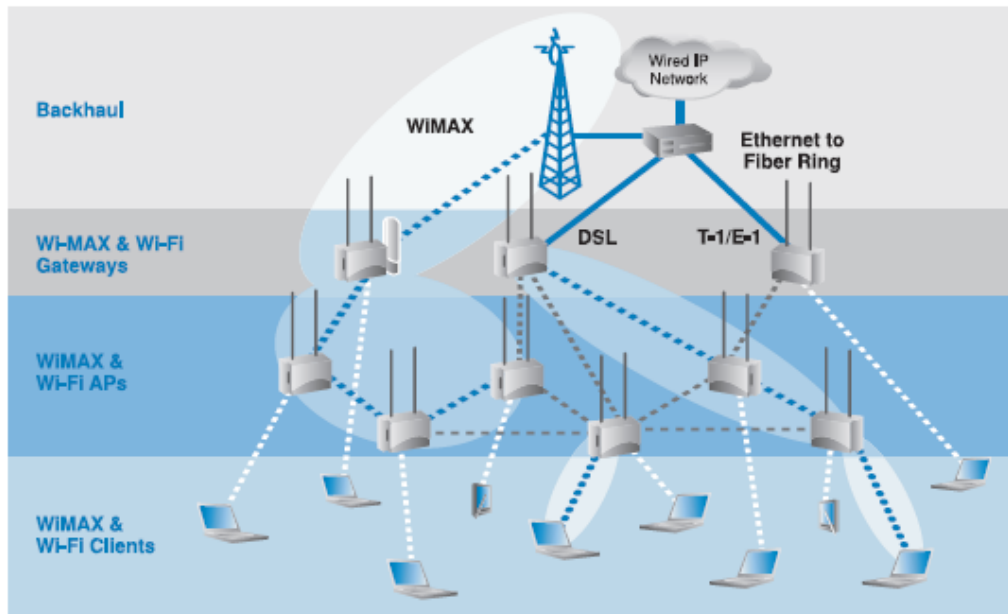
Η ραγδαία αύξηση των σύγχρονων κινητών συσκευών με δυνατότητες πρόσβασης στο διαδίκτυο, αλλά και η εξοικείωση των χρηστών με cloud υπηρεσίες και υπηρεσίες πολυμέσων κατέστησαν την ανάγκη εκσυγχρονισμού των δικτύων κινητής τηλεφωνίας περισσότερο έντονη [33]. Έτσι, λοιπόν, στη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας διεξάγονται προσπάθειες προκειμένου τα υφιστάμενα αλλά και νέα δίκτυα να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Τα σύγχρονα δίκτυα θα πρέπει, πλέον, να επιτρέπουν την πρόσβαση των χρηστών σε αυτά οποτεδήποτε, από οπουδήποτε και ανεξαρτήτου τεχνολογίας, να διαμοιράζουν αποδοτικά και δίκαια τους διαθέσιμους πόρους (ενέργεια, φάσμα, κόστος εγκατάστασης), να ικανοποιούν την κινητικότητα των χρηστών, να προσφέρουν υψηλές ταχύτητες με μικρή καθυστέρηση καθώς και την βέλτιστη απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών, και τέλος να έχουν διευρυμένη εμβέλεια.

Τα δίκτυα αυτά, εντέλει, θα εμπεριέχουν την έννοια της καθολικότητας και θα εξυπηρετούν την ομαλή συνεργασία διαφορετικών αλληλο-καλυπτόμενων τεχνολογιών αξιοποιώντας τα κοινά τους σημεία. Ουσιαστικά, τα εν λόγω δίκτυα αποτελούν την 3.5η ή 4η τεχνολογική γενιά (3.5G ή 4G) και εναλλακτικά ονομάζονται ετερογενή δίκτυα, τα οποία αποτελούν και το θέμα της παρούσης διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 6-1– Ετερογενές Δίκτυο με Wi-Fi και LTE

Στην εξέλιξη του κεφαλαίου αναλύονται τρία από τα πιο καθιερωμένα και υποσχόμενα δίκτυα για χρήση σε ετερογενή δίκτυα, τα οποία προτυποποιούνται από τα IEEE 802.11x (Wi-Fi), 802.16x (WiMAX) και 3GPP LTE πρωτόκολλα. Αναφέρεται η ιστορική εξέλιξη των LTE/WiMAX με μερική τεχνική τους περιγραφή στα πρώτα δύο υποκεφάλαια με την τελική, τεχνική σύγκριση να γίνεται στο τρίτο. Στην συνέχεια αναλύεται το Wi-Fi και συγκρίνεται με τα άλλα δύο δίκτυα, καταλήγοντας στα εξαγόμενα συμπεράσματά για την ικανή και αποτελεσματική συνεργασία των δικτύων αυτών σε ένα αποδοτικό ετερογενές δίκτυο.



Εικόνα 6-2– Ετερογενές Δίκτυο με Wi-Fi και WiMAX

6.1 LTE

Λόγω της διαρκώς αυξανόμενης απαίτησης για ευρυζωνικές υπηρεσίες με υψηλές ταχύτητες ανταλλαγής δεδομένων, η 3GPP ξεκίνησε την ανάπτυξη δύο παράλληλων έργων: του LTE (Long Term Evolution) και του SAE (System Architecture Evolution), τα οποία εμπεριέχονται στην 3GPP Release 8. Οι τεχνολογίες LTE/SAE, γνωστές και ως Evolved Packet System (EPS), έχουν στόχο να παρέχουν υπηρεσίες με υψηλές επιδόσεις, χαμηλές καθυστερήσεις και υψηλή ασφάλεια. Για το λόγο αυτό, υιοθετούν στη βασική ζώνη τη διαμόρφωση με ορθογωνική διαίρεση συχνότητας (OFDM), ενώ στα πολυχρηστικά περιβάλλοντα την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης OFDMA προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι διασυμβολικές παρεμβολές, που αποτελούν τον συνήθη περιοριστικό παράγοντα στις αποδόσεις συστημάτων υψηλών ταχυτήτων. Εάν, δε, η OFDMA συνδυαστεί και με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία MIMO, επιτυγχάνεται αύξηση στην ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων. Η πρώτη δημόσια εφαρμογή υπηρεσίας LTE στον κόσμο πραγματοποιήθηκε από την TeliaSonera στη Στοκχόλμη και το Όσλο το 2009 [34].

Όταν η ITU-R δημοσιοποίησε, τον ίδιο χρόνο, τις προδιαγραφές για τα συστήματα τεχνολογίας 4G, το σύστημα αναδείχθηκε ως ανεπαρκές για να καλύψει τις απαιτήσεις ενός 4G δικτύου, αποκτώντας την ονομασία 3.9G. Στην προσπάθεια της 3GPP να δημιουργήσει ένα 4G σύστημα εξέδωσε το LTE Release 9, προσθέτοντας τις τεχνολογίες femtocells και beamforming, χωρίς όμως να επιτυγχάνει [34].

Προς το τέλος του 2009 η 3GPP εξέδωσε την 4G τεχνολογία LTE-Advanced (3GPP Release 10), υποστηρίζοντας εφαρμογή πάνω στο φάσμα που ήδη καταλαμβάνονταν από παλαιότερες εκδόσεις LTE, χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στα προ-υπάρχοντα τερματικά. Στόχοι του LTE-Advanced είναι η βελτίωση του μέσου όρου χωρητικότητας ανά κυψέλη, με ιδιαίτερο βάρος στα άκρα αυτής, καθώς και η αύξηση

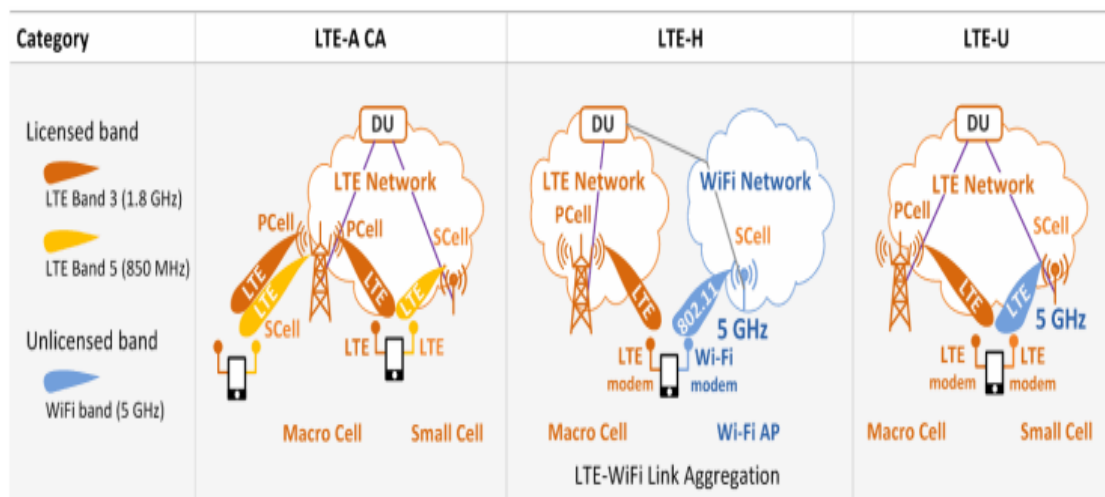
της ελαστικότητας του φάσματός εφαρμογής του, με στόχο να γίνεται δυνατή η εφαρμογή σε διαφορετικά εύρη συχνοτήτων, παγκοσμίως, χωρίς τοπικούς περιορισμούς [34].

Σημαντικές προς αναφορά αποτελούν και οι πιο πρόσφατες εκδόσεις του LTE (Εικόνα 6-3):

- Το LTE Advanced CA που χρησιμοποιεί την τεχνολογία Carrier Aggregation, όπου επιτρέπεται ο συνδυασμός έως και πέντε φερόντων από διαφορετικές LTE κεραίες για την επίτευξη επικοινωνίας, με αποτέλεσμα υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και μεγαλύτερα εύρη ζώνης εφαρμογής από τα 20MHz (που ήταν το έως τότε μέγιστο για τα συστήματα LTE) [35].
- Το LTE-U, έκδοση του LTE προσανατολισμένη προς της μη-αδειοδοτούμενες περιοχές φάσματος, που δημιούργησε αντιδράσεις από τους υποστηρικτές του Wi-Fi για τον τρόπο με τον οποίο θα μοιράζονται το φάσμα [36].
- Το LAA-LTE (license assisted access), εκδοχή του LTE που τρέχει όλες τις διεργασίες ελέγχου στις αδειοδοτούμενες περιοχές και χρησιμοποιεί τις μη-αδειοδοτούμενες για αύξηση χωρητικότητας [36].

Οι δυο τελευταίες εκδόσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν υψηλό κόστος υλοποίησης και ανταγωνίζονται ένα καλώς καθιερωμένο πρότυπο, το Wi-Fi. Για αυτόν το λόγο δημιουργήθηκε:

- Το LWA ή LTE-H, εκδοχή του LTE προσανατολισμένη προς την ομαλή συνέργεια και συνύπαρξη LTE και Wi-Fi, όπου κάθε συστατικό δίκτυο κάνει ότι κάνει καλύτερα, χωρίς επιπλέον κόστος, με μόνο προαπαιτούμενο μια ενημέρωση λογισμικού στα τερματικά [36].



Εικόνα 6-3– Παραδείγματα LTE CA, LTE-H και LTE-U

6.2 WiMAX

Η τεχνολογία World Interoperability for Microwave Access (WiMAX) είναι το εμπορικό όνομα του πρωτοκόλλου IEEE 802.16. Σχεδιάστηκε με τη λογική να καλύψει τις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών από την ασύρματη τεχνολογία, παρέχοντας υψηλή κινητικότητα, ταχύτατη ανταλλαγή δεδομένων και αυξημένη ασφάλεια. Το πρωτόκολλο 802.16 είναι μία συλλογή διαρκώς εξελισσόμενων τεχνολογιών, οι οποίες εφαρμόζονται στο εύρος συχνοτήτων από τα 2GHz έως και τα 66GHz, που συμπεριλαμβάνουν αδειοδοτούμενες και μη συχνοτήτες. Σκοπός του 802.16 είναι να θεμελιώσει τα Wireless Metropolitan Area Networks (WMAN) [37].

Το 2001, η τεχνολογία IEEE 802.16 διατέθηκε στο κοινό με λειτουργία μόνο σε LOS (Line-of-Sight) συνθήκες, ενώ η ομάδα παραγωγής συνέχισε να εργάζεται για να το κάνει να δουλεύει σε NLOS συνθήκες (Non Line-of-Sight). Οι μετατροπές που έγιναν προσάρμοσαν το πρωτόκολλο στο φάσμα εύρους 2GHz-11GHz. Το 2003, διατέθηκε το 802.16a, υποστηρίζοντας OFDM, με σκοπό να λύσει το ζήτημα των διασυμβολικών παρεμβολών, και MIMO, προσδίδοντας καλύτερη κάλυψη και ταχύτερη μετάδοση δεδομένων. Μαζί με την OFDM στο φυσικό στρώμα, το πρωτόκολλο 802.16a πρόσθεσε στο επίπεδο MAC την τεχνολογία Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) [37].

Το 2004, έγιναν αλλαγές στο πρωτόκολλο IEEE 802.16a, οδηγώντας στο IEEE 802.16-2004, αντικαταστάοντας τα πρωτόκολλα 802.16, 802.16a και 802.16c, που είχε κάνει την εμφάνισή του, με μία νέα, ενιαία τεχνολογία. Το 2005, παρουσιάστηκε το 802.16e-2005 (Mobile WiMAX) εισάγοντας μια παραλλαγή της OFDMA, την S-OFDMA (Scalable-OFDMA), ώστε να επιτευχθεί εξυπηρέτηση χρηστών με υψηλή κινητικότητα.

Πέρα από τις τοπολογίες Point-to-Point (PTP) και Point-to-Multi Point (PMP) που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο 802.16, εισήχθη στην συνέχεια και η τοπολογία WiMAX-mesh σαν μία βιώσιμη εναλλακτική στα υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα. Με την Mesh τοπολογία, το δίκτυο αποκτά προσαρμοστικότητα, ακεραιότητα, νομαδική αρχιτεκτονική και μεγαλύτερη έκταση.

6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ WiMAX ΚΑΙ LTE

Για λόγους περαιτέρω κατανόησης των προαναφερθέντων τεχνολογιών, κρίθηκε σκόπιμη η μεταξύ τους σύγκριση (Πίνακας 6-1), διότι τα δύο αυτά πρωτόκολλα θεωρούνται σε εμπορικό επίπεδο ανταγωνιστικά, λόγω της λειτουργίας τους στις ίδιες συχνοτήτες και την ταυτόχρονη, σχεδόν, δημιουργία και ανάπτυξη τους.

Κατόπιν σύγκρισης, λοιπόν, διαφαίνεται η επικράτηση του LTE (Πίνακας 6.1). Ο κύριος λόγος είναι ότι το WiMAX προϋπήρχε του LTE οδηγώντας ως εκ τούτου στην εφαρμογή του σε περισσότερες τεχνολογίες [38 - 40]. Το ποιο όμως θα κυριαρχήσει εν τέλει στην αγορά εξαρτάται από την συνύπαρξη τους με τα άλλα δίκτυα και το οικονομικό αντίκρισμα που θα έχει το κάθε ένα. Σημαντικό είναι να σημειώσουμε

ότι, διαφορετικές εκδόσεις, πόσο μάλλον οι πιο νέες από το κάθε δίκτυο, αλλάζουν τα δεδομένα του πίνακα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	WiMAX(Release 1.0)	LTE(Release 8)
ΕΚΛΟΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	2005	2009
ΡΥΘΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	46Mbps DL 4Mbps UL	300Mbps DL 75Mbps UL
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	Στο ίδιο επίπεδο	
ΦΥΣΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ	OFDMA DL OFDMA UL	OFDMA DL SC-OFDMA UL
ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣΗΣ	TDD	TDD & FDD
ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΤΗ	60-120Kmph	Έως 350Kmph
ΚΑΛΥΨΗ	50Km	100Km
ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ	1.91 bps/Hz DL 0.84 bps/Hz UL	1.91 bps/Hz DL 0.72 bps/Hz UL
ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ	3.5,5,7,8,75,10MHz	1.4,3,5,10,15,20MHz
ΚΟΣΤΟΣ	Πιο φτηνή από την LTE	Πιο ακριβή από την WiMAX
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	Μικρότερη κατανάλωση στο τερματικό LTE χάρις στην τεχνολογία SC-OFDMA (Single Carrier) στην UL	
VoIP ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	20 Χρήστες ανά τομέα/MHz	80 Χρήστες ανά τομέα/MHz
ΆΛΛΑ	Πλήρης IP αρχιτεκτονική, συμβατά με 3G, υποστήριξη QoS	

Πίνακας 6-1-Συγκριτικός πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών LTE/WiMAX

6.4 Wi-Fi

Το πρωτόκολλο Wi-Fi (IEEE 802.11) αποτελεί ακρωνύμιο του όρου Wireless Fidelity. Το Wi-Fi είναι μία ευρύτατα διαδεδομένη τεχνολογία που επιτρέπει σε οποιαδήποτε ηλεκτρονική συσκευή να ανταλλάξει δεδομένα στο πλαίσιο του δικτύου της μέσω ασύρματων σημείων πρόσβασης. Αυτά τα σημεία πρόσβασης, γνωστά ως hotspots, έχουν ακτίνα κάλυψης έως 20 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους ενώ σε εξωτερικούς 200, με δυνατότητα συνδυασμού πολλαπλών hotspots για να αυξήσουν κατά πολύ την κάλυψη αυτή. Το Wi-Fi αποτελεί ένα πολύ δημοφιλές δίκτυο μιας και ο συνδυασμός χαμηλού κόστους και λειτουργίας του σε μη-αδειοδοτούμενες περιοχές του φάσματος το κάνουν πολύ ελκυστικό σε εφαρμογές WLAN [41].

Το Wi-Fi, όμως πέρα από το χαμηλό κόστος του και την συχνότητα λειτουργίας του έχει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι η ασφάλεια και ο τρόπος που μοιράζει πόρους στους χρήστες (ανταγωνιστικός). Ο ανταγωνιστικός τρόπος διαμοιρασμού των διαθέσιμων πόρων μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη δικαιοσύνης μεταξύ των χρηστών και εξυπηρέτηση χαμηλής ποιότητας. Το θέμα της ασφάλειας απαιτεί περισσότερη ανάλυση: Τα πρωτόκολλα κρυπτογράφησης δεδομένων σε δίκτυα Wi-Fi είναι λιγότερο ασφαλή από τα πρωτόκολλα ασύρματων συνδέσεων (όπως το Ethernet), επιτρέποντας ευκολότερη πρόσβαση σε εισβολείς. Προκειμένου να διασφαλίσουν τους χρήστες τους, τα δίκτυα Wi-Fi έχουν εφαρμόσει

πολλές διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης κρυπτογράφησης δεδομένων. Το πρωτότυπο πρωτόκολλο κρυπτογράφησης WEP δεν παρείχε επαρκή ασφάλεια. Αργότερα, πρωτόκολλα υψηλότερης ποιότητας (WPA, WPA2) εισήχθησαν στα υπάρχοντα δίκτυα. Το 2007, ένα προαιρετικό πρωτόκολλο, το WPS (Wi-Fi Protected Setup) έκανε την εμφάνισή του. Ένα σφάλμα, όμως, στον κώδικά του επέτρεπε σε τυχόν εισβολέα να βρει τους κωδικούς ασφαλείας του router [41]. Έκτοτε, η Wi-Fi Alliance έχει εισάγει νέα, αυστηρότερα κριτήρια πιστοποίησης και δοκιμής, σε προσπάθεια καλύτερης προστασίας όλων των συσκευών από τυχόν επιθέσεις.

Στην συνέχεια θα αναλυθούν πέντε από τις πιο γνωστές οικογένειες δικτύων πρωτοκόλλου 802.11. Κάθε μια από αυτές είναι διαφορετική από την άλλη σε διάφορα σημεία, με κοινό τους, όμως, σημείο την μέθοδο πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούν, την CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) στο επίπεδο MAC. Κατά την συγκεκριμένη τεχνική πρόσβασης ο κόμβος που θέλει να αποστείλει πληροφορία, ελέγχει αν ο δίαυλος είναι ελεύθερος πριν στείλει πληροφορία, αποφεύγοντας συγκρούσεις με άλλους κόμβους που μπορεί να αποστέλλουν εκείνη την στιγμή.

IEEE 802.11a

Λειτουργεί στο εύρος των 5GHz με μέγιστη ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων στα 54Mbps, χρησιμοποιώντας OFDM στο φυσικό επίπεδο [42]. Το κυριότερο μειονέκτημα της χρήσης πρωτοκόλλων 802.11a είναι ότι λόγω της διαφοράς εύρους συχνοτήτων τους, δε μπορούν να συνυπάρξουν με δίκτυα πρωτοκόλλων 802.11b και 802.11g. Πολύ λίγα Hotspots υποστηρίζουν και τα τρία πρωτόκολλα ταυτόχρονα, ενσωματώνοντας και τα δύο εύρη συχνοτήτων [41].

IEEE 802.11b

Το επόμενο στάδιο στην εξέλιξη των πρωτοκόλλων 802.11, γνώρισε μεγάλη επιτυχία χάρη στην υψηλή ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων έως και 11 Mbps. Διαθέτει εμβέλεια από 100 έως μερικές εκατοντάδες μέτρα και χρησιμοποιεί την τεχνική διαμόρφωσης DSSS [42].

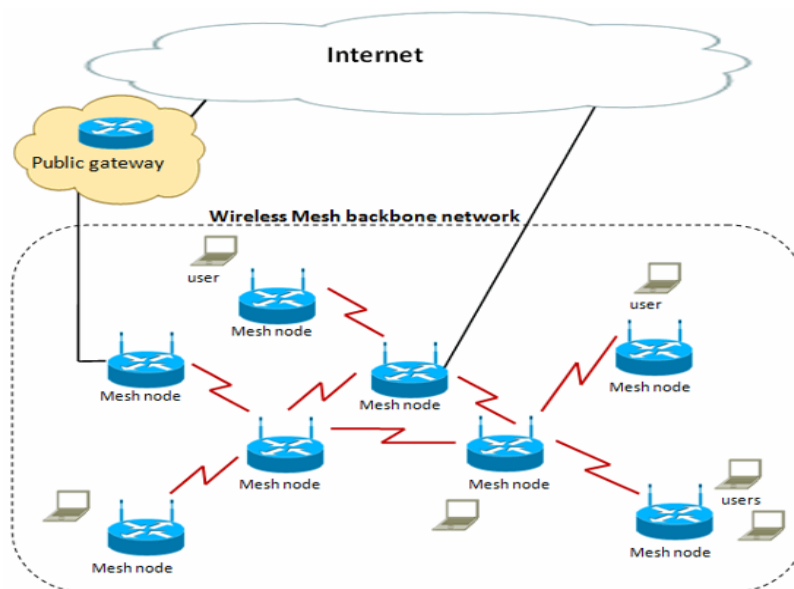
IEEE 802.11g

Το ασύρματο πρωτόκολλο IEEE 802.11g χρησιμοποιεί επίσης τις συχνότητες 2.4GHz και διαθέτει παρόμοια εμβέλεια και τεχνολογίες με το 802.11b, επιτρέποντας ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων έως και τα 54Mbps. Η μόνη διαφορά τους, που είναι και υπεύθυνη για την αύξηση της ταχύτητας, είναι στη χρήση τεχνικής διαμόρφωσής τους: το 802.11g χρησιμοποιεί την OFDM, ενώ η 802.11b την DSSS [41].

IEEE 802.11n

Τα πρωτόκολλα IEEE 802.11a/b/g χρησιμοποιούνταν ευρύτατα. Σταδιακά, όμως, αντικαθίστανται από τα δίκτυα πρωτοκόλλου 802.11n, που χρησιμοποιούν τα εύρη συχνοτήτων 2.4GHz και 5GHz, με ταχύτητες από 400 έως και τα 600Mbps (θεωρητικό ανώτατο όριο). Το 802.11n χρησιμοποιεί MIMO, OFDM, κανάλια εύρους 40 MHz, μικρά διαστήματα φύλαξης και άλλες τεχνολογίες προκειμένου να επιτύχει την μέγιστη ταχύτητα των 600Mbps [43].

Η συγκεκριμένη έκδοση του 802.11 δεν προσφέρει κάτι καινούριο από άποψη τεχνικών χαρακτηριστικών, αλλά δίνει την δυνατότητα υλοποίησης mesh δικτύων. Η τοπολογία mesh επιτρέπει κάθε κόμβο του συστήματος να λειτουργεί ως δρομολογητής, προσφέροντας ευκολία επέκτασης και αλλαγής του δικτύου, νομαδική αρχιτεκτονική και μεγαλύτερη ανοχή σε υψηλή κίνηση πληροφορίας.



Εικόνα 6-4–Wi-Fi Mesh δίκτυο

6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ WiMAX/LTE ΚΑΙ Wi-Fi

Η τεχνολογίες WiMAX/LTE διαφέρουν από αυτή του Wi-Fi σε πολλαπλούς τομείς, με σημαντικότερους την απόσταση κάλυψης, το κόστος εγκατάστασης, τη χωρητικότητα και την ασφάλεια δεδομένων.

Η τεχνολογία Wi-Fi έχει τη δυνατότητα εμβέλειας ίσης με τις τεχνολογίες WiMAX/LTE, δε μπορεί να το επιτύχει, όμως, για δύο λόγους: αφενός, τα τηλεπικοινωνιακά σήματα που χρησιμοποιούν μη αδειοδοτούμενες συχνότητες απαγορεύονται δια νόμου να είναι τόσο ισχυρά όσο τα σήματα στις αδειοδοτούμενες συχνότητες και αφετέρου υπάρχει το ζήτημα της πιθανότατα καταστροφικής υπέρθεσης πολλαπλών σημάτων, που χρησιμοποιούν τις παραπάνω συχνότητες. Άλλη σημαντική διαφορά αποτελεί ο τρόπος πρόσβασης: το Wi-Fi MAC layer χρησιμοποιεί ανταγωνιστική πρόσβαση. Αυτό ωθεί τους χρήστες να ανταγωνίζονται ο ένας τον άλλο για το μεγαλύτερο εύρος δεδομένων που μπορεί να περάσει από το hotspot. Επιπλέον, το Wi-Fi έχει προβλήματα με το ζήτημα των παρεμβολών και την κίνηση των δεδομένων. Εξαιτίας αυτού, οι triple-play τεχνολογίες (φωνή, δικτυακή πρόσβαση και video) δεν υποστηρίζονται στα παραδοσιακά Wi-Fi δίκτυα. Από την άλλη πλευρά τα WiMAX/LTE χρησιμοποιούν ένα οργανωτικό αλγόριθμο. Ο αλγόριθμος αυτός επιτρέπει σε κάθε χρήστη να ανταγωνιστεί τους άλλους αποκλειστικά για πρόσβαση στο hotspot και μόνο. Έτσι επιτυγχάνει ταχύτερη ανταλλαγή δεδομένων, χαμηλότερες καθυστερήσεις, καλύτερη φασματική απόδοση

και χωρητικότητα [41]. Από την πλευρά της ασφάλειας, όπως ήδη έχει αναφερθεί το Wi-Fi αδυνατεί να προσφέρει το ίδιο επίπεδο ασφάλειας που προσφέρουν τα άλλα δύο δίκτυα, που αποτελεί και ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του, αν ληφθεί υπό όψη ότι οι κύριες εφαρμογές του Wi-Fi είναι οικιακές, εκθέτοντας σε κίνδυνο προσωπικά δεδομένα. Η δημοτικότητα, όμως του Wi-Fi, και η υποστήριξη του από την βιομηχανία έχουν οδηγήσει σε πιο χαμηλό κόστος σε σχέση με τα WiMAX/LTE, βοηθώντας στην περαιτέρω καθιέρωσή του.

Από τεχνικής πλευράς, μπορεί να βγει ως συμπέρασμα ότι τα Wi-Fi και WiMAX/LTE είναι ανταγωνιστικές τεχνολογίες, αλλά στην πραγματικότητα αλληλοσυμπληρώνονται. Η τεχνολογία Wi-Fi χρησιμοποιείται σε εφαρμογές τοπικών ασύρματων δικτύων (LAN) με μικρή εμβέλεια, όπως ένα μικρό κτήριο, τα κεντρικά γραφεία ενός πανεπιστημίου ή ένα ακαδημαϊκό συγκρότημα. Οι τεχνολογίες WiMAX/LTE είναι μητροπολιτικής εμβέλειας (MAN), με σκοπό να ενώσουν σπίτια, κτήρια και πολλαπλά hotspots ώστε να επιτρέψουν ευκολότερη επικοινωνία τόσο μεταξύ τους, όσο και μεταξύ άλλων δικτύων. Αν και οι εξεταζόμενες τεχνολογίες δεν αποσκοπούν στην ίδια χρήση, οι WiMAX/LTE έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την τεχνολογία Wi-Fi, όπως: καλύτερη αντοχή στις αντανάκλασεις, μεγαλύτερη δυνατότητα υπερκεράσου εμποδίων, υψηλότερες ταχύτητες και δυνατότητα υψηλότερου αριθμού διασυνδέσεων. Παρ' όλα αυτά, η εφαρμογή των WiMAX/LTE απαιτεί υψηλούς κόστους υποδομές, ενώ η τεχνολογία Wi-Fi βασίζεται σε σαφώς φθηνότερα hotspots. Προφανώς, ο αρχικός σκοπός των τεχνολογιών WiMAX/LTE δεν ήταν να αντικαταστήσουν τα δίκτυα Wi-Fi στην εφαρμογή τους, αλλά να τα συμπληρώσουν, δημιουργώντας ένα ενιαίο ασύρματο δίκτυο [41]. Και οι δύο αυτές τεχνολογίες έχουν παρόμοια συστατικά, με την κυριότερη διαφορά τους να αφορά στην εμβέλεια επικοινωνίας τους. Γίνεται κατανοητό ότι η συνύπαρξη των δύο δημιουργεί ένα ετερογενές δίκτυο του οποίου τα συστατικά δίκτυα καλύπτουν το ένα τις ελλείψεις του άλλου.

Παρακάτω δίνεται πίνακας τεχνικής σύγκρισης (Πίνακας 6.2) και των τριών δικτύων. Όπως και στον προηγούμενο αντίστοιχο πίνακα τα δεδομένα αλλάζουν με διαφορετικές εκδόσεις των αντίστοιχων δικτύων με την ουσία να παραμένει ίδια: το Wi-Fi λόγω χαμηλής τιμής, προϋπάρχουσας υποδομής και χρήσης του στις μη-αδειοδοτούμενες συχνότητες αποτελεί την κατάλληλη επιλογή για τη δουλειά που κάνει, ενώ ο ανταγωνισμός LTE-WiMAX είναι ανοιχτός.

Βλέποντας τις τεχνικές διαφορές των εξεταζόμενων δικτύων λογικό είναι κάποιος να αναρωτηθεί πώς υλοποιείται η συνύπαρξη των δικτύων αυτών σε ένα ετερογενές δίκτυο. Η συνύπαρξη αυτή επιτυγχάνεται μέσω των κοινών δομικών στοιχείων των τριών, τις τεχνολογίες MIMO και OFDM στο φυσικό επίπεδο, και το κοινό IP πρωτόκολλο στο στρώμα δικτύου. Θέμα συνύπαρξης όμως αποτελεί ο διαφορετικός τρόπος πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούν οι MAN και LAN τεχνολογίες η μεν Wi-Fi χρησιμοποιεί CSMA/CA οι δε LTE/WiMAX την OFDMA. Το θέμα αυτό επιλύεται εκμεταλλευόμενοι την φύση της OFDMA που χωρίζει το δεδομένο εύρος σε υποκανάλια και ασκώντας CSMA/CA σε κάθε ένα από αυτά τα υποκανάλια [44].

Έτσι και οι δυο τεχνικές μπαίνουν κάτω από την "ομπρέλα" της γενικευμένης CSMA/CA καλύπτοντας την διαφορά στα εξεταζόμενα δίκτυα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	WiMAX	Wi-Fi	LTE
ΚΑΛΥΨΗ	50Km	250m	100Km
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	2-11GHz/10-66GHz	2.4 , 5GHz	2-11GHz/10-66GHz
ΕΥΡΟΣ	Δυναμικό 3.5-10MHz	Σταθερό 25/20MHz	Δυναμικό 1.4-20MHz
OFDM	256-OFDM	64-OFDM	256-OFDM
ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣΗ	FULL	HALF	FULL
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	75Mbps	54Mbps	300Mbps
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	Ανθεκτικά πρωτόκολλα (AES)	Προαιρετικά (WEP, WPA/2)	Ανθεκτικά πρωτόκολλα (AES)
MAC	Grant/Request	Contention based	Grant/Request
ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ	OFDMA	CSMA/CA	OFDMA
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ MIMO	NAI	NAI	NAI

Πίνακας 6-2–Τεχνικά χαρακτηριστικά LTE/WiMAX/Wi-Fi

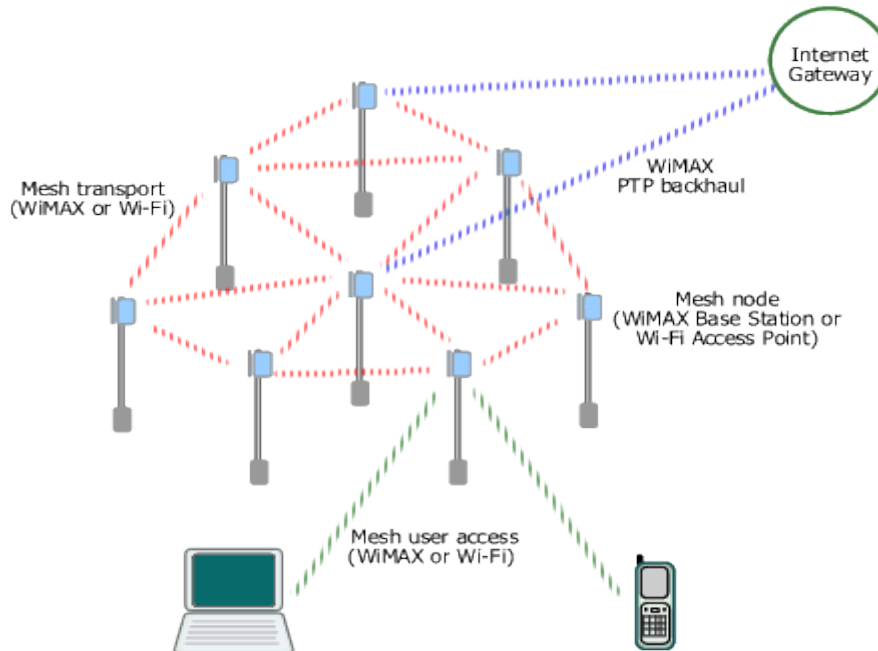
6.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι σύγχρονες απαιτήσεις από τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών έχουν αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό που για να ικανοποιηθούν χρειάζεται συνεργασία μεταξύ των υπαρχόντων δικτύων, μέσω τις καθιέρωσης των ετερογενών δικτύων. Η κατάσταση, όμως, στα ετερογενή δίκτυα ακόμα είναι ρευστή με το κάθε ένα από τα μεμονωμένα δίκτυα να έχει διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με συνεχείς αλλαγές και τροποποιήσεις σε αυτά. Κάποια από τα δίκτυα αυτά αποτελούν τα Wi-Fi, WiMAX και LTE, τα οποία και αναλύθηκαν λεπτομερειακά προηγουμένως.

Τα LTE/WiMAX ανταγωνίζονται το ένα το άλλο με το κάθε ένα να προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα ανά εφαρμογή, ενώ το Wi-Fi, περιορισμένο στις μη αδειοδοτούμενες περιοχές συχνοτήτων, δεν προβλέπεται να αντικατασταθεί σύντομα χάρης στην μεγάλη δημοτικότητα του και την χαμηλή τιμή του. Παρόλο το απρόβλεπτο της τρέχουσας κατάστασης δεδομένο είναι ότι, λόγω της αλληλοκάλυψης που προσφέρουν οι συνδυασμοί του Wi-Fi με τα LTE/WiMAX, τα παραπάνω μεμονωμένα δίκτυα δημιουργούν αποδοτικά ετερογενή δίκτυα, όπως έγινε κατανοητό από την προηγούμενη ανάλυση. Κάποιοι από αυτούς τους συνδυασμούς είναι οι πολλά υποσχόμενοι LWA (συνδυασμός Wi-Fi και LTE) και Wi-Fi/WiMAX τοπολογίας mesh (Εικόνα 6-5) (συνδυασμός 802.11s και WiMAX-mesh).

Κατανοώντας την σημασία των ετερογενών δικτύων, φτιάχτηκε η συγκεκριμένη πλατφόρμα με σκοπό την σύγκριση ενός μεμονωμένου δικτύου με ένα ετερογενές (MAN_{WiMAX/LTE}-LAN_{Wi-Fi}) και την σύγκριση διαφορετικών τρόπων απόδοσης των διαθέσιμων φασματικών πόρων με στόχο την βελτίωση του εκάστοτε συστήματος.

Λόγω της προαναφερόμενης ρευστότητας η πλατφόρμα εξομοίωσης ετερογενούς δικτύου φτιάχτηκε με ελευθερία δικτύου σε επίπεδο MAN (LTE/WiMAX) αλλά με βασικό δεύτερο συστατικό το Wi-Fi σε επίπεδο LAN. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά στον τρόπο υλοποίησης τις πλατφόρμας, αλλά και στα αποτελέσματα που αυτή έδωσε.



Εικόνα 6-5–Wi-Fi/ WiMAX Mesh δίκτυο

7 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΟΛΥΧΡΗΣΤΙΚΟΥ ΠΟΛΥΚΥΨΕΛΩΤΟΥ OFDMA ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

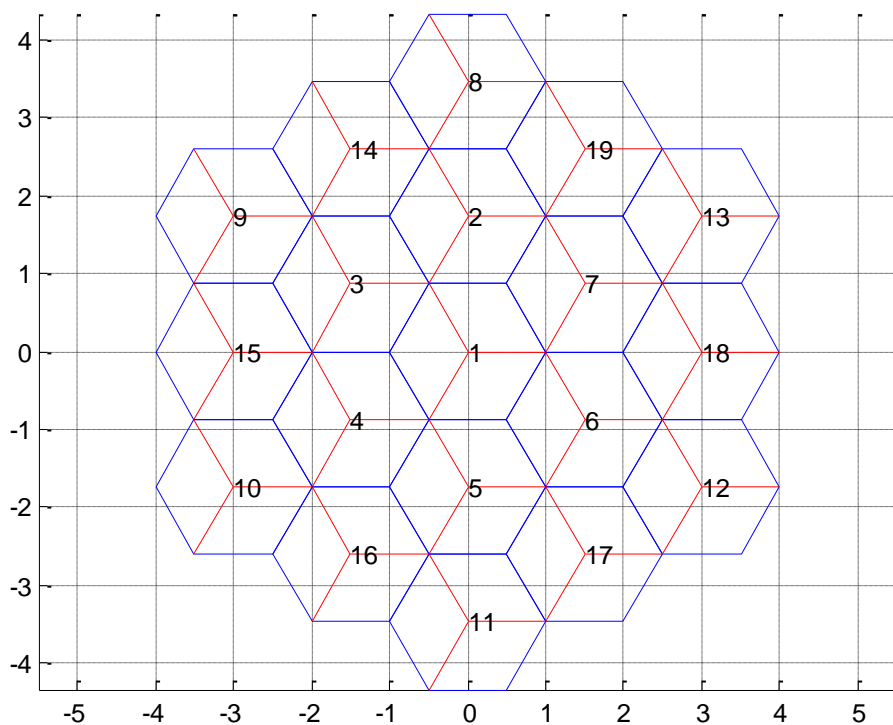
Η πλατφόρμα που δημιουργήθηκε αποσκοπεί στην εξομοίωση δικτύων τέταρτης γενιάς MAN και την συνύπαρξη τους με LAN υποδίκτυα, αλλά και στην διαχείριση των διαθέσιμων πόρων τους (φάσμα, ισχύς). Για την επίτευξη της πλατφόρμας φτιάχτηκε ένας αλγόριθμος-βάση κατά τον οποίο δημιουργείται χωροταξικά το σύστημα εκχωρώντας του σειριακά και ψευδοτυχαία χρήστες. Ο κάθε χρήστης προσδιορίζεται από την γεωγραφική του θέση, από το σύνολο των υποφερουσών συχνοτήτων που του έχουν ανατεθεί και την ισχύ ανά υποφέρουσα συχνότητα. Η είσοδος νέων χρηστών διακόπτεται όταν ικανοποιηθεί η προκαθορισμένη τιμή της πιθανότητας αποτυχίας (λόγος των αποτυχημένων προσπαθειών προς συνολικές προσπάθειες).

Με τη βοήθεια αυτή της πλατφόρμας, εξετάσαμε διαφορετικές τεχνικές ανάθεσης καναλιών και προσδιορίσαμε την αποδοτικότητά τους λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες παραμέτρους (μέση χωρητικότητα, δείκτης δικαιοσύνης, μέση καταναλισκόμενη ισχύς ανά χρήστη, κ.τ.λ.). Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται είτε σε ένα μεμονωμένο δίκτυο MAN είτε σε ετερογενές δίκτυο δύο υποδικτύων (MAN/LAN). Μεγάλα πλεονεκτήματα της πλατφόρμας είναι ότι δεν περιορίζει την κυψελική γεωμετρία του συστήματος, ενώ μπορεί να υποστηρίξει κάθε τεχνική ανάθεσης πόρων (με και χωρίς γνώση καναλιού, CSI ή no-CSI). Αναλυτική περιγραφή της πλατφόρμας γίνεται στην συνέχεια.

7.1 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε εκτενώς στις διαδικασίες που διεκπεραιώνονται από τον προσομοιωτή για την υλοποίηση του μεμονωμένου δικτύου.

Προκαταβολικά, της εκτέλεσης οποιουδήποτε σεναρίου, ο προσομοιωτής ορίζει χωροταξικά την αρχιτεκτονική του συστήματος. Θεωρούμε, επομένως, ένα πολυκυψελωτό σύστημα με 19 εξαγωνικές κυψέλες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-1, με τρεις τομείς ανά κυψέλη των 120° (τεχνική τομεοποίησης). Στο κέντρο κάθε κυψέλης εγκαθίσταται ο σταθμός βάσης (ΣΒ) ο οποίος είναι εξοπλισμένος με κατευθυντική κεραία τριών δεσμών, της οποίας το διάγραμμα ακτινοβολίας φαίνεται στην Εικόνα 7-2. Χάρη στη MIMO συστοιχία και στην υποστήριξη της πλατφόρμας πολλαπλών χρηστών, παρέχεται επίσης η δυνατότητα SDMA. Οι παράμετροι του συστήματος υπό εξομοίωση συγκεντρώνονται στον Πίνακα 7-1



Εικόνα 7-1–Γεωμετρία συστήματος για 19 κυψέλες ακτίνας 1Κm

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΕΣ
ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ	1Κm
ΠΛΗΘΟΣ ΚΥΨΕΛΩΝ	19 κυψέλες
ΔΙΚΤΥΟ	MAN (WiMAX/LTE)
ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	OFDMA
ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	QPSK
ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΙΜΟ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ/ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ (Mt/Mr)	2/2
ΥΨΗ ΚΕΡΑΙΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ/ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	30/1.5 m
ΚΕΡΔΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ/ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	14/0 dB
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΚΕΡΑΙΑΣ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	133.4dB
ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	Cost 231-Hata
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ	8 dB
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΕΡΑΙΩΝ	Εικόνα 7.2
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ	10MHz
ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ	-104dBm
ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ ΑΝΑ ΚΥΨΕΛΗ	128 υποκανάλια
ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ ΑΝΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ	1,3,5,8 υποκανάλια
ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ	10%,30%,50%
SINR	9.6 dB
ΠΛΗΘΟΣ ΜΟΝΤΕ CARLO	250

Πίνακας 7-1–Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων μεμονωμένου δικτύου

Σημαντικοί προς αναφορά σε αυτό το σημείο είναι οι παράμετροι που εξάγονται από την πλατφόρμα, για καλύτερη κατανόηση της περαιτέρω ανάλυσης της. Οι παράμετροι (μέση τιμή) υπό εξέταση είναι οι: ενεργοί χρήστες, ισχύς ανά χρήστη και συνολική καταναλισκόμενη ισχύς, τόσο του συνολικού δικτύου όσο και της κεντρικής κυψέλης. Η μελέτη της κεντρικής κυψέλης γίνεται διότι η κυψέλη αυτή είναι η πιο επιρρεπής σε φαινόμενα ομοδιαυλικών παρεμβολών, οπότε και η ιδανική για την μελέτη αυτού του είδους παρεμβολών ανά μέθοδο απόδοσης καναλιών.

Αφού παραμετροποιηθεί το σύστημα (SINR, στατικό πλήθος καναλιών ανά χρήστη, πιθανότητα αποκλεισμού, μέθοδος απόδοσης καναλιών), ο προσομοιωτής για κάθε σενάριο εκτελεί τόσες προσομοιώσεις όσες το πλήθος των Monte Carlo (MC). Λόγω του υπολογιστικού χρόνου αλλά και της υπολογιστικής πολυπλοκότητας, στην προκειμένη περίπτωση έχουν υιοθετηθεί 250 επαναλήψεις, πλήθος που δεν είναι το ιδανικό (η μέση τιμή των εξεταζόμενων μεταβλητών δεν συγκλίνει ακόμη στην αντιπροσωπευτική μέση τιμή). Σημειώνεται επίσης ότι κατά την εκτέλεση διαφορετικών σεναρίων οι χρήστες δεν αλλάζουν τη γεωγραφική τους θέση, γεγονός που καθιστά τον προσομοιωτή ημι-στατικό.

Στη διάρκεια μιας MC, η οποία ολοκληρώνεται μόλις ικανοποιηθεί η συνθήκη:

$$\frac{A\Pi}{\Sigma\Pi} > \Pi A \quad (7.1)$$

με $A\Pi$ τις αποτυχημένες προσπάθειες, $\Sigma\Pi$ τις συνολικές προσπάθειες και ΠA την πιθανότητα αποτυχίας, εισέρχονται σειριακά χρήστες ακολουθώντας την ομοιόμορφη γκαουσιανή κατανομή. Με γνωστές τις θέσεις των σταθμών βάσης υπολογίζονται όλες οι αποστάσεις του χρήστη από αυτούς. Με δεδομένες τις αποστάσεις και με την χρήση του μοντέλου Cost 231-Hata υπολογίζονται οι απώλειες διαδρομής προσθέτοντας την σκίαση για όλους τους σταθμούς βάσει της οικογένειας εξισώσεων 7.2:

$$L(dB) = A + Blogd + C \quad (7.2.a)$$

$$A = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log(H_{bs}) - a(H_{ms}) \quad (7.2.b)$$

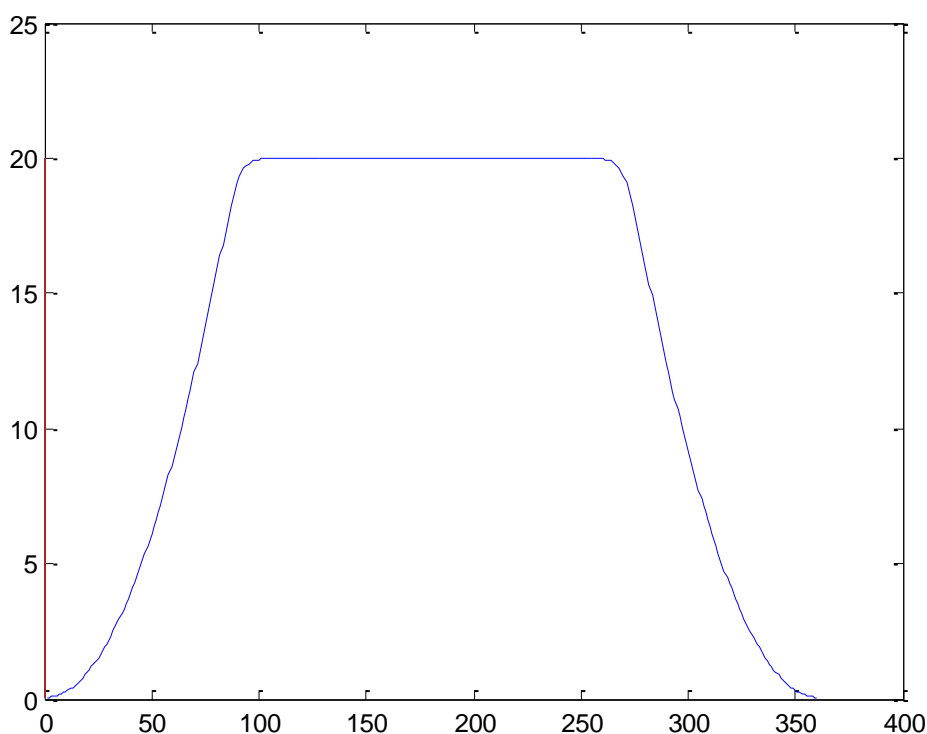
$$B = 44.9 - 6.55 \log(H_{bs}) \quad (7.2.g)$$

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma^{-1} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7.2.d)$$

Όπου H_{bs} είναι το ύψος του σταθμού εκπομπής, H_{ms} είναι το ύψος του κινητού τερματικού και C είναι 0dB για πόλεις μεσαίου μεγέθους και 3dB για μητροπολιτικά

κέντρα (όπως στην ισχύει στην περίπτωση μας). Για την μεταβλητή της σκίασης $p(x)$ ισχύει: όπου x η μετρούμενη στάθμη ισχύος, μ η μέση τιμή απωλειών και σ η τυπική απόκλιση η οποία συνήθως κυμαίνεται από 4 ως 12dB, για αυτό παίρνουμε τον μέσο όρο $\sigma=8dB$. Στο υπολογιστικό πρόγραμμα η συγκεκριμένη μεταβλητή υλοποιείται με την χρήση της $randn()$ στην μορφή $8*randn()$.

Στην συνέχεια, συγκρίνεται η μικρότερη από τις απώλειες διαδρομής με το αποδεκτό όριο ευαισθησίας του δέκτη, τα 133.4dB. Αν δεν ικανοποιείται το κριτήριο αυτό, αιτείται σύνδεσης ο επόμενος χρήστης με την διαδικασία να επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να εισαχθεί αποδεκτός χρήστης. Εφόσον ο χρήστης γίνει αποδεκτός από το δίκτυο, αυξάνονται οι συνολικές προσπάθειες κατά ένα και καθορίζεται ο σταθμός βάσης που τον εξυπηρετεί, αυτός για τον οποίο έχει τις μικρότερες απώλειες διαδρομής. Στο σημείο αυτό υπολογίζονται οι συνολικές απώλειες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες διαδρομής τα κέρδη κεραίας πομπού και δέκτη και οι απώλειες λόγω κατευθυντικότητας της κεραίας πομπού (Εικόνα 7.2). Η εύρεση της απώλειας λόγω κατευθυντικότητας καθορίζεται από την γωνία χρήστη και σταθμού βάσης με αναφορά τις 60° μοίρες ανά τομέα 120° .



Εικόνα 7-2–Διάγραμμα απωλειών κατευθυντικότητας κεραίας τομέα για 360 μοίρες

Έχοντας υπολογίσει τις συνολικές απώλειες (κόκκινο μπλοκ, Εικόνα 7.3), του νεοεισερχόμενου χρήστη, γίνεται η απόδοση υποκαναλιών βάσει των προτεινόμενων τεχνικών (μπλε μπλοκ, Εικόνα 7.3). Αν δεν υπάρχουν επαρκή διαθέσιμα κανάλια στο ΣΒ, ο χρήστης απορρίπτεται και η αίτηση πρόσβασης του στο δίκτυο θεωρείται αποτυχημένη προσπάθεια (αύξηση πλήθους αποτυχημένων αιτήσεων κατά ένα) και η

πλατφόρμα εξετάζει το αίτημα σύνδεσης ενός νέου εφόσον βέβαια ικανοποιείται η συνθήκη της πιθανότητας αποκλεισμού.

Κατόπιν της απόδοσης ραδιοπόρων, ακολουθεί ο έλεγχος ισχύος (κίτρινο μπλοκ, Εικόνα 7-3) σύμφωνα με τον οποίο ο προσομοιωτής επιλύει το γραμμικό σύστημα (με εξισώσεις όσες και οι ενεργοί χρήστες και αγνώστους τις ισχύεις ανά υποφέρουσα συχνότητα) και αναθέτει ισχύ σε κάθε υποφέρουσα συχνότητα βάσει της ακόλουθης εξίσωσης:

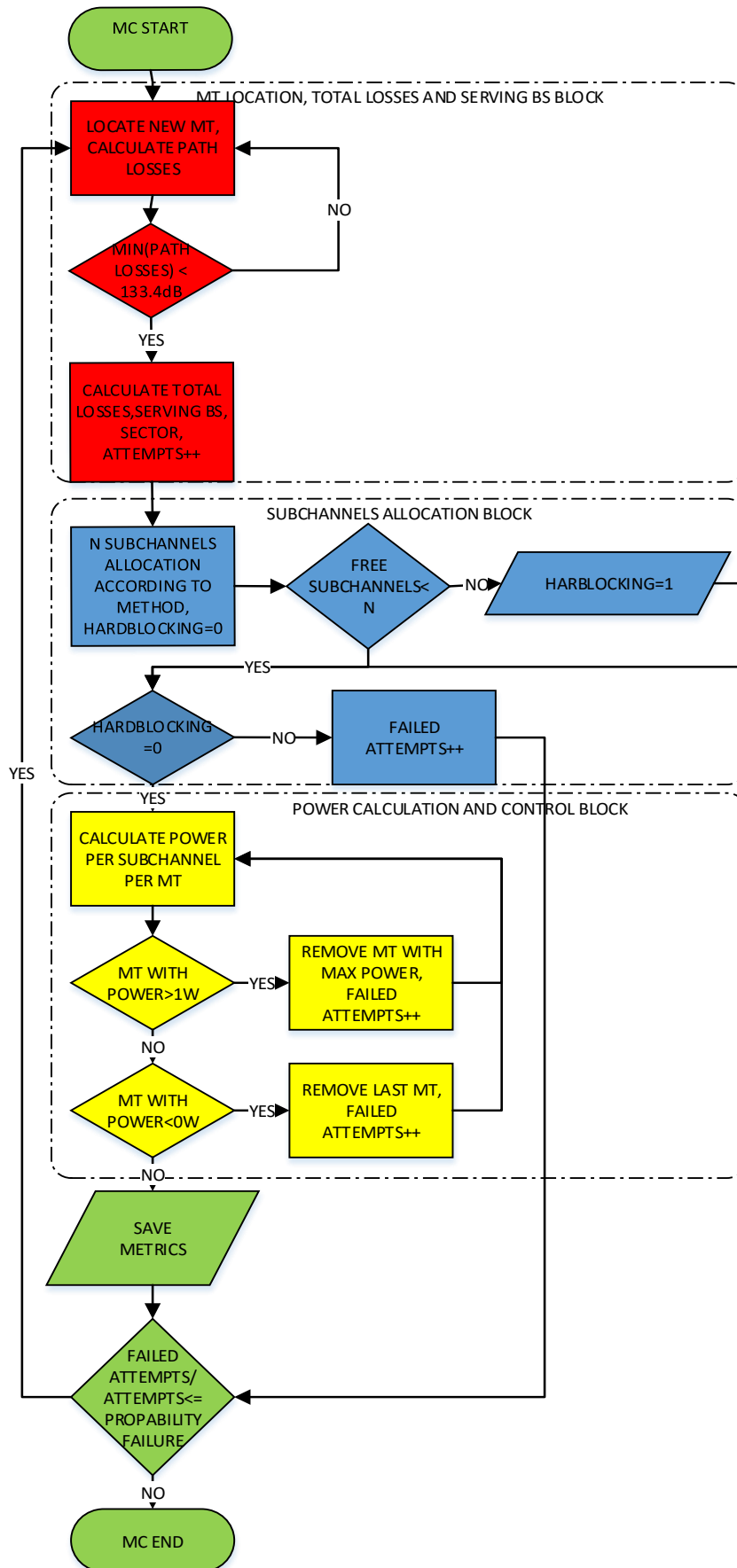
$$\frac{\frac{P_1}{TL_1(D_1)}}{\frac{P_2}{TL_2(D_2)} + \dots + \frac{P_n}{TL_n(D_n)} + N} = SINR \quad (7.3)$$

Όπου P_x είναι ισχύεις των υποφερουσών ανά χρήστη n , TL_x είναι οι συνολικές απώλειες του χρήστη n ανά κεραία και τομέα που ανήκει ο χρήστης 1 , D_x οι αποστάσεις μεταξύ των χρηστών από τον σταθμό εξυπηρέτησης του 1 , N ο θερμικός θόρυβος και $SINR$ ο σηματοθορυβικός λόγος που έχει τεθεί στην αρχή. Στην εξίσωση αυτή στον αριθμητή βρίσκεται η ισχύς δια τις συνολικές απώλειες του εξεταζόμενου χρήστη, προς το αντίστοιχο άθροισμα όλων των υπόλοιπων χρηστών συν τον θερμικό θόρυβο, όπου πρέπει να ικανοποιεί το ζητούμενο $SINR$.

Αν η συνολική ισχύς κάποιου χρήστη ξεπερνάει το 1Watt, αφαιρείται ο χρήστης με την μέγιστη ισχύς και επαναυπολογίζεται ο πίνακας μέχρις ότου να μην υπάρχει κανένας χρήστης με ισχύς μεγαλύτερη του 1Watt (όριο κατανάλωσης του τερματικού). Για κάθε χρήστη που αφαιρείται οι αποτυχημένες προσπάθειες αυξάνονται κατά ένα. Επίσης ελέγχεται αν η συνολική ισχύς κάθε χρήστη είναι μικρότερη του μηδέν, που δεν είναι αποδεκτό από φυσικής πλευράς. Αν υπάρχει τέτοια ισχύς, αφαιρείται ο τελευταίος χρήστης και οι αποτυχημένες προσπάθειες αυξάνονται κατά ένα.

Με την ολοκλήρωση των Monte Carlo, υπολογίζεται η μέση τιμή των εξαγόμενων παραμέτρων ανά σενάριο υπολογίζοντας τις μέσες ισχύεις από το προαναφερθέν κομμάτι και τους ενεργούς χρήστες από το τελικό μέγεθος των πινάκων που περιέχουν χρήστες στις διαστάσεις τους, δίνοντας μας την δυνατότητα σύγκρισης των διαφορετικών μεθόδων.

Στην Εικόνα 7-2 παρουσιάζονται οι διεκπεραιωμένες εργασίες που προαναφέρθηκαν με τη μορφή διαγράμματος ροής.



Εικόνα 7-3–Διάγραμμα ροής του κώδικα για την υλοποίηση του μεμονωμένου δικτύου

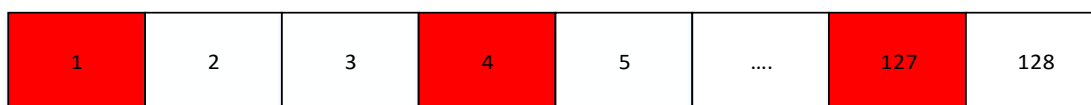
7.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΡΑΔΙΟΔΙΑΥΛΩΝ

Στην παρούσα ενότητα γίνεται περιγραφή των τεχνικών ανάθεσης ραδιοπόρων που έχουν υιοθετηθεί και ενσωματωθεί στην πλατφόρμα προσομοιώσεις. Από αυτές, η πλειοψηφία τους δε βασίζεται στην γνώση του ραδιοδιαυλου, γεγονός που τις καθιστά λιγότερο πολύπλοκες αλγοριθμικά. Ωστόσο, για λόγους προσωπικού ενδιαφέροντος παρουσιάζεται και μια τεχνική, σύμφωνα την οποία πραγματοποιείται η ανάθεση ραδιοφάσματος με την καλύτερη ποιότητα. Πέραν όμως της φιλοσοφίας της κάθε τεχνικής, αναλύεται και αλγοριθμική της πολυπλοκότητα. Οι κώδικες κάθε τεχνικής δίνονται στο τέλος της εργασίας σε μορφή παραρτήματος.

7.2.1 ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΑ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Random)

Η πρώτη μέθοδος προς εξέταση είναι η Random, κατά την οποία: βρίσκονται τα διαθέσιμα κανάλια (C_b) στον σταθμό εξυπηρέτησης (b^{th} BS), και από αυτά ανατίθενται ψευδοτυχαία ένα σύνολο καναλιών (U_n), μέσω της συνάρτησης *randsample()* του matlab, ίσα σε αριθμό με το στατικό πλήθος υποκαναλιών (S_n) που ζητά ο χρήστης, αφαιρώντας τα στο τέλος από το σύνολο C_b . Η συγκεκριμένη τεχνική έχει πολυπλοκότητα $O_{RAND}(128)$ αφού κάθε φορά ελέγχει όλα τα υποκαναλία για να δει ποια είναι κατειλημμένα. (ΚΩΔΙΚΑΣ 1)

$$\begin{aligned} U_n &\leftarrow rand(S_n, C_b) \\ C_b &\leftarrow C_b \setminus U_n \end{aligned} \quad (7.4)$$



Εικόνα 7-4– Παράδειγμα ανάθεσης πρώτων 3 υποκαναλιών με την μέθοδο Random

7.2.2 ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ (Sequential)

Η δεύτερος μέθοδος προς εξέταση είναι η Sequential, κατά την οποία: βρίσκονται τα διαθέσιμα υποκανάλια (C_b) στον σταθμό εξυπηρέτησης (b^{th} BS), και από αυτά δίνονται τα πρώτα S_n κανάλια (U_n), όπου S_n ο στατικός αριθμός καναλιών που ζητά ο χρήστης. Ο τρόπος αυτός αναμένεται να είναι ο χειρότερος σε άποψη ομοδιαυλικών παρεμβολών μιας και οι πρώτοι χρήστες που θα γίνουν δεκτοί στη κάθε κυψέλη θα χρησιμοποιούν όλοι τα ίδια κανάλια ταυτόχρονα. Η συγκεκριμένη τεχνική έχει πολυπλοκότητα $O_{SEQ}(128)$ αφού κάθε φορά ελέγχει όλα τα κανάλια για να δει ποια είναι κατειλημμένα. (ΚΩΔΙΚΑΣ 2)

$$\begin{aligned} U_n &\leftarrow seq(1:S_n, C_b) \\ C_b &\leftarrow C_b \setminus U_n \end{aligned} \quad (7.5)$$

1	2	3	4	5	127	128
---	---	---	---	---	------	-----	-----

Εικόνα 7-5– Παράδειγμα ανάθεσης πρώτων 3 υποκαναλιών με την μέθοδο Sequential

7.2.3 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΑ ΑΝΑΘΕΣΗ ΒΑΣΕΙ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ K (ERMK)

Η πρώτη προτεινόμενη τεχνική που εξετάστηκε είναι η ERMK. Στην συγκεκριμένη τεχνική, αντί να επιλέγεται ως σταθμός εξυπηρέτησης ο σταθμός με τις μικρότερες απώλειες διαδρομής, επιλέγεται ο σταθμός με την μικρότερη τιμή της παραμέτρου K .

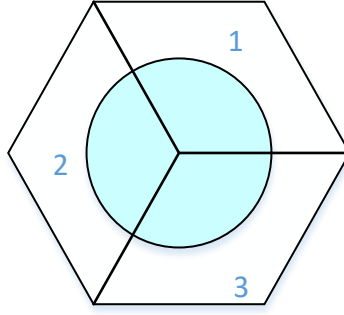
$$K = Pathloss * channel\ availability * 0.01 \quad (7.6)$$

Η παράμετρος K είναι ίση με το γινόμενο της απώλειας διαδρομής επί τα κατειλημμένα κανάλια επί το 0.01 (το 0.01 χρησιμοποιείται καθαρά για να αποθηκεύονται μικρότεροι αριθμοί). Την πρώτη φορά που γίνεται ανάθεση όλοι οι αποδεκτοί σταθμοί και οι αντίστοιχοι παράμετροί τους K αποθηκεύονται σε έναν πίνακα ταξινομημένο σε αύξουσα σειρά κατά K . Αρχικά επιλέγεται ο πρώτος σταθμός (C_b) στον πίνακα ο οποίος δίνει πλήθος S_n κανάλια (U_n) χρησιμοποιώντας την Random. Αν δεν υπάρχουν κανάλια η προσπάθεια δεν χαρακτηρίζεται αποτυχημένη, αλλά γίνεται αλλαγή του σταθμού εξυπηρέτησης ($C_b \rightarrow C_b'$) στον επόμενο σταθμό στον ταξινομημένο πίνακα. Για να χαρακτηριστεί αποτυχημένη η προσπάθεια θα πρέπει να εξεταστούν όλοι οι διαθέσιμοι σταθμοί που υπάρχουν στον πίνακα και να μη μπορεί κανένας τους να δώσει κανάλια. Ο τρόπος αυτός έχει σκοπό κυρίως την αύξηση των επιτυχιών του συστήματος αλλά και την μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών στις πρώτες επαναλήψεις. Η συγκεκριμένη τεχνική έχει πολυπλοκότητα στην χειρότερη περίπτωση $O_{ERMK}(128*19)$ αφού κάθε φορά ελέγχει τα κανάλια και στην περίπτωση που ο τελευταίος σταθμός μόνο μπορεί να εξυπηρετήσει θα τα σκανάρει 19 φορές (ΚΩΔΙΚΑΣ 3).

$$\begin{aligned} find\ BSb : b \in (\max(K)) \cap (|C_b| \geq S_n) \\ U_n \leftarrow rand(S_n, C_b) \\ C_b \leftarrow C_b \setminus U_n \end{aligned} \quad (7.7)$$

7.2.4 ΑΝΑΘΕΣΗ ΜΕ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΥΨΕΛΗΣ-ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΑ ΜΕ ΒΑΡΗ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΨΕΥΔΟΤΥΧΑΙΑ Α (RWRS)

Η δεύτερη προτεινόμενη τεχνική είναι η RWRS. Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται τεχνικές αποδοτικής φασματικής απόδοσης που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 5. Η κυψέλη κατατιμίζεται σε δυο περιοχές, την εσωτερική ($r \leq \frac{r}{2}$) και την εξωτερική ($r > \frac{r}{2}$), (Εικόνα 7.6).



Εικόνα 7-6– Μορφή μεμονωμένης κυψέλης της τεχνικής RWRS

Αν ο χρήστης ανήκει στην εσωτερική περιοχή χρησιμοποιείται μια παραλλαγή της Random, που αντί για ίσες πιθανότητες ανά διαθέσιμο υποκανάλι δίνει πιθανότητα με βάρος, εκμεταλλευόμενοι την ιδιότητα της *randsample* να προσδίδει βάρη, με τιμή:

$$weight = F_{max} - F_N \quad (7.8)$$

όπου F_{max} είναι η συχνότητα εμφάνισης του υποκαναλιού με την μέγιστη χρησιμοποίηση ανά τους σταθμούς και F_N είναι η συχνότητα εμφάνισης κάθε ενός από τα υπόλοιπα υποκανάλια.

Στην εξωτερική δίνονται με Random, ανάλογα το τομέα που βρίσκεται ο χρήστης: τα υποκανάλια 1-43 για τους τομείς 1, τα 44-87 (C_{ba}) για τους τομείς 2 (C_{bb}) και τα 88-128 (C_{bc}) για τους 3. Ο τρόπος αυτός έχει σαν σκοπό την μείωση των ομοδιαυλικών παρεμβολών, περιμένοντας μείωση των επιτυχιών μιας και ο αλγόριθμος γίνεται πιο σκληρός από την Random. Η συγκεκριμένη τεχνική έχει πολυπλοκότητα $O_{RWRS}(128)$ στην χειρότερη περίπτωση αφού κάθε φορά σκανάρει όλα τα κανάλια για να δει ποια είναι κατειλημμένα, αν ο χρήστης ανήκει στο πρώτο μισό της κυψέλης (ΚΩΔΙΚΑΣ 4).

$$\begin{aligned}
 & \text{if} \left(\text{Dist}(MT_n, BS_b) \leq \frac{r}{2} \right) \text{then} \\
 & \quad U_n \leftarrow \text{rand}(S_n, C_b, \text{weight}) \\
 & \quad C_b \leftarrow C_b \setminus U_n \\
 & \text{else} \\
 & \quad \text{if} (MT_n \in \text{sector}_1) \text{then} \\
 & \quad \quad U_n \leftarrow \text{rand}(S_n, C_{ba}) \\
 & \quad \quad C_b \leftarrow C_b \setminus U_n \\
 & \quad \text{elseif} (MT_n \in \text{sector}_2) \text{then} \\
 & \quad \quad U_n \leftarrow \text{rand}(S_n, C_{bb}) \\
 & \quad \quad C_b \leftarrow C_b \setminus U_n \\
 & \quad \text{elseif} (MT_n \in \text{sector}_3) \text{then} \\
 & \quad \quad U_n \leftarrow \text{rand}(S_n, C_{bc}) \\
 & \quad \quad C_b \leftarrow C_b \setminus U_n
 \end{aligned} \quad (7.9)$$

1	2	3	4	5	42	43
---	---	---	---	---	------	----	----

Εικόνα 7-7– Παράδειγμα ανάθεσης πρώτων 3 υποκαναλιών με την μέθοδο RWRS για την εξωτερική περιοχή, τομέα 1

7.2.5 ΑΝΑΘΕΣΗ ΒΑΣΕΙ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΘΟΥΡΥΒΙΚΟΥ ΛΟΓΟΥ (MSNR)

Η τεχνική MSNR (Maximization of Signal to Noise Ratio) είναι η μόνη τεχνική με CSI που εξετάστηκε. Η συγκεκριμένη τεχνική αναθέτει κανάλια (U_n), στον εκάστοτε χρήστη, με τον καλύτερο σηματοθορυβικό λόγο υπολογίζοντας το μέσω ενός ερμιτιανού πίνακα που οι τιμές του καθορίζονται τυχαία και οι διαστάσεις του εξαρτώνται από το πλήθος των υποκαναλιών, το πλήθος των κεραιών και των τομέων. Πιο συγκεκριμένα δημιουργούμε έναν ερμιτιανό πίνακα πέντε διαστάσεων ανά χρήστη, [με τις διαστάσεις να είναι: πλήθος κεραιών πομπού(2), πλήθος κεραιών δέκτη(2),πλήθος υποκαναλιών(128) σταθμοί (19), τομείς (3)] και μέσω αυτού υπολογίζεται το SNR . Στην συνέχεια αφού έχει υπολογιστεί το SNR για κάθε υποκανάλι, δίνονται στον χρήστη τα υποκανάλια πλήθους S_n με το μεγαλύτερο SNR . Η συγκεκριμένη τεχνική αποσκοπεί στο να δώσει τα καλύτερα από άποψη ποιότητας κανάλια, χωρίς όμως να την απασχολούν οι ομοιοδιαυλικές παρεμβολές. Η MSNR έχει πολυπλοκότητα, στην χειρότερη περίπτωση, $O_{MSNR}(128*128)$ αφού προβαίνει σε ταξινόμηση των 128 καναλιών, χρησιμοποιώντας *quicksort* (ΚΩΔΙΚΑΣ 5).

$$SNR_n \leftarrow sort(SNR_n)$$

$$U_n \leftarrow SNR_n \left[(|C_b| - S_n) : |C_b| \right] \quad (7.10)$$

$$C_b \leftarrow C_b \setminus U_n$$

1	2	3	4	5	127	128
---	---	---	---	---	------	-----	-----

α)

5	1	127	101	87	3	55
---	---	-----	-----	----	------	---	----

β)

Εικόνα 7-8– Παράδειγμα Ανάθεσης 3 ραδιοδιαυλων. Α) Διαθέσιμα κανάλια. Β) Ταξινόμηση διαθέσιμων καναλιών σε φθίνουσα σειρά κατά SNR

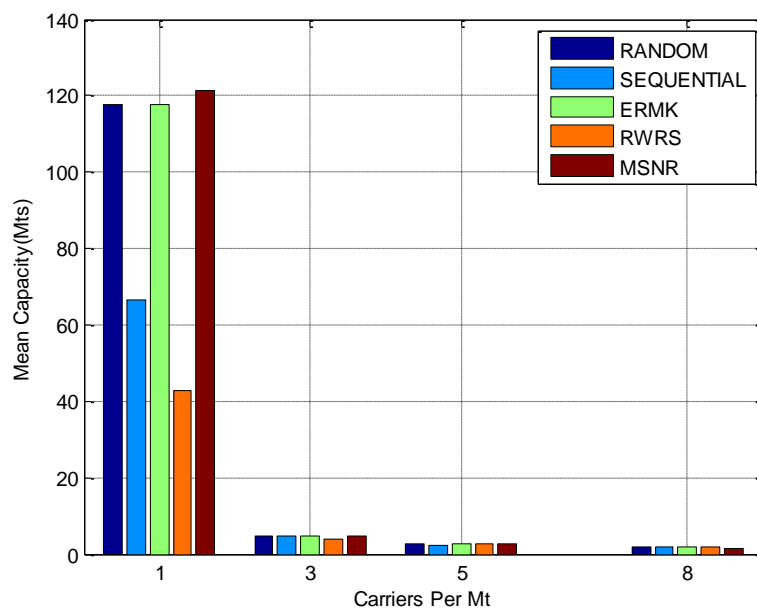
7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕΜΟΝΟΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην συνέχεια θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων μέσω της χρήσης γραφημάτων, χωρισμένων ανά μετρήσιμων μεταβλητών και ανά πιθανότητα αποτυχίας.

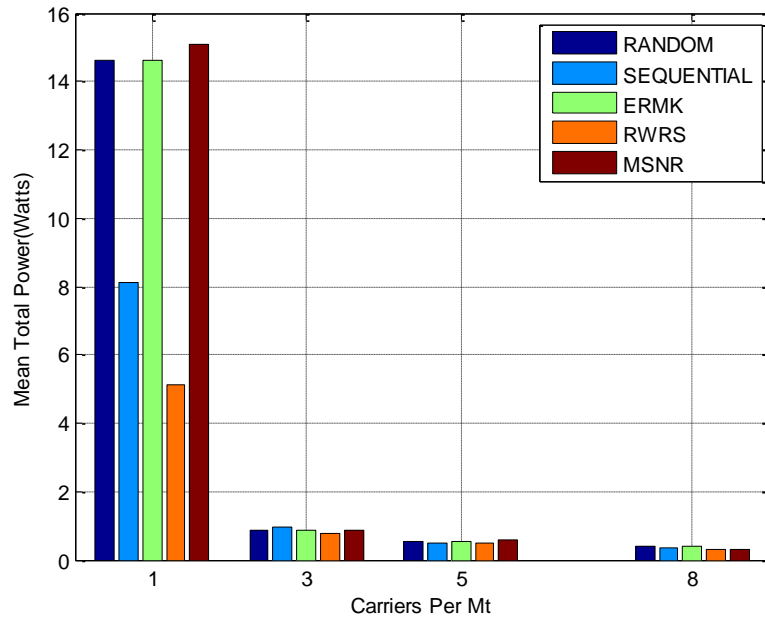
Πριν ξεκινήσει η ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων, σκόπιμη είναι η αναφορά στο τι αναμένεται, από θεωρητικής πλευράς, από τα αποτελέσματα αυτά.

Βάσει της λογικής για μικρότερο αριθμό καναλιών ανά χρήστη αναμένονται περισσότεροι χρήστες, όπως και για μεγαλύτερο ποσοστό πιθανότητας αποτυχίας, μιας και το σύστημα γίνεται πιο ανεκτικό. Η ισχύς ανά χρήστη αναμένεται στα ίδια επίπεδα, με μικρές αυξήσεις ανάλογα το πλήθος των καναλιών ανά χρήστη, σε όλα τα σενάρια μιας και τα κριτήρια ελέγχου ισχύος παραμένουν τα ίδια ανεξαρτήτου σεναρίου. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η συνολική ισχύς θα ακολουθήσει την χωρητικότητα μιας και θεωρητικά ισούται με το γινόμενο της χωρητικότητας επί την μέση ισχύ ανά χρήστη. Για τις μεθόδους απόδοσης καναλιών αναμένεται: η Random, χάρει στην φύση της δεν έχει προβλεπόμενα αποτελέσματα, η Sequential ίσως είναι η χειρότερη από όλες τις μεθόδους μιας και αναθέτει τα ίδια κανάλια δυσχεραίνοντας τις ισχύεις ανά χρήστη λόγω ομοδιαυλικών παρεμβολών, η ERMK αναμένεται να έχει υψηλή χωρητικότητα και υψηλή ισχύς, η RWRS χαμηλή χωρητικότητα αλλά καλή συμπεριφορά προς τις ομοδιαυλικές παρεμβολές και τέλος η MSNR υψηλή χωρητικότητα άλλα άγνωστη συμπεριφορά προς τις ομοδιαυλικές παρεμβολές.

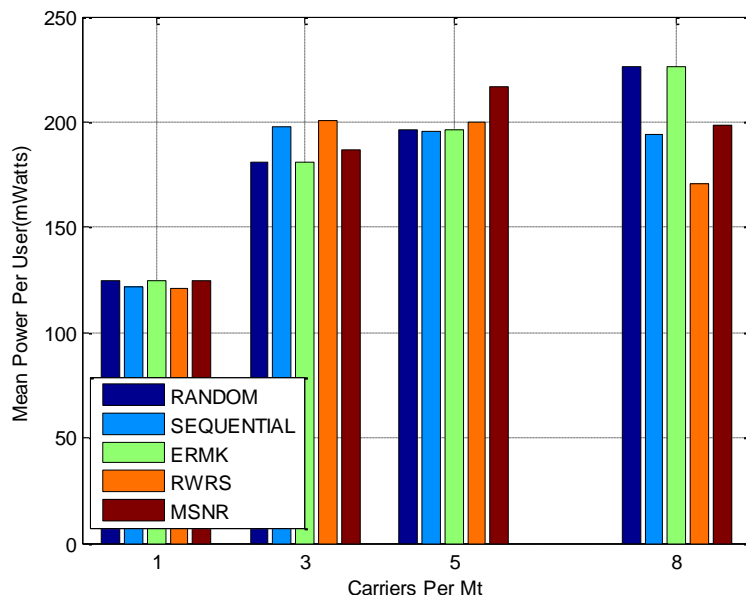
Πρώτα θα εξεταστεί η ομάδα προσομοιώσεων για πιθανότητα αποτυχίας 10%. Στην Εικόνα 7-9 παρατηρείται ότι λόγω της χαμηλής πιθανότητας αποτυχίας η χωρητικότητα παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, με τις μεθόδους να αποδίδουν τα αναμενόμενα και την MSNR να ξεχωρίζει ως η καλύτερη. Στην Εικόνα 7-10 η ισχύς όπως αναμενόταν ακολουθεί την χωρητικότητα με την MSNR να έχει την υψηλότερη μέση συνολική ισχύ. Στην Εικόνα 7-11 η μέση ισχύς ανά χρήστη παραμένει σχεδόν ίδια ανά πλήθος υποκαναλιών, με μικρές αυξήσεις ανάλογα την αύξηση των αποδιδόμενων καναλιών. Συμπερασματικά η ομάδα σεναρίων για ΠΑ=10%, αν και πιο κοντά στην πιθανότητες αποτυχίας της πραγματικότητας, δεν επιτρέπει εις βάθος ανάλυση κάθε μεθόδου και σύγκριση μεταξύ αυτών, μιας και οι μέθοδοι δεν προλαβαίνουν να λειτουργήσουν κανονικά λόγω του πολύ σύντομου τερματισμού τους.



Εικόνα 7-9 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=10%



Εικόνα 7-10 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=10%

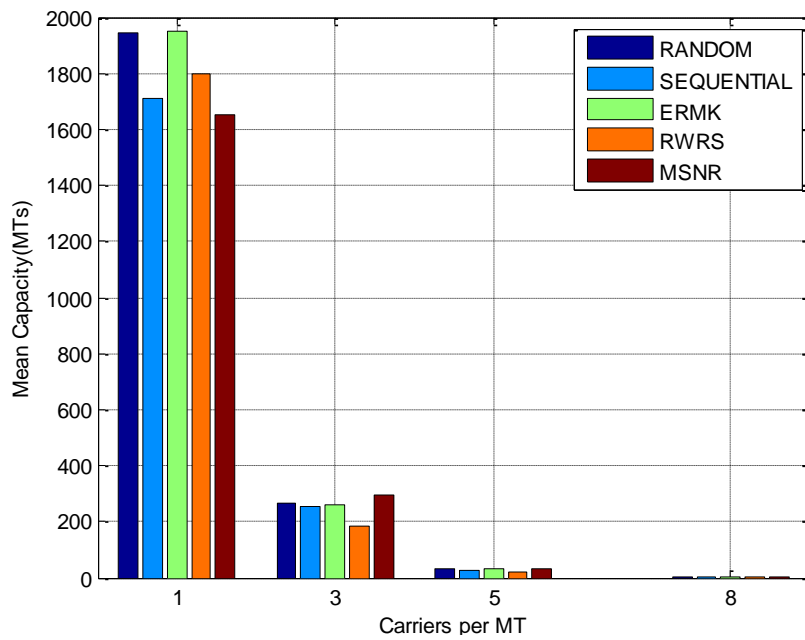


Εικόνα 7-11 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=10%

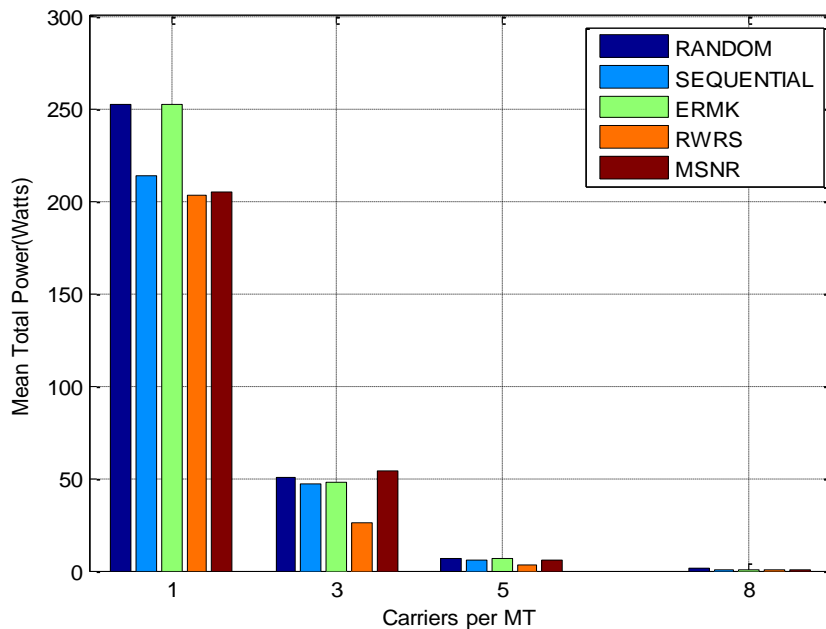
Η επόμενη ομάδα σεναρίων προς εξέταση είναι η ομάδα για ΠΑ=30%. Η συγκεκριμένη ΠΑ θεωρείται ιδανική για τις προσομοιώσεις μιας και επιτρέπει στις μεθόδους να λειτουργήσουν χωρίς βεβιασμένο τερματισμό, ενώ παράλληλα παραμένει κοντά στις πιθανότητες αποτυχίας της πραγματικότητας. Για αυτόν τον λόγο η συγκεκριμένη πιθανότητα αποτυχίας επιλέχτηκε και για την μελέτη των ομοδιαυλικών παρεμβολών αλλά και για την μελέτη του ετερογενούς συστήματος.

Στην Εικόνα 7-12 παρατηρείται ότι στην περίπτωση που δίνεται 1 υποκανάλι ανά χρήστη οι καλύτερες μέθοδοι είναι οι Random και ERMK, με την χειρότερη να είναι όπως αναμένεται η Sequential. Για 3 υποκανάλια ξεχωρίζει η MSNR με την RWRS να είναι η χειρότερη. Για 5 οι τρεις μέθοδοι MSNR, ERMK και Random ξεχωρίζουν

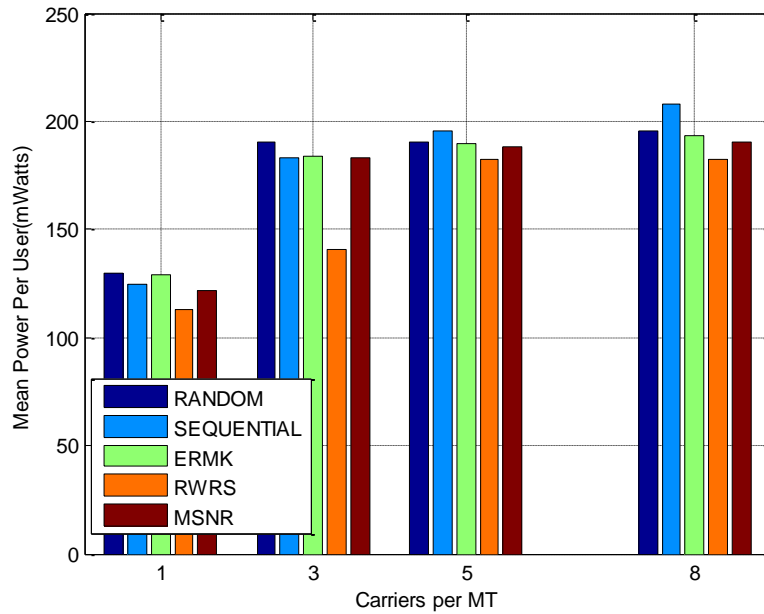
με τις άλλες δύο να έχουν χαμηλά αποτελέσματα. Για 8 υποκανάλια όλες οι μέθοδοι εκφυλίζονται αποδίδοντας πολύ χαμηλά. Στην Εικόνα 7-13 παρατηρούνται τα αναμενόμενα, με σημαντική παρατήρηση για την RWRS, η οποία σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους έχει καλύτερη αναλογία μέσης ισχύος-μέσης χωρητικότητας κάνοντας την πιο ενεργειακά οικονομική μέθοδο. Στην Εικόνα 7-14 άξια προς παρατήρηση είναι μέση ισχύς ανά χρήστη της Sequential, η οποία είναι πολύ υψηλή λόγω των ομοδιαυλικών παρεμβολών και της RWRS, η οποία είναι χαμηλή.



Εικόνα 7-12 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=30%

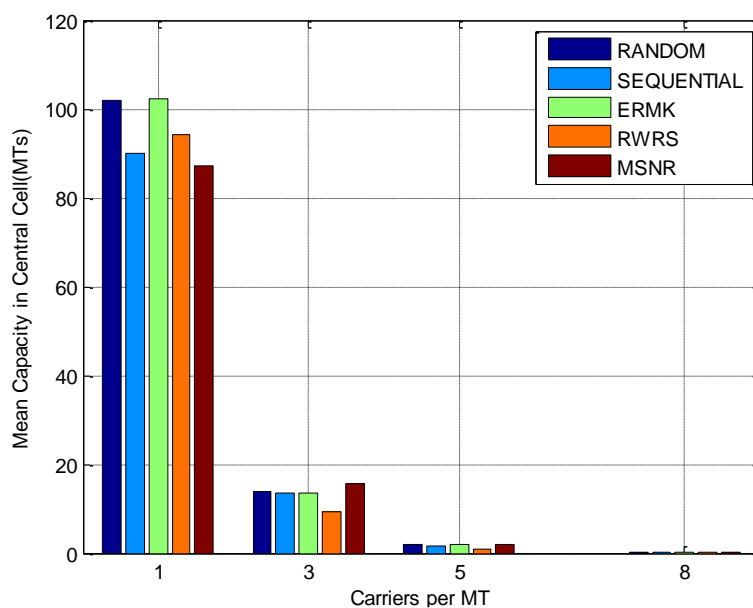


Εικόνα 7-13 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=30%



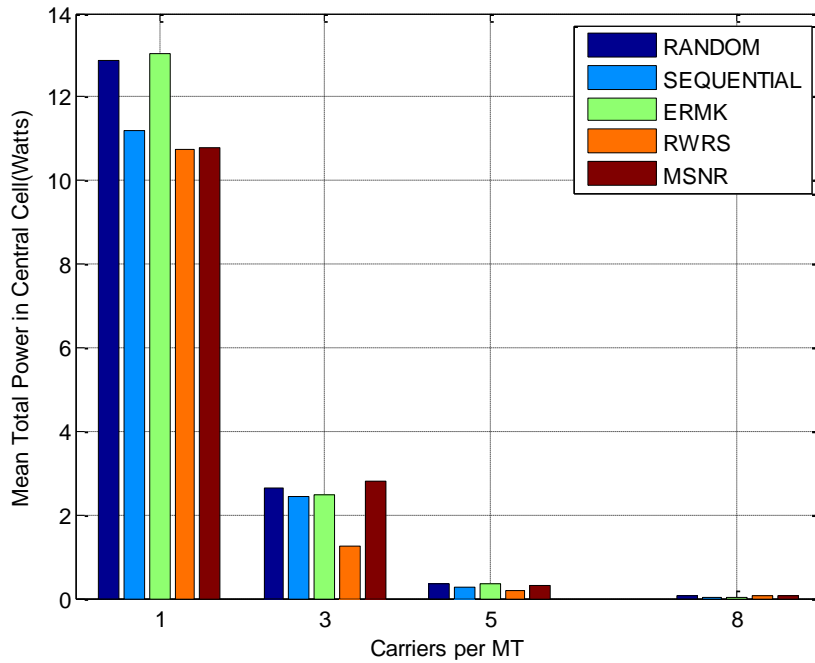
Εικόνα 7-14 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=30%

Στην συνέχεια εξετάζεται η συμπεριφορά των μεθόδων στην κεντρική κυψέλη, οδηγώντας σε συμπεράσματα για τον τρόπο αντιμετώπισης των ομοδιαυλικών παρεμβολών κάθε μεθόδου. Παρατηρείται ανάλογη συμπεριφορά με το σύνολο του συστήματος, όπως φαίνεται αν συγκρίνουμε τις Εικόνες 7-12 και 7-15, αποτέλεσμα πού είναι αποθαρρυντικό για την RWRS που κατασκευάστηκε συγκεκριμένα για την καταπολέμηση των ομοδιαυλικών παρεμβολών. Στις Εικόνες 7-16 και 7-17 παρατηρούνται ανάλογα αποτελέσματα με το σύνολο του συστήματος με την RWRS να είναι η πιο ενεργειακά αποδοτική μέθοδος. Εξετάζοντας ως σύνολο τα γραφήματα για την κεντρική κυψέλη, συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά από το σύνολο του συστήματος, γεγονός που ίσως οφείλεται στο μικρό μέγεθος του εξεταζόμενου συστήματος.

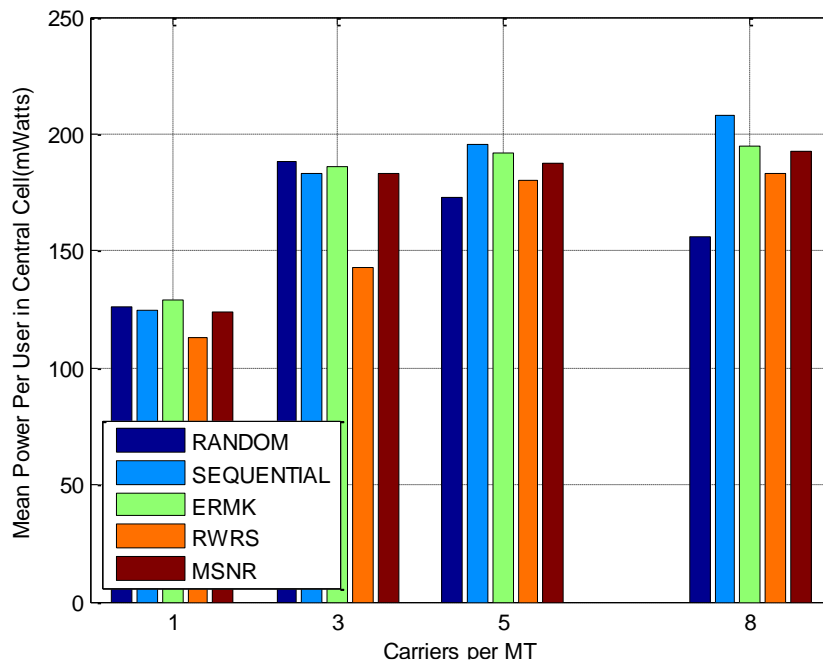


Εικόνα 7-15 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=30% στην Κεντρική Κυψέλη

Συμπερασματικά για τα αποτελέσματα της ΠΑ=30%: οι μέθοδοι Random, MSNR, ERMK ξεχωρίζουν ως οι μέθοδοι με τις μεγαλύτερες χωρητικότητες, με την Sequential να είναι η χειρότερη σε όλα τα επίπεδα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η RWRS η οποία δεν έχει σταθερά αποτελέσματα αλλά παρουσιάζει την καλύτερη ενεργειακή απόδοση.



Εικόνα 7-16 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=30% στην Κεντρική Κυψέλη



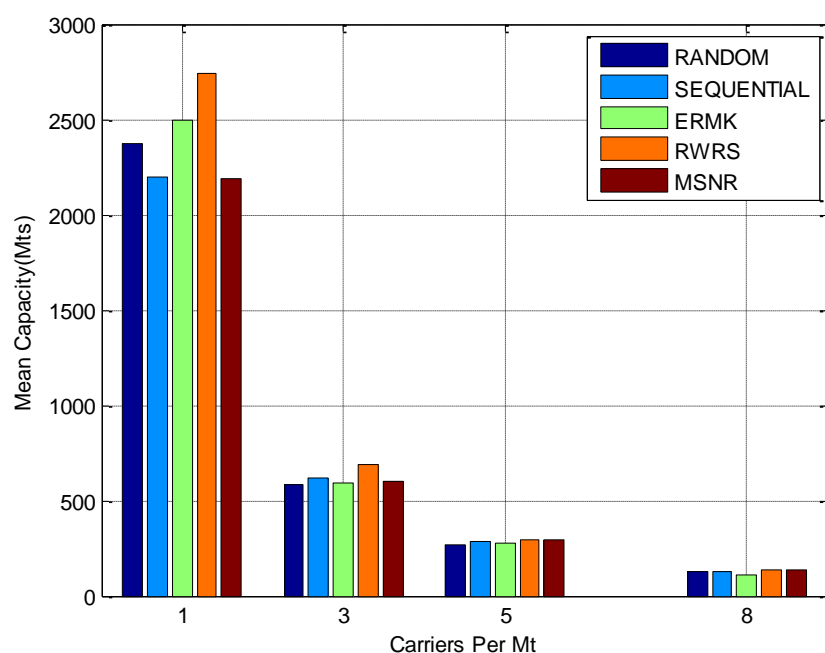
Εικόνα 7-17 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=30% στην Κεντρική Κυψέλη

Τελευταία ομάδα μετρήσεων είναι αυτή με ΠΑ=50%. Η συγκεκριμένη πιθανότητα αποτυχίας είναι πολύ υψηλή, που θεωρείται μη αποδεκτή για την πραγματικότητα, αλλά επιτρέπει στις μεθόδους να αποδώσουν τα μέγιστα.

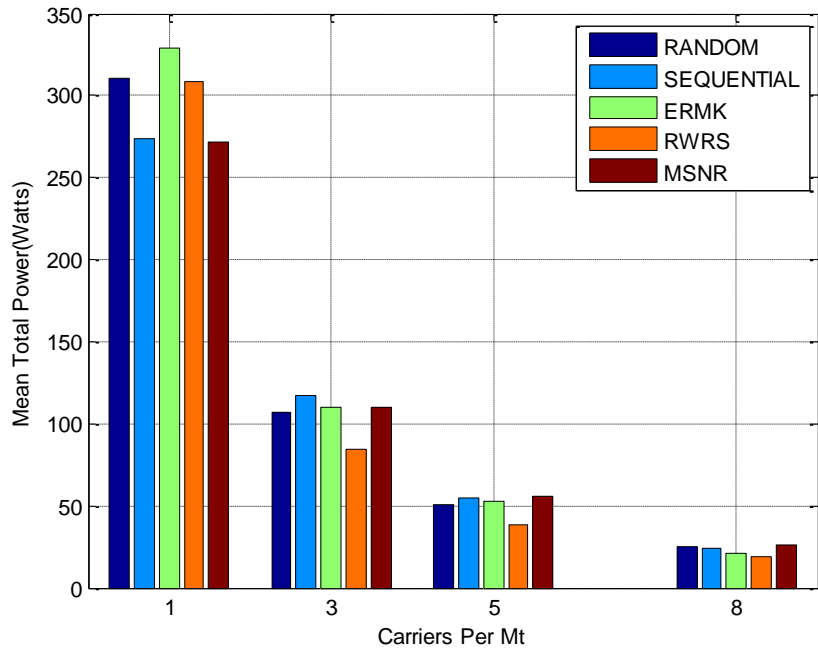
Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται στην Εικόνα 7-18 ότι οι μέθοδοι Sequential και RWRS που είχαν τις χαμηλότερες χωρητικότητες, αυξήθηκαν πολύ με την RWRS να γίνεται η καλύτερη όλων. Επίσης παρατηρείται γενική αύξηση στην περίπτωση των 8 υποκαναλιών, μιας και επιτρέπονται περισσότερες αποτυχημένες προσπάθειες. Στις Εικόνες 7-19 και 7.20 φαίνεται να κυριαρχεί η RWRS συνδυάζοντας χαμηλές τιμές ισχύος και υψηλή χωρητικότητα.

Συμπερασματικά για τις μετρήσεις με ΠΑ=50%, η RWRS αναπάντεχα ανέβασε πολύ την απόδοση της, όπως και η Sequential. Τα αποτελέσματα όμως αυτά δεν θα έχουν αντίκτυπο στην πραγματικότητα, μιας και η πιθανότητα αποτυχίας είναι πάρα πολύ ψηλή για να είναι αποδεκτή.

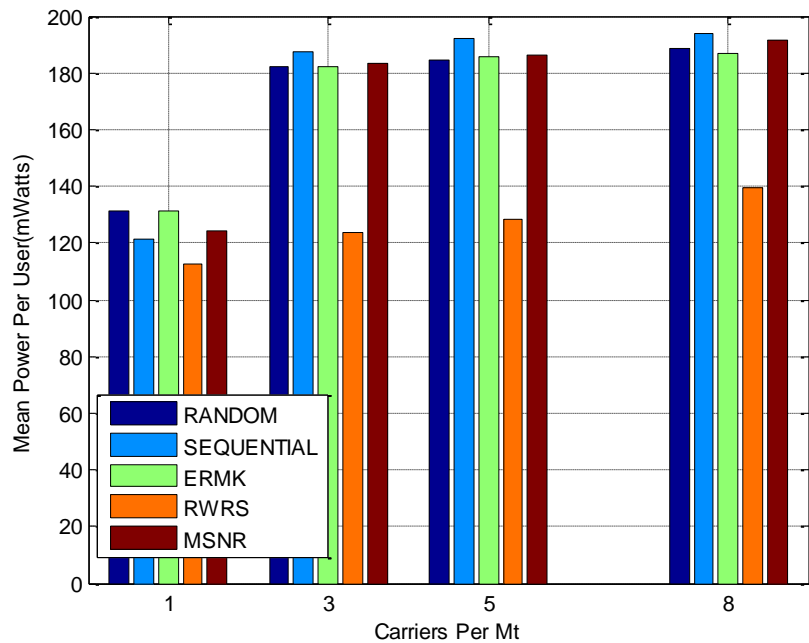
Τελικά συμπεράσματα μετά την ανάλυση των προσομοιώσεων για το δίκτυο MAN είναι ότι κάθε μέθοδος προσφέρει κάτι διαφορετικό με την Random να ξεχωρίζει αφού συνδυάζει απλότητα και αποδοτικότητα. Οι προτεινόμενες ERMK και RWRS δεν απέδωσαν τα αναμενόμενα αν και εμφάνισαν σε κάποια σενάρια τα θετικά τους σημεία. Η Sequential αν και η πιο απλή από τις μεθόδους κρίνεται μη-αποδοτική και η MSNR, αν και πολύπλοκη δεν πρόσφερε πολλά περισσότερα από την Random. Επίσης από τις προσομοιώσεις του MAN έγινε κατανοητό ότι για τα σενάρια MAN/LAN ιδανικές συνθήκες είναι η ΠΑ=30% και τα 3 και 5 υποκανάλια, μιας και δεν εκφυλίζουν το δίκτυο όπως τα 8, και είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα από ότι το 1. Τέλος αντιληπτό έγινε ότι για διαφορετικά είδη υπηρεσίας, δηλαδή διαφορετικά πλήθη υποκαναλιών ανά χρήστη, συμφέρουν διαφορετικές ΠΑ, όπως το παράδειγμα για ΠΑ=50% με 8 υποκανάλια ανά χρήστη.



Εικόνα 7-18 Μέση Χωρητικότητα για ΠΑ=50%



Εικόνα 7-19 Μέση Συνολική Ισχύς για ΠΑ=50%



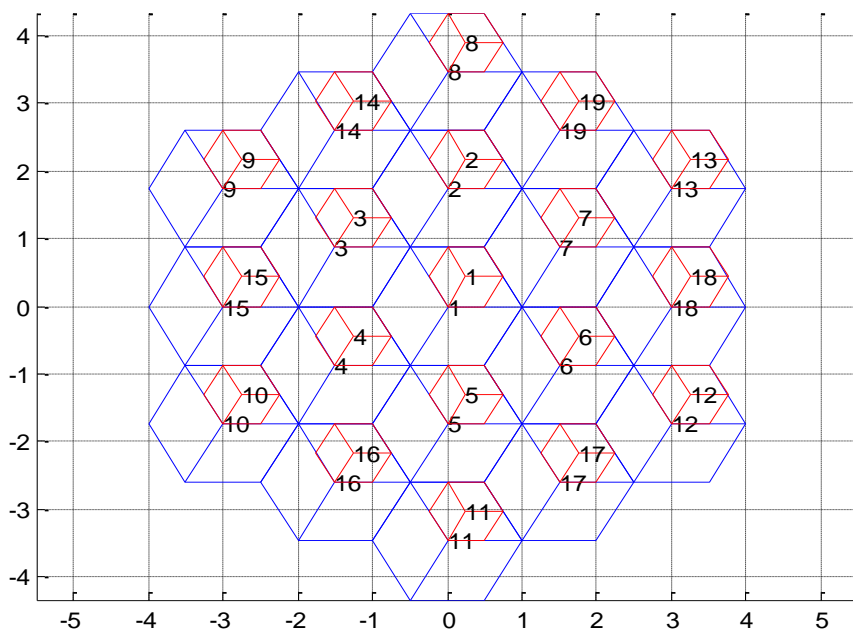
Εικόνα 7-20 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη για ΠΑ=50%

7.4 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στην πλατφόρμα προσομοίωσης του ετερογενούς δικτύου (MAN/LAN) χρησιμοποιήθηκε ο προϋπάρχων αλγόριθμος του δικτύου MAN, μιας και το δίκτυο LAN έχει ακριβώς τις ίδιες αρχές λειτουργίας και δεν επηρεάζεται από το MAN λόγω λειτουργίας του σε διαφορετικές συχνότητες. Το καινούριο που προστίθεται είναι η διαφορετική γεωμετρία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-21.

Ουσιαστικά εισέρχεται ο χρήστης ακριβώς όπως αναφέρθηκε στο μεμονωμένο δίκτυο, και με την είσοδο του παίρνεται η απόφαση σε ποιο από τα δύο υποδίκτυα θα

εξυπηρετηθεί, εφόσον είναι δυνατή η εξυπηρέτηση του. Προτεραιότητα δίνεται στο δίκτυο LAN, γιατί έχει μικρότερη κάλυψη οπότε και μικρότερη πιθανότητα να εξυπηρετηθεί από το δίκτυο MAN. Οι τιμές των μεταβλητών των σεναρίων του ετερογενούς φαίνονται στον Πίνακα 7-2.

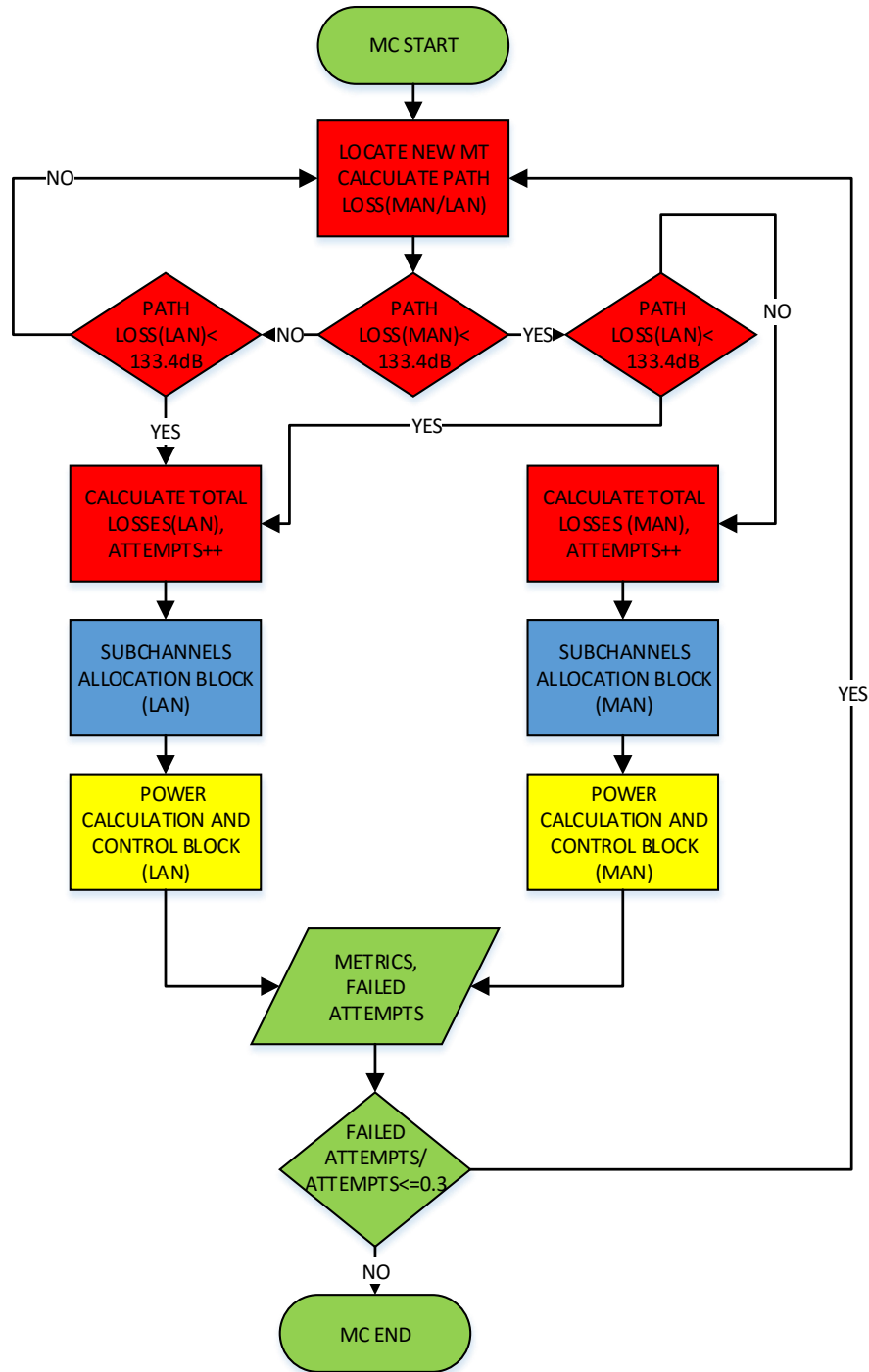


Εικόνα 7-21 Γεωμετρία ετερογενούς δικτύου για 19(1Km)-19(0.5Km)κυψέλες

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΤΙΜΕΣ
ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΛΥΨΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ(MAN/LAN)	1/0.5Km
ΠΛΗΘΟΣ ΚΥΨΕΛΩΝ(MAN/LAN)	38 κυψέλες(19/19)
ΔΙΚΤΥΟ	MAN-LAN (WiMAX/LTE-Wi-Fi)
ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ CSMA/CD
ΤΕΧΝΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	QPSK
ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΙΜΟ ΣΕ ΣΤΑΘΜΟ/ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ(Mt/Mr)	2/2
ΥΨΗ ΚΕΡΑΙΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ(MAN-LAN)/ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	30-15/1.5 m
ΚΕΡΔΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ(MAN-LAN)/ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	14-11/0 dB
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΚΕΡΑΙΑΣ ΚΙΝΗΤΟΥ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ	133.4dB
ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	Cost 231-Hata
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΚΙΑΣΗΣ	8 dB
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΕΡΑΙΩΝ	Εικόνα 7.2
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ (MAN-LAN)	10-10MHz
ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ	-104dBm
ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ ΑΝΑ ΚΥΨΕΛΗ(MAN-LAN)	128-128 υποκανάλια
ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ ΑΝΑ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ	3,5-3,5 υποκανάλια
ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ	30%
SINR(MAN-LAN)	9.6 -9.6,6dB
ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΙ ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΩΝ(MAN-LAN)	3-3,5-5,3-5,5-3
ΠΛΗΘΟΣ ΜΟΝΤΕ CARLO	250

Πίνακας 7-2 Συγκεντρωτικός πίνακας παραμέτρων μεμονωμένου δικτύου

Το κάθε υποδίκτυο έχει δικούς του πίνακες που αποθηκεύονται τα στοιχεία του κάθε χρήστη-τερματικού που εξυπηρετεί, με τις μόνες κοινές μεταβλητές τους να είναι οι αποτυχημένες προσπάθειες και οι συνολικές προσπάθειες. Η λειτουργία του ετερογενούς φαίνεται στην Εικόνα 7-22 σε μορφή διαγράμματος ροής, ακολουθώντας τον χρωματικό κώδικα του αντίστοιχου διαγράμματος του μεμονωμένου δικτύου, για καλύτερη εποπτεία και κατανόηση.



Εικόνα 7-22 Διάγραμμα ροής του ετερογενούς συστήματος

7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων του ετερογενούς συστήματος μέσω της χρήσης γραφημάτων, χωρισμένων ανά μετρήσιμων μεταβλητών και τύπο δικτύου (MAN/LAN, MAN, LAN).

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται ανά δίκτυο είναι οι Random, ERMK και RWRS. Η Sequential απορρίφθηκε ως μη αποδοτική, και η MSNR λόγω πολυπλοκότητας και αδυναμίας εφαρμογής στο LAN δίκτυο. Η RWRS εφαρμόζεται μόνο στο MAN, μιας και το LAN δεν έχει την δυνατότητα διάσπασης κυψελών. Οι συνδυασμοί που προσομοιώνονται είναι οι (LAN-MAN): Random-Random (R-R), Random-ERKM (R-E), ERMK-Random (E-R), ERMK-ERMK (E-E), Random-RWRS (R-S) και ERMK-RWRS (E-S). Αντίστοιχα οι συνδυασμοί υποκαναλιών ανά χρήστη είναι (LAN-MAN): 3-5, 5-3, 5-5, 3-3.

Στα πρώτα σενάρια που πραγματοποιήθηκαν το LAN υποδίκτυο είχε τιμή SINR = 9.6dB, αλλά τα αποτελέσματα έδειξαν έναν δίκτυο εκφυλισμένο, με χειρότερη απόδοση από το μεμονωμένο, για αυτό και δεν παρουσιάζεται στην συνέχεια. Το φαινόμενο αυτό δικαιολογείται στην φύση του δικτύου LAN, το οποίο είναι χειρότερο σε ποιότητα από το MAN, και δεν μπορεί να φτάσει την ίδια απόδοση, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι τα ετερογενή δίκτυα, αν και εν δυνάμει πολύ αποδοτικά, απαιτούν σωστή διαχείριση.

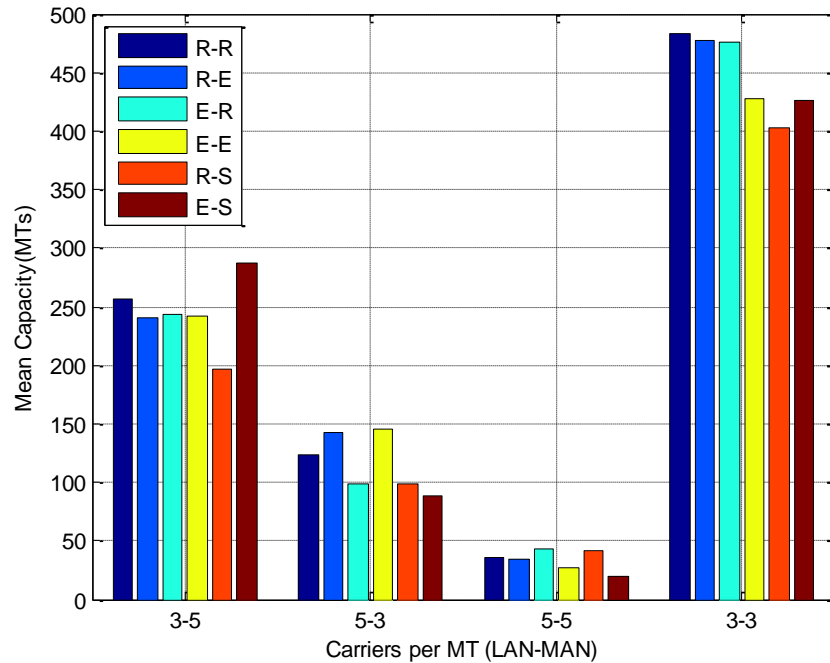
Τα επόμενα σενάρια είχαν την μεταβλητή του SINR για το LAN υποδίκτυο ίση με 6dB, όπου το ετερογενές δίκτυο λειτούργησε όπως αναμενόταν, δηλαδή σχεδόν διπλασίασε την απόδοση του σε κάποια σενάρια. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-23 η μέση χωρητικότητα του ετερογενούς δικτύου αυξάνεται όσο μειώνεται το πλήθος των υποκαναλιών ανά χρήστη ανά υποδίκτυο, με το πλήθος των υποκαναλιών του LAN να έχει μεγαλύτερη βαρύτητα λόγω της προτεραιότητας που του έχει δοθεί. Οι συνδυασμοί των μεθόδων έχουν μεταβλητά αποτελέσματα ανά σενάριο, χωρίς να φαίνεται ξεκάθαρα κάποιος συνδυασμός πιο αποδοτικός από τους υπόλοιπους.

Το γεγονός ότι δόθηκε προτεραιότητα στο υποδίκτυο LAN φαίνεται στην Εικόνα 7-24, όπου οι λεπτές μπάρες αντιπροσωπεύουν το LAN, και οι πιο παχιές το MAN. Αυτό που παρατηρείται επίσης είναι η αύξηση της μέσης χωρητικότητας όταν στον συνδυασμό των υποκαναλιών δίνεται μικρότερο πλήθος στο υποδίκτυο LAN.

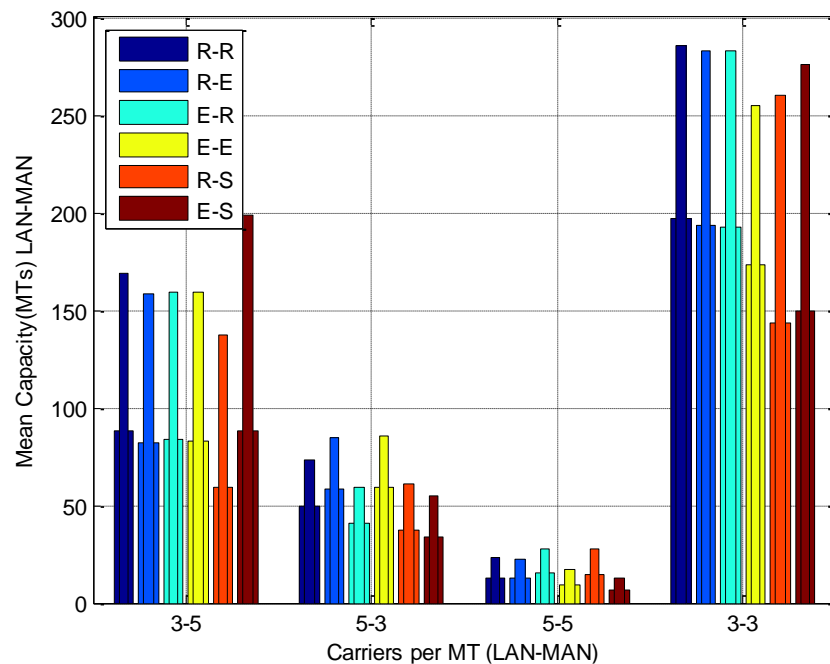
Στις επόμενες δύο Εικόνες 7-25 και 7-26 απεικονίζεται η μέση συνολική ισχύς. Παρατηρείται ότι αποδόθηκαν τα αναμενόμενα με τις ισχύεις να είναι ανάλογες των χωρητικοτήτων και τους συνδυασμούς μεθόδων που περιέχουν την RWRS να είναι πιο οικονομικοί από ενεργειακή πλευρά.

Οι μέση ισχύς ανά χρήστη για το ετερογενές παρέμεινε κοντά στα 200mW, για την πλειοψηφία των συνδυασμών, με την πιο χαμηλή να συναντάται στον συνδυασμό 3-3 και στις μεθόδους που περιέχουν την RWRS, όπως αναμενόταν (Εικόνα 7-27), μιας και ο υπολογισμός ισχύος γίνεται ανεξάρτητα και με τον ίδιο τρόπο που γινόταν στο

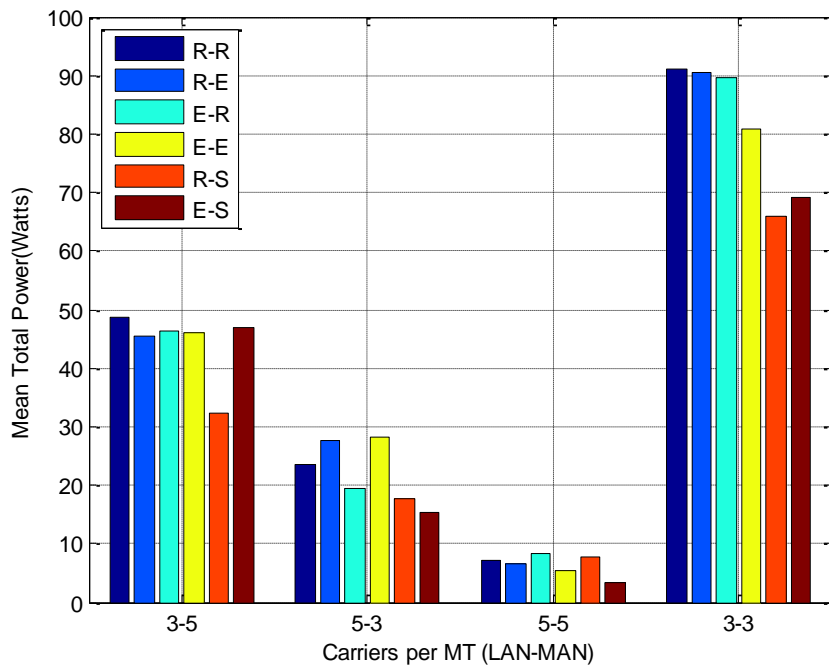
μεμονωμένο δίκτυο. Επίσης στην Εικόνα 7-28 παρατηρείται ότι το LAN στο μεγαλύτερο αριθμό των σεναρίων παρουσιάζει χαμηλότερη μέση ισχύ ανά χρήστη από το MAN, που δικαιολογείται στο γεγονός του μικρότερου *SINR*, εκτός κάποιων περιπτώσεων που το MAN χρησιμοποιεί την RWRS (Εικόνα 7-28).



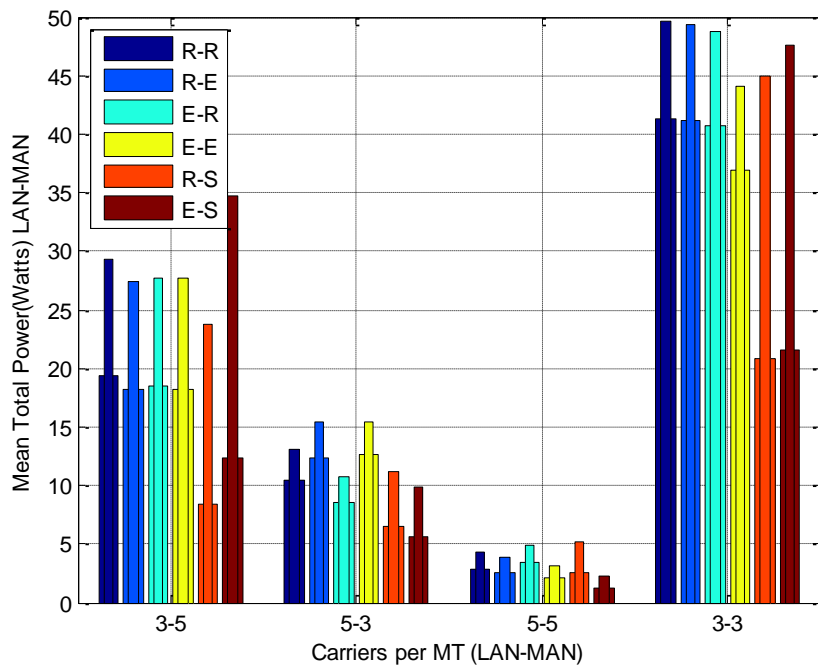
Εικόνα 7-23 Μέση Χωρητικότητα του ετερογενούς δικτύου ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών



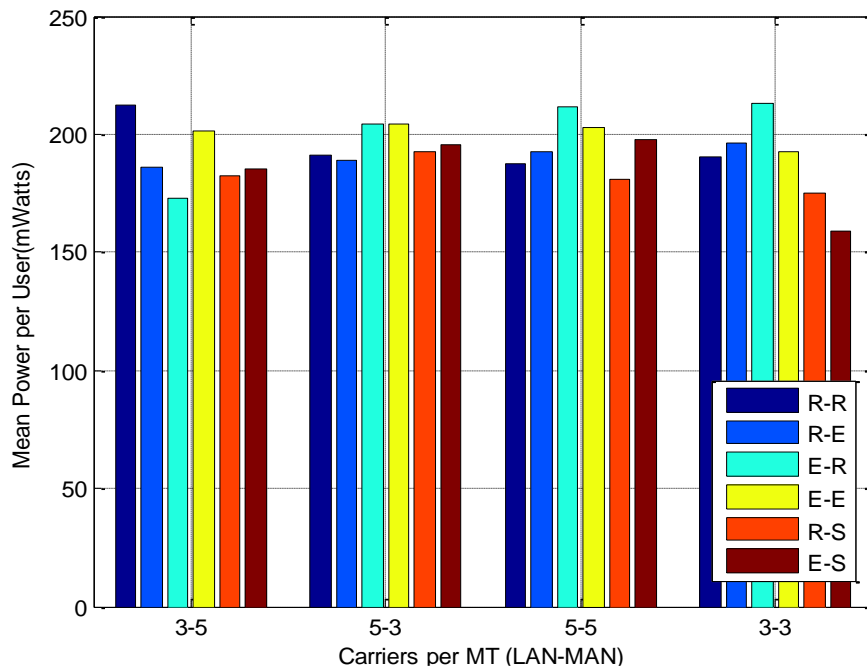
Εικόνα 7-24 Μέση Χωρητικότητα MAN(παχιές μπάρες)/LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών



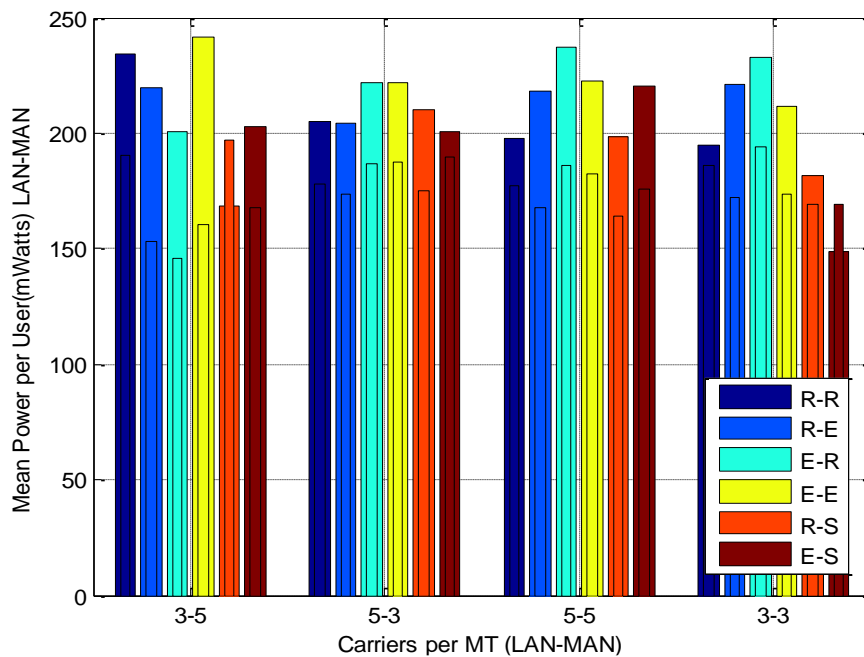
Εικόνα 7-25 Μέση Συνολική Ισχύς του ετερογενούς δικτύου ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών



Εικόνα 7-26 Μέση Συνολική Ισχύς MAN(παχιές μπάρες)/LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών

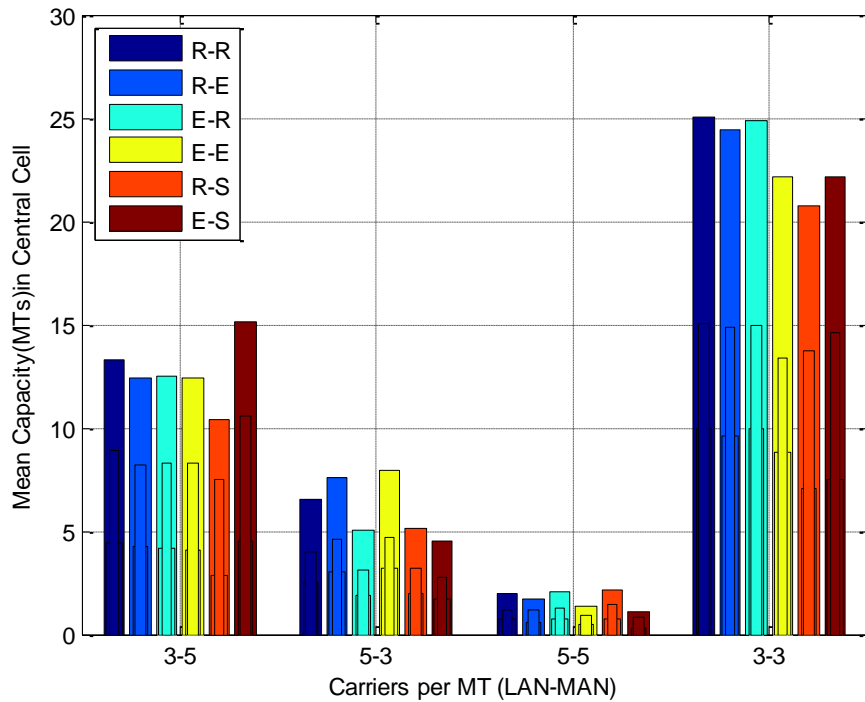


Εικόνα 7-27 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη του ετερογενούς δικτύου ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών

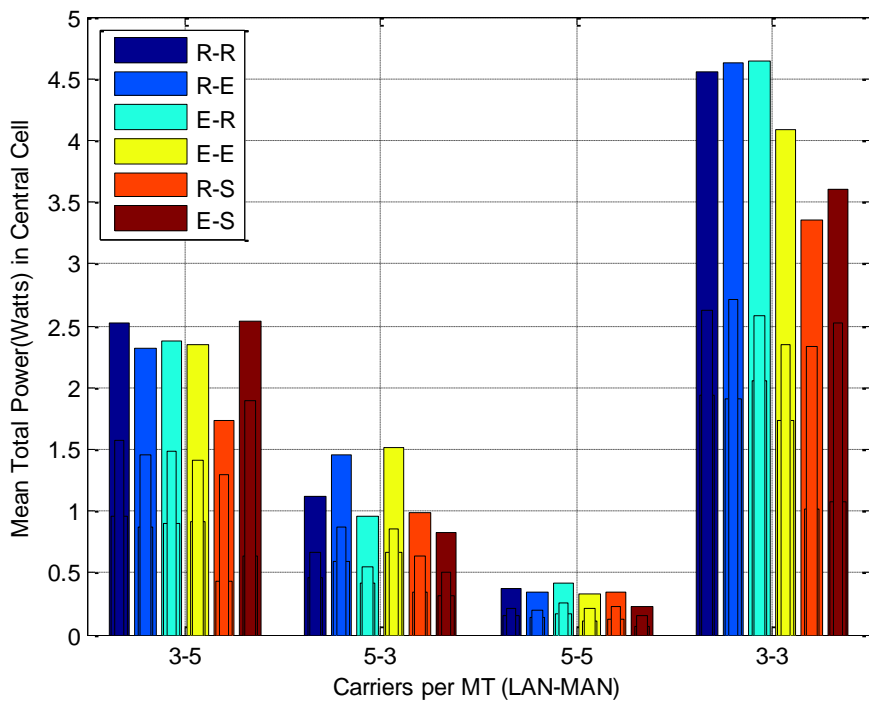


Εικόνα 7-28 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη MAN(παχιές μπάρες)/LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών

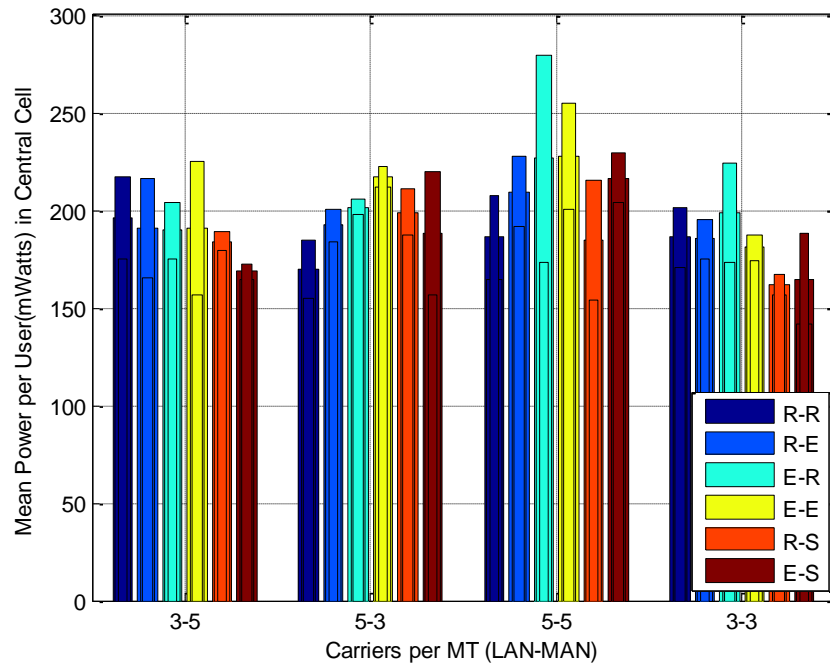
Οι τελευταίες Εικόνες 7.29-7.31 αφορούν την κεντρική κυψέλη (λεπτές μπάρες-LAN, μεσαίες μπάρες-MAN, παχιές μπάρες-MAN/LAN) παρατηρείται ότι ισχύουν τα ίδια με το υπόλοιπο σύστημα σε γενικές γραμμές, που δικαιολογείται στο μικρό αριθμό του συνόλου των κυψελών και ότι παρόλο που οι κυψέλες διπλασιάστηκαν από το μεμονωμένο σύστημα, τα δυο υποδίκτυα στα οποία ανήκουν λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες, μη αυξάνοντας τις ομοδιαυλικές παρεμβολές.



Εικόνα 7-29 Μέση Χωρητικότητα του ετερογενούς δικτύου(παχιές μπάρες), MAN υποδικτύου (μεσαίες μπάρες) και LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών στην κεντρική κυψέλη



Εικόνα 7-30 Μέση Συνολική Ισχύς του ετερογενούς δικτύου(παχιές μπάρες), MAN υποδικτύου (μεσαίες μπάρες) και LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών στην κεντρική κυψέλη



Εικόνα 7-31 Μέση Ισχύς ανά Χρήστη του ετερογενούς δικτύου(παχιές μπάρες), MAN υποδικτύου (μεσαίες μπάρες) και LAN(λεπτές μπάρες) ανά συνδυασμό μεθόδων και υποκαναλιών στην κεντρική κυψέλη

7.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΜΟΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΕΤΕΡΟΓΕΝΟΥΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτό το κεφαλαίο πραγματοποιείται σύγκριση του μεμονωμένου δικτύου με το ετερογενές μέσω της χρήσης πινάκων και της σύγκρισης των ποσοστιαίων μεταβολών των μετρούμενων μεταβλητών με κοινό παράγοντα τον τρόπο ανάθεσης υποκαναλιών και το πλήθος υποκαναλιών ανά χρήστη του δικτύου MAN.

Στον Πίνακα 7-3 διαπιστώνεται ότι οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες αυξήσεις μέσης χωρητικότητας έγιναν στους συνδυασμούς (LAN-MAN) 3-5 και 3-3, όπου δηλαδή δόθηκε μικρότερο πλήθος υποκαναλιών στο LAN, με τους συνδυασμούς που περιέχουν την RWRS να ξεχωρίζουν με αυξήσεις ως και 15 φορές την χωρητικότητα του μεμονωμένου. Μικρές αυξήσεις ή μειώσεις παρατηρούνται στους 5-3 και 5-5. Ο συνδυασμός 5-3 δικαιολογείται να έχει μειώσεις μιας και τα 3 υποκαναλία που δίνονται στο MAN, δεν μπορούν να γίνουν εκμεταλλεύσιμα σε μεγάλο βαθμό, μιας και προτεραιότητα έχει το LAN, το οποίο και θα οδηγήσει σε πιο γρήγορο τερματισμό του αλγορίθμου. Ο συνδυασμός 5-5 προσφέρει πολύ μικρές αυξήσεις, χωρίς να τον δικαιολογεί κάτι, κερδίζοντας τον χαρακτηρισμό του μη αποδοτικού.

Στον Πίνακα 7-4 εξετάζεται η μέση συνολική ισχύς του συστήματος, όπου παρατηρείται ανάλογη συμπεριφορά με την μέση χωρητικότητα, όπως αναμενόταν. Σημειώνεται ότι οι ποσοστιαίες αλλαγές στην μέση συνολική ισχύς είναι μικρότερες από τις αλλαγές στην μέση χωρητικότητα, γεγονός που καθιστά ενεργειακά αποδοτικό το ετερογενές δίκτυο. Οι συνδυασμοί που ξεχωρίζουν είναι αυτοί που περιέχουν την RWRS, που συνδυάζουν την μεγαλύτερη αύξηση από πλευρά μέσης χωρητικότητας με την μικρότερη ανάλογη αύξηση της μέσης συνολικής ισχύος.

Στον Πίνακα 7-5 εξετάζεται η μέση ισχύς ανά χρήστη όπου παρατηρούνται αυξομειώσεις της τάξης του 10%. Ξεχωρίζουν οι αυξήσεις του συνδυασμού 5-3 στους συνδυασμούς που περιέχουν την RWRS, που δικαιολογείται στο γεγονός ότι το MAN έχει πιο ενεργειακά βαριά μέθοδο και μικρότερο πλήθος υποκαναλιών, και οι μειώσεις του συνδυασμού E-S σε σχέση με την ERMK για 3-3 όπου συνδυάζονται μεγάλη αύξηση χωρητικότητας και μεγάλη μείωση μέσης ισχύς ανά χρήστη.

Θεωρήθηκε σκόπιμο να μην παρουσιαστούν οι αντίστοιχοι πίνακες με τις μετρήσεις για την κεντρική κυψέλη, μιας και παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με αυτούς του συνολικού συστήματος και δεν προσφέρουν κάποια επιπλέον πληροφορία.

ΜΕΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ							
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ	ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ MAN		ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΤΡΟΠΩΝ (LAN-MAN)	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΩΝ (LAN MAN)			
	3	5		3 5	5 3	5 5	3 3
RANDOM	266,064	34,124	R-R	256,444	123,180	36,304	482,848
			%	651,506	-53,703	6,388	81,478
			R-E	240,988	142,676	34,720	476,744
			%	606,213	-46,375	1,747	79,184
			E-R	243,008	99,316	42,716	475,892
			%	612,132	-62,672	25,179	78,864
			R-S	196,788	98,880	41,452	403,368
			%	476,685	-62,836	21,475	51,606
ERMK	260,548	33,876	E-E	241,716	145,064	26,712	427,980
			%	613,532	-44,324	-21,148	64,261
			R-E	240,988	142,676	34,720	476,744
			%	611,383	-45,240	2,491	82,977
			E-R	243,008	99,316	42,716	475,892
			%	617,346	-61,882	26,095	82,650
			E-S	286,556	87,832	19,332	425,876
			%	745,897	-66,290	-42,933	63,454
RWRS	182,948	17,736	E-R	243,008	99,316	42,716	475,892
			%	1270,140	-45,714	140,843	160,124
			E-S	286,556	87,832	19,332	425,876
			%	1515,674	-51,991	8,999	132,785

Πίνακας 7-3 Σύγκριση Μεμονωμένου-Ετερογενούς δικτύου με βάση την Μέση Χωρητικότητα

ΜΕΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ(Watts)							
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ	ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ MAN		ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΤΡΟΠΩΝ (LAN-MAN)	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΩΝ (LAN MAN)			
	3	5		3 5	5 3	5 5	3 3
RANDOM	50,725	6,494	R-R	48,630	23,529	7,112	90,938
			%	648,845	-53,615	9,516	79,276
			R-E	45,513	27,707	6,507	90,446
			%	600,847	-45,378	0,200	78,307
			E-R	46,247	19,398	8,357	89,530
			%	612,150	-61,759	28,688	76,501
			R-S	32,178	17,662	7,654	65,830
			%	395,504	-65,181	17,863	29,778
ERMK	47,852	6,430	E-E	45,912	28,112	5,279	80,982
			%	614,028	-41,252	-17,900	69,234
			R-E	45,513	27,707	6,507	90,446
			%	607,823	-42,099	1,198	89,012
			E-R	46,247	19,398	8,357	89,530
			%	619,238	-59,463	29,969	87,098
			E-S	46,946	15,490	3,501	69,225
			%	630,109	-67,629	-45,552	44,665
RWRS	26,161	3,200	E-R	32,178	17,662	7,654	65,830
			%	905,563	-32,487	139,188	151,634
			E-S	46,946	15,490	3,501	69,225
			%	1367,063	-40,790	9,406	164,611

Πίνακας 7-4 Σύγκριση Μεμονωμένου-Ετερογενούς δικτύου με βάση την Μέση Συνολική ισχύς

ΜΕΣΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΑ ΧΡΗΣΤΗ(mWatt)							
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ	ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΑ MAN		ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΤΡΟΠΩΝ	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΥΠΟΚΑΝΑΛΙΩΝ (LAN MAN)			
	3	5		3 5	5 3	5 5	3 3
RANDOM	190,649	190,305	R-R	212,450	191,385	187,240	190,317
			%	11,637	0,386	-1,611	-0,174
			R-E	186,302	188,757	192,976	196,423
			%	-2,103	-0,992	1,404	3,029
			E-R	173,123	204,314	211,661	213,311
			%	-9,029	7,168	11,222	11,887
			R-S	182,417	192,826	181,278	175,320
			%	-4,145	1,142	-4,743	-8,040
ERMK	183,659	189,809	E-E	201,221	204,349	202,530	192,452
			%	6,012	11,265	6,702	4,788
			R-E	186,302	188,757	192,976	196,423
			%	-1,848	2,776	1,669	6,950
			E-R	173,123	204,314	211,661	213,311
			%	-8,791	11,246	11,513	16,145
			E-S	185,205	195,215	197,874	158,956
			%	-2,426	6,292	4,249	-13,450
RWRS	140,996	182,423	R-S	182,417	192,826	181,278	175,320
			%	-0,003	36,760	-0,628	24,344
			E-S	185,205	195,215	197,874	158,956
			%	1,525	38,454	8,470	12,738

Πίνακας 7-5 Σύγκριση Μεμονωμένου-Ετερογενούς δικτύου με βάσει την Μέση Ισχύς ανά Χρήστη

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η ιστορία των δικτύων κινητών επικοινωνιών καταλήγοντας στα σύγχρονα, πολλά υποσχόμενα, ετερογενή δίκτυα. Τα ετερογενή δίκτυα εμπεριέχουν την έννοια της καθολικότητας και εξυπηρετούν την ομαλή συνεργασία διαφορετικών αλληλο-καλυπτόμενων τεχνολογιών αξιοποιώντας τα κοινά τους σημεία, προσδίδοντας υψηλές ταχύτητες με μικρή καθυστέρηση, την βέλτιστη απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών, και διευρυμένη εμβέλεια

Για την εξέταση των ετερογενών δικτύων φτιάχτηκε μια πλατφόρμα η οποία προσομοιώνει το ετερογενές δίκτυο στη λειτουργία του σε ένα μικρό χρονικό στιγμιότυπο σε περιορισμένη γεωγραφική περιοχή, με κριτήριο την πιθανότητα αποτυχίας επικοινωνίας των χρηστών. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί η παραπάνω πλατφόρμα έγινε μελέτη των τρόπων μοντελοποίησης του περιβάλλοντος αλλά και των τεχνολογιών που κάνουν δυνατή την υλοποίηση ενός ετερογενούς δικτύου. Επίσης για να δοκιμαστεί η συγκεκριμένη τεχνολογία θα έπρεπε να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης και μια βάση στην οποία θα μπορούσε να χτιστεί πάνω της. Έτσι δημιουργήθηκε πρώτα η πλατφόρμα του μεμονωμένου δικτύου, η οποία μετέπειτα οδήγησε στην υλοποίηση του ετερογενούς δικτύου. Στην πλατφόρμα αυτή εξετάστηκαν διαφορετικοί τρόποι ανάθεσης, των πιο περιορισμένων πόρων στις τηλεπικοινωνίες, των ραδιοπόρων. Μελετώντας την βιβλιογραφία, αλλά και δημιουργώντας καινούριους τρόπους ανάθεσης, προσομοιώνοντας και συγκρίνοντας τους, εξάχθηκαν τα συμπεράσματα που αναφέρονται στην συνέχεια.

8.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα του μεμονωμένου δικτύου συμπεραίνεται ότι από τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν ξεχώρισε η Random που με την απλότητά της και την υψηλή απόδοση της αποτελεί ίσως την καλύτερη λύση σε τρόπο απόδοσης ραδιοπόρων χωρίς γνώση καναλιού. Αποδοτική αποδείχτηκε η RWRS σε μεγάλες πιθανότητες αποτυχίας αλλά και σαν δομικό στοιχείο του ετερογενούς δικτύου. Η ERMK αν και φτιαγμένη με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας δεν κατάφερε να αποδώσει καλύτερα από την πολύ πιο απλή Random. Η Sequential αποδείχτηκε ως η χειρότερη όλων με τον απλοϊκό αλγόριθμο της και η MSNR, ως η μόνη μέθοδος με γνώση καναλιού, αν και πολύπλοκη απέδειξε μέσω της υψηλής της απόδοσης, ότι οι μέθοδοι με γνώση καναλιού απαιτούν περαιτέρω έρευνα και εφαρμογή. Επίσης, στο γενικότερο πλαίσιο, παρατηρείται ότι με την μεγάλη αύξηση των υποκαναλιών ανά χρήστη όλες οι μέθοδοι εκφυλίζονται σε πολύ μικρή απόδοση, ότι όσο μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας έχει το δίκτυο, τόσο αυξάνει η μέση χωρητικότητα και ότι η ισχύς ανά τερματικό παραμένει σχεδόν σταθερή ανεξαρτήτως σεναρίου.

Από τα αποτελέσματα της πλατφόρμας ετερογενούς δικτύου και των συνδυασμών μεθόδων που δοκιμάστηκαν σε αυτήν, συμπεραίνεται ότι τα ετερογενή δίκτυα αποτελούν τεχνολογία που πολύ σύντομα θα αντικαταστήσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες διότι:

- Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη χωρητικότητα χρηστών στην ίδια γεωγραφική περιοχή
- Επιτυγχάνεται καλύτερη ενεργειακή απόδοση
- Δεν αυξάνεται η κατανάλωση στα τερματικά
- Δεν χρειάζονται καινούριες τεχνολογίες στα τερματικά μιας και χρησιμοποιούνται προυπάρχουσες τεχνολογίες
- Επιτρέπεται καλύτερος διαμοιρασμός των ραδιοπόρων
- Επιτρέπονται διαφορετικά είδη υπηρεσιών

Όλα αυτά επιτυγχάνονται με επιπλέον μοναδικό κόστος την τοποθέτηση νέων κεραιών, αν και αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν χρησιμοποιηθούν υποδίκτυα που ήδη έχουν εγκατεστημένες κεραίες.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα των ετερογενών δικτύων που έγιναν κατανοητά, και πρακτικά μέσω προσομοιώσεων, επίσης ξεχώρισε η ανάγκη για σωστές διαχειριστικές ενέργειες. Αντίθετα από το μεμονωμένο δίκτυο που τα αποτελέσματα ήταν συστηματικά αναμενόμενα και μερικώς προβλέψιμα, το ετερογενές δίκτυο για διαφορετικά σενάρια έδινε διαφορετικά αποτελέσματα, καθιστώντας διαφορετικούς συνδυασμούς αποδοτικούς ανά σενάριο. Όποτε πριν την εφαρμογή ετερογενούς δικτύου θα πρέπει να γίνεται εμπειριστατωμένη μελέτη των τρόπων με των οποίων διαμοιράζονται οι ραδιοπόροι για την επίτευξη της μεγαλύτερης δυνατής αποδοτικότητας.

8.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Όπως έγινε φανερό από τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας τα ετερογενή δίκτυα αποτελούν μια τεχνολογία η οποία πολύ σύντομα θα αποκτήσει μεγάλη δημοτικότητα και θα παίζει κομβικό ρόλο στην ουσιαστική εφαρμογή των δικτύων τέταρτης γενιάς (4G) και στην μετάβαση αυτών προς την πέμπτη (5G). Για αυτούς τους λόγους προτείνεται για μελλοντική εργασία:

Η περαιτέρω μελέτη των μεθόδων απόδοσης ραδιοπόρων σε ετερογενή δίκτυα, δίνοντας έμφαση στις μεθόδους με χρήση γνώσης καναλιού. Η γνώση καναλιού θα δώσει μεγαλύτερη πληροφορία στον διαχειριστή του συστήματος, επιτρέποντάς του καλύτερη διαχείριση και επίδοση. Επιπροσθέτως μπορεί να υπάρχουν πιο αποδοτικοί τρόποι προς πρόταση χωρίς γνώση καναλιού, οι οποίοι επίσης απαιτούν περαιτέρω μελέτη και ανάλυση.

Προτείνεται εφαρμογή της πλατφόρμας σε μεγαλύτερης γεωγραφικής έκτασης περιοχή, για την καλύτερη κατανόηση της επιρροής των ομοδιαυλικών παρεμβολών και βαθύτερη κατανόηση της σύγχρονης κατάστασης στα κυψελωτά δίκτυα σε αστικά περιβάλλοντα. Επίσης προτείνεται εφαρμογή της πλατφόρμας και σε άλλα είδη υποδικτύων (π.χ. ZigBee) καθώς και επέκτασής της με χρήση δυναμικής τοποθέτησης κεραιών LAN. Η παραπάνω διεύρυνση θα συνεισφέρει στην μελέτη του επερχόμενου Internet of Things (IoT), όπου κάθε ηλεκτρονική συσκευή θα μπορεί να ελεγχθεί από απόσταση, έχοντας πρόσβαση ασύρματα στο Διαδίκτυο.

Τέλος προτείνεται η δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος στη πλατφόρμα για μεγαλύτερη ευκολία χρήσης και εξόρυξης δεδομένων. Το γραφικό περιβάλλον θα περιλαμβάνει παράθυρα και μενού για διευκόλυνση του χρήστη, τρόπους εύκολης αποθήκευσης και σύγκρισης των αποτελεσμάτων μέσω γραφημάτων και θα επιτρέπει μέσω editor την δημιουργία και την δοκιμή νέων προτεινόμενων μεθόδων απόδοσης υποκαναλιών. Με τον εμπλουτισμό της πλατφόρμας με γραφικό περιβάλλον η πλατφόρμα θα γίνει πιο ελκυστική προς χρήση από φοιτητές και από οργανισμούς τηλεπικοινωνιών, καθώς έχει καταστεί σαφές ότι το ζήτημα της αποδοτικής διαχείρισης των ραδιοπόρων παραμένει ανοιχτό σε νέες προτάσεις και ότι πριν την εφαρμογή ετερογενών δικτύων απαιτείται αναλυτική μελέτη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΡΑΔΙΟΠΟΡΩΝ

Πριν την παρουσίαση των κωδίκων που φτιάχτηκαν για κάθε τρόπο ανάθεσης θα γίνει επεξήγηση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι και έξοδοι :

sub_per_bs	πίνακας με διαστάσεις πλήθος σταθμών*πλήθος υποκαναλιών και λογικές τιμές 0-ελεύθερο υποκανάλι, 1-κατειλημένο υποκανάλι
user_per_sub	πίνακας με διαστάσεις εξυπηρετούμενοι χρήστες*πλήθος υποκαναλιών με λογικές τιμές 0,1
carrier_per_user	το σταθερό πλήθος των υποκαναλιών που αιτούνται ανά χρήστη
hard_blocking	μεταβλητή που υποδεικνύει αν ο σταθμός μπορεί να εξυπηρετήσει-0 ή όχι-1
pointer	δείκτης που υποδεικνύει την τρέχουσα γραμμή του πίνακα user_per_sub

ΤΕΧΝΙΚΗ 1-RANDOM

```
function[sub_per_bs,user_per_sub,hard_blocking]  
=randomch(SERVER_BS,sub_per_bs,user_per_sub,pointer,carrier_per_user)
```

```
index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,')==0); %βρίσκονται οι  
θέσεις των ελεύθερων υποκαναλιών στον σταθμό εξυπηρέτησης  
hard_blocking=1;  
%ελέγχεται αν τα διαθέσιμα ελεύθερα κανάλια επαρκούν και  
στην συνέχεια δίνονται με τυχαίο τρόπο όσα αιτούνται,  
ενημερώνοντας τους αντιστοιχούς πίνακες  
if carrier_per_user<=length(index)  
    pos=randsample(index,carrier_per_user);  
    sub_per_bs(SERVER_BS,pos)=1;  
    user_per_sub(pointer,pos)=1;  
    hard_blocking=0;  
end  
end
```

ΤΕΧΝΙΚΗ 2-SEQUENTIAL

```
function[sub_per_bs,user_per_sub,hard_blocking]  
=se_ch(SERVER_BS,sub_per_bs,user_per_sub,pointer,carrier_per_user)  
index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,')==0); %βρίσκονται οι  
θέσεις των ελεύθερων υποκαναλιών στον σταθμό εξυπηρέτησης  
hard_blocking=1;  
%ελέγχεται αν τα διαθέσιμα ελεύθερα κανάλια επαρκούν και  
στην συνέχεια δίνονται με σειριακό τρόπο όσα αιτούνται,  
ενημερώνοντας τους αντιστοιχούς πίνακες  
if carrier_per_user<=length(index)  
    user_per_sub(pointer,index(1:carrier_per_user))=1;  
    sub_per_bs(SERVER_BS,index(1:carrier_per_user))=1;
```

```

    hard_blocking=0;
end
end

```

ΤΕΧΝΙΚΗ 3-ERMK

Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιεί τον ΚΩΔΙΚΑ 1, με τις αλλαγές να γίνονται στο κόκκινο μπλόκ στην συνάρτηση που υπολογίζονται οι συνολικές απώλειες αλλά και στην κύρια συνάρτηση

Αλλαγές στην συνάρτηση συνολικών απωλειών:

```

% Πριν υπολογιστούν οι συνολικές απώλειες δημιουργείται
ένας βοηθητικός πίνακας όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε
έναν σταθμό και οι στήλες : στον αριθμό του σταθμού, στις
απώλειες διαδρομής του, στο πλήθος των κατειλημμένων
καναλιών και στην μεταβλητή K, στην συνέχεια γίνεται
αύξουσα ταξινόμηση βάσει του K, εξάγοντας μόνο την πρώτη
γραμμή του βοηθητικού πίνακα.

```

```

    helping(:,1)=find(pl1<pl_max);
    helping(:,2)=pl1(helping(:,1));
    helping(:,3)=sum(sub_per_bs(helping(:,1),:),2);
    helping(:,4)=helping(:,2).*helping(:,3).*0.01;
    index=sortrows(helping,4);
    accepted=index(:,1);

```

Αλλαγές στην κύρια συνάρτηση:

```

% Έχοντας αποθηκεύσει και τους αντίστοιχους τομείς ανά
σταθμό εξυπηρέτησης ελέγχονται ένας ένας οι σταθμοί με
την σειρά που ταξινομήθηκαν στον πίνακα μέχρις ότου να
γίνει εξυπηρέτηση ή εξαντληθούν οι διαθέσιμοι σταθμοί
while and(hard_blocking==1,~isempty(accepted))
    accepted(1)=[];
    accepted_sector(1)=[];
    if ~isempty(accepted)
        SERVER_BS=accepted(1);
        SECTOR=accepted_sector(1);
        [sub_per_bs,user_per_sub,hard_blocking]=randomch(SERVER_B
S,sub_per_bs,user_per_sub,pointer,carrier_per_user);
    end
end

```

ΤΕΧΝΙΚΗ 4-RWRS

Η τεχνική αυτή έχει δύο συναρτήσεις, μια για την εσωτερική (α) και μια για την εξωτερική(β) περιοχή.

(α)

```

function[sub_per_bs,user_per_sub,hard_blocking]
=randomchw(SERVER_BS,sub_per_bs,user_per_sub,pointer,carr
ier_per_user)

```

```

index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,')==0); %βρίσκονται οι
θέσεις των ελεύθερων υποκαναλιών στον σταθμό εξυπηρέτησης
hard_blocking=1;
%Υπολογίζονται οι συχνότητες εμφάνισης όλων των
διαθέσιμων υποκαναλιών και βρίσκονται αυτές με την
μέγιστη και την ελάχιστη
freq=sum(sub_per_bs,1);
freq=freq(index);
min_freq=min(freq);
max_freq=max(freq);

if or(max_freq==0,min_freq==max_freq)
%Στην περίπτωση που όλοι οι συχνότητες έχουν μοιραστεί ίσα
ή είναι η πρώτη φορά που μοιράζονται τα υποκανάλια
δίνονται με απλή Random
    if carrier_per_user<=length(index)
        pos=randsample(index,carrier_per_user);
        sub_per_bs(SERVER_BS,pos)=1;
        user_per_sub(pointer,pos)=1;
        hard_blocking=0;
    end
else
%υπολογίζεται το βάρος και τα υποκανάλια δίνονται με
τυχαίο τρόπο, αλλά με πιθανότητες που ευνοούν τα λιγότερο
χρησιμοποιημένα υποκανάλια
    w=max_freq-freq;
    if carrier_per_user<=length(index)
        pos=randsample(index,carrier_per_user,true,w);
        sub_per_bs(SERVER_BS,pos)=1;
        user_per_sub(pointer,pos)=1;
        hard_blocking=0;
    end
end
end
end

```

(β)

```

function[sub_per_bs,user_per_sub,hard_blocking]
=random_sectors(SERVER_BS,sub_per_bs,user_per_sub,pointer
,carrier_per_user,SECTOR)
% Ανάλογα τον τομέα δίνεται διαφορετικό πλήθος διαθέσιμων
υποκαναλιών, προχωρώντας στην συνέχεια σε Random
if SECTOR==1
    index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,1:43)==0);
elseif SECTOR==2
    index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,44:87)==0);
else
    index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,88:128)==0);
end
hard_blocking=1;

```

```

if carrier_per_user<=length(index)
    pos=randsample(index,carrier_per_user);
    sub_per_bs(SERVER_BS,pos)=1;
    user_per_sub(pointer,pos)=1;
    hard_blocking=0;
end
end

```

ΤΕΧΝΙΚΗ 5-MSNR

```

function[sub_per_bs,user_per_sub,hard_blocking]=CSI(SERVE
R_BS,sub_per_bs,user_per_sub,pointer,carrier_per_user,SEC
TOR)
index=find(sub_per_bs(SERVER_BS,:)==0); %βρίσκονται οι
θέσεις των ελεύθερων υποκαναλιών στον σταθμό εξυπηρέτησης
hard_blocking=1;

if carrier_per_user<=length(index)
    num_bs=length(sub_per_bs(:,128));
    Mr=2;
    Mt=2;
    % Υπολόγίζεται ο ερμιτιανός πίνακας H και από αυτόν
    χρησιμοποιείται ο Ho με την μέθοδο SVD για τον υπολογισμό
    του SNR
    H =
    (sqrt(2)/2)*(randn(Mr,Mt,length(index),num_bs*3)+1i*randn
    (Mr,Mt,length(index),num_bs*3));
    Ho=H(:, :, :, (SERVER_BS-1)*3+SECTOR);
    SNR=zeros(length(index),2);

    for i=1:length(index)
        [x y z]=svd(Ho(:, :, i));
        y_max=max(max(y));
        [x pos]=find(y==y_max);
        r=(Ho(:, :, i)*z(:,pos))';

        SNR(i,1)=(z(:,pos) '*Ho(:, :, i) '*r')*(r*Ho(:, :, i)*z(:,pos))
        ;
        SNR(i,2)=index(i);
    % Σαν αποτέλεσμα δίνεται ο πίνακας SNR που στην μία στήλη
    έχει την τιμή του SNR και στην άλλη τον αριθμό του
    διαθέσιμο καναλιού, αυτός ο πίνακας θα χρησιμοποιηθεί
    στην κύρια συνάρτηση για να δοθούν τα πρώτα N υποκάναλια
    σύμφωνα με την φθίνουσα ταξινόμηση
end

```

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Piyush Gupta, Priyadarshan Patil ,‘4G A New Era in Wireless Telecommunication’,
- [2] Dr. Krishna Mohanta ,‘4G Technology’, IJECS vol 2 issue 2
- [3] Mohammad Meraj ud in Mir, Dr.Sumit Kumar, ‘Evolution of Mobile Wireless Technology’, International Journal of Computer Science and Information Technologies Vol 6(3),2015
- [4] Κανάτας Αθανάσιος, Κωνσταντίνου Φίλιππος, Πάντος Γεώργιος, ‘Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών’, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- [5] Tom Farley, ‘Mobile telephone history’, Teletronikk 3 / 4 .2005
- [6] Aditi Chakraborty, ‘A Study on Third Generation Mobile Technology (3G) and Comparison among All Generations of Mobile Communication’, International Journal of Innovative Technology & Adaptive Management Vol 1 Issue 2, 2013
- [7] Amit Kumar, Dr.Yunfei Liu, Dr.Jyotsna Sengupta, ‘Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G to 4G’, IJECT vol 1 issue 1
- [8] Priya Gautam, Savneet Kaur, ‘Review Paper on 4G Wireless Technology’, IJAST vol 2 issue 1
- [9] K.Kumaravel, ‘Comparative Study of 3G and 4G Mobile Technology’, IJCSI vol 8 issue 5
- [10] Μ.Ε.Θεολόγου, ‘Δίκτυα Κινητών και Προσωπικών Επικοινωνιών’, Εκδόσεις Τζιόλα
- [11] Kaveh Pahlavan, Prashant Krishnamurthy, ‘Principles of Wireless Networks’
- [12] Mardeni R, ‘Optimized COST-231 Hatta Models for WiMAX Path Loss Prediction in Suburban and Open Urban Environments’, Modern Applied Science vol 4 No.9
- [13] Γ.Κωττής, Μ.Αράπογλου, ‘Ασύρματες Επικοινωνίες’, Εκδόσεις Τζιόλα
- [14] Dr.Abhijit Mitra, ‘Lecture Notes on Mobile Communication’
- [15] D.K. Sharma, A. Mishra, Rajiv Saxeva, ‘Analog and Digital Techniques: An Overview’, TECHNIA vol. 3, no. 1, July 2010
- [16] Manoj Barnela, ‘Digital Modulation Schemes Employed in Wireless Communication: A Literature review’, International Journal of Wired and Wireless Communications vol. 2, issue 2, April 2014

- [17] Charan Langton, ‘Orthogonal Frequency Division Multiplex Tutorial’, Intuitive Guide to Principles of Communications, 2004
- [18] S.B. Weinstein, P.M. Ebert, ‘Data transmission by frequency division multiplexing using Discrete Fourier Transform’, IEEE Trans. Comm.
- [19] Youwei Zhang, Ian L.Tan, Carl Chun, Ken Laberteaux, Ahmad Bahai ‘A Differential OFDM Approach to Coherence Mitigation in DSRC’
- [20] Jeffrey G.Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, ‘Fundamentals of WiMAX’
- [21] Ζαρμπούτη Α. Δήμητρα, ‘Τεχνικές διαχείρισης ραδιοπόρων σε συστήματα OFDMA με χρήση πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης και στη συσκευή του χρήστη’, Διδακτορική Εργασία ΕΜΠ, Ιούνιος 2009
- [22] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K. B. Letaief, ‘Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit and Power Allocation’, IEEE J. Sel. Areas Commun. Vol 17 no.10 1999
- [23] D.Kivanc, G.Li, H.Liu, ‘Computational Efficient Bandwidth Allocation and Power Control for OFDMA’, IEEE Trans. Wireless Commun. Vol. 2 no. 6 2003
- [24] S. Pietrzyk, Janssen, ‘Multiuser Subcarrier Allocation for QoS Provision in the OFDMA Systems’, IEEE Vehicular Technology Conference Vol. 2 2002
- [25] W.Rhee, J. M. Cioffi, ‘Increase in capacity of multiuser OFDM systems using dynamic subchannel allocation’, IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 2, 2000
- [26] J.Jang, K.B. Lee, ‘Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems’, IEEE J. Sel. Areas Commun. Vol.21 no.2 2003
- [27] K. Chang, J.Kuo, ‘Power Control, Adaptive Modulation and Subchannel Allocation for Multiuser Downlink OFDM’, IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 1 2004
- [28] G. Li, H. Liu, ‘Downlink dynamic resource allocation for multi-cell OFDMA system’, IEEE Vehicular Technology Conference, vol 3, 2003
- [29] J. Zhang, K.B. Letaief, ‘Multiuser Adaptive Subcarrier and Bit Allocation with Adaptive Cell Selection for OFDM Systems’, IEEE Trans. Wireless Commun. Vol.3, no. 5 2004
- [30] I.N. Stiakogiannakis, D.A. Zarbouti, G.V. Tsoulos, D.I Kaklamani, ‘Subcarrier Allocation Algorithm for multicellular OFDMA networks without Channel State Information’

- [31] G.Fodor, 'Performance Analysis of a Reuse Partitioning Technique for OFDM Based Evolved UTRA', IEEE International Workshop on Quality of Service, June 2006
- [32] G.Potter, 'System Design Choices in Personal Communications', IEEE Personal Commun. Mag., vol. 2, no. 5 1995
- [33] Ericsson White Paper 'Heterogeneous Networks', September 2014
- [34] Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez, Elias Ian F, Chavarria Reyes, 'The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced', Physical Communication 3 (2010) 217–244
- [35] 'LTE Carrier Aggregation Technology Development and Deployment Worldwide', 4G AMERICAS October 2014
- [36] white paper 'Making Sense of Convergence: LTE-U, LAA-LTE, and LWA', Ruckus
- [37] Ali Al-Sherbaz, Chris Adams & Sabah Jassim, 'WiMAX-Wi-Fi Convergence with OFDM Bridge', UK-MK181EG
- [38] Kiran Gowda, Kusuma, Udaya Kumar, 'A Comprehensive Study on 4G Broadband Networks: WiMAX and LTE', International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 2, Issue 9, September 2013
- [39] Rayan Jaha, 'COMPARISON BETWEEN LTE AND WIMAX', Collage of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea
- [40] Dieter Eberle, 'LTE vs. WiMAX 4th generation telecommunication networks', Computer Engineering B.Sc. Berlin Institute of Technology, Germany
- [41] Sourangsu Banerji, Rahul Singha Chowdhury, 'Wi-Fi & WiMAX: A Comparative Study', Indian Journal of Engineering, Vol 2, Issue 5, 2013
- [42] White Paper, 'Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions', Intel,
- [43] Shuang Song and Biju Isaac, 'Analysis of Wi-Fi and WiMAX and Wireless Network Coexistence', IJCNC Vol 6, No 6, November 2014
- [44] Hojoong Kwon, Hanbyul Seo, Seonwook Kim, 'Generalized CSMA/CA for OFDMA Systems: Protocol Design, Throughput Analysis, and Implementation Issues'

[45] Xiang Gao, Ove Edfors, Jianan Liu, Fredrik Tufvesson, ‘Antenna selection in measured massive MIMO channels using convex optimization’, Department of Electrical and Information Technology, Lund University, Lund, Sweden