Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

4G

Επιβλέπων καθηγητής : Δημητρακόπουλος Γεώργιος

Φοιτητής : Κοψιαύτης Βασίλειος

Αθήνα,2015

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή *5*

1.1 Κίνητρο ενασχόλησης με τα δίκτυα επικοινωνιών……...5

1.2 Σκοπός πτυχιακής εργασίας……..7

1.3 Βιβλιογραφία……..……...8

2. Συστήματα κινητών επικοινωνιών 2G *9*

2.1 Εισαγωγή……...9

2.2 Ζώνες Συχνοτήτων…..……...9

2.3 Κυψελοειδής Δομή Δικτύου……11

2.4 Αρχιτεκτονική……..12

2.5 Handover - Αλλαγή κυψέλης……..13

2.6 Χωρητικότητα Δικτύων GSM – Erlang…….....14

2.7 Πιστοποίηση και Ασφάλεια……....15

2.8 Υπηρεσίες Δικτύου……15

2.9 Βιβλιογραφία……...18

3. Συστήματα κινητών επικοινωνιών 3G *19*

3.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS……19

3.2 Οι υπηρεσίες του UMTS……..……..……...20

3.3 Σχεδιασμός στο UMTS……....21

3.4 Διαχείριση ασυρμάτων πόρων στο UMTS……..23

3.4.1 Έλεγχος ισχύος…….....24

3.4.2 Έλεγχος διαπομπής…….....27

3.4.3 Έλεγχος αποδοχής κλήσης……31

3.4.4 Διαχείριση κωδίκων……...…32

3.5 Προγραμματισμός πακέτων……...34

3.6 Βιβλιογραφία…….35

4. Συστήματα κινητών επικοινωνιών B3G 36

4.1 Εισαγωγή……36

4.2 Αρχιτεκτονική συστημάτων διαχείρισης B3G συστημάτων……..36

4.3 Αρχιτεκτονική λειτουργίας αλγορίθμων διαχείρισης πόρων……..39

4.4 Βιβλιογραφία.....41

5. Συστήματα κινητών επικοινωνιών 4G 42

5.1 LTE Advanced key features (Βασικά χαρακτηριστικά του LTE)……...42

5.2 Εύρος Ζώνης Καναλιών στο LTE και επιμέρους χαρακτηριστικά…….43

5.3 Αρχιτεκτονική δικτύου LTE……44

5.3.1 Ο εξοπλισμός του χρήστη……....44

5.3.2 E – UTRAN (Το δίκτυο πρόσβασης)……...45

5.3.3 The evolved Packet Core (EPC) (The core Network)……..46

5.4 OFDM – OFDMA……....48

5.4.1 LTE OFDM in the Downlink…….…..…49

5.4.2 Downlink Carriers (φέρουσες) & resource blocks……...…50

5.5 Προσομοίωση του OFDM signal…...…….……51

5.6 Βιβλιογραφία……...……51

6. Προσομοίωση και σύγκριση στοιχείων και χαρακτηριστικών 2G – 3G – 4G (matlab) 52

6.1 Σύγκριση στοιχείων χαρακτηριστικών 3G – 4G……52

6.2 Σύγκριση στοιχείων χαρακτηριστικών 2G – 3G……54

6.3 Σύγκριση στοιχείων χαρακτηριστικών 2G – 4G ……...56

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (κώδικας γραφικών παραστάσεων σε Matlab) 58

1)Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο ενασχόλησης με τα δίκτυα επικοινωνιών

Δίχως καμία αμφιβολία , ο όρος της «παγκοσμιοποίησης» είναι αυτός που κινεί τα νήματα σε κάθε σύγχρονη κοινωνία. Η παγκοσμιοποίηση είναι ο λόγος κοινής πορείας και ομογενοποίησης των λαών όσον αφορά πολιτικά, κοινωνικά, οικονομικά και στρατιωτικά ζητήματα . Παρ ’όλα αυτά ο συνδετικός κρίκος όλων αυτών κατά πολλούς είναι η συνεχής εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών. Από την 1-1-2001 η χώρα μας κάνει μια νέα αρχή στον τομέα των τηλεπικοινωνιών με τις εξελίξεις σε αυτόν τον κλάδο διαδέχονται η μια την άλλη. Νέα δεδομένα δημιουργούνται, με τις απαιτήσεις των χρηστών να αυξάνονται συνεχώς και ο ανταγωνισμός στις επιχειρήσεις να έχει ανοδική πορεία .

Τα συστήματα 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς βρίσκονται πλέον στο παρελθόν με την συμβολή τους στις τηλεπικοινωνίες της χώρας μας να είναι τουλάχιστον απαραίτητη. Στο προσκήνιο βρίσκονται πλέον τα συστήματα της 4^{ης} γενιάς με τις δυνατότητες τους να ξεπερνούν κάθε φαντασία όπως εξάλλου γίνεται και με τις απαιτήσεις των χρηστών. Περίπου το 1980 είχαμε τα συστήματα της 1^{ης} γενιάς . Διαμόρφωση κατά συχνότητα (FM) για επικοινωνία φωνής και πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητα (Frequency Division Multiple Access - FDMA) ήταν η τεχνική πρόσβασης που τα χαρακτήριζε. Παραδείγματα τέτοιων συστημάτων αποτελούν τα AMPS (Advance Mobile Phone Service) στις Η.Π.Α., TACS (Total Access Communication System) στην Ευρώπη και NTT στην Ιαπωνία. Παρ’ όλα αυτά η αύξηση των απαιτήσεων κυρίως στην χωρητικότητα έφερε τον κορεσμό των συστημάτων της 1^{ης} γενιάς[8].

Το 1991 έχουμε την «εισβολή» των συστημάτων της 2^{ης} [1][8] γενιάς στον χώρο της αγοράς με την καλύτερη ποιότητα φωνής και την αποδοτική χρησιμοποίηση του φάσματος να είναι κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά τους . Τα νέα αυτά συστήματα χρησιμοποιούν τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης. Το GSM, TDMA IS-136, PDC και cdmaOne είναι αυτά που αποτελούν σήμερα την 2^{η} γενιά. Τα συστήματα δεύτερης γενιάς πέρα από υπηρεσίες φωνής, παρέχουν σύντομα μηνύματα αλλά και χαμηλού ρυθμού υπηρεσίες δεδομένων στα 9,6 - 14,4Kbps. Τα συστήματα τόσο της 1^{ης} όσο και της 2ης γενιάς βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος (circuit-switching), η οποία είναι μη αποδοτική ιδιαίτερα όταν πρόκειται για υπηρεσίες προσανατολισμένες σε πακέτα
(packet-oriented).

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 3ης γενιάς (3G) [2][8] χαρακτηρίζονται ως Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunication System - UMTS), και είχαν ως πρωταρχικό στόχο την ενοποίηση των σταθερών και κινητών επικοινωνιών σε ένα ενιαίο, παγκόσμιο σύστημα. Μερικά χαρακτηριστικά όπως η ευελιξία, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης αλλά και η αφθονία υπηρεσιών είναι από τα βασικά στοιχεία αυτών των συστημάτων. Τα δεδομένα μεταδίδονται με ρυθμούς που ανέρχονται στα 144Kbps για χρήστες υψηλής κινητικότητας σε ευρείες περιοχές, 384Kbps για χρήστες χαμηλής κινητικότητας σε ευρείες περιοχές, αντίστοιχα, αλλά και 2 Mbps για τοπική κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους. Η μεταγωγή κυκλώματος αλλά και η μεταγωγή πακέτου είναι υπηρεσίες που παρέχονται στα συστήματα της 3ης γενιάς κάτι που σημαίνει ότι ενισχύεται ακόμη περισσότερο η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών(Quality of Service - QoS). Με μεταγωγή κυκλώματος παρέχονται υπηρεσίες όπως η φωνή και το βίντεο οι οποίες είναι περισσότερο ευάλωτες στη χρονική καθυστέρηση ενώ με μεταγωγή πακέτου παρέχεται η υπηρεσία της κίνησης των δεδομένων η οποία είναι περισσότερο ανθεκτική σε μεγάλες καθυστερήσεις και με αυτόν τον τρόπο έχουμε αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος . Η βασική τεχνολογία που επιλέχθηκε για τα συστήματα 3ης γενιάς είναι η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA)[3][8]. Πιο συγκεκριμένα, η ευρείας ζώνης πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Wideband CDMA – WCDMA) [4][8] που είναι μια εξέλιξη του CDMA ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence CDMA – DS/CDMA), προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή κοινότητα ως το 3G ασύρματο πρότυπο. Αντίθετα, από την μεριά των Η.Π.Α ήρθε μια αντίπαλη πρόταση η οποία είναι το cdma2000 [5][8] που χρησιμοποιεί CDMA πολλαπλών φερόντων (Multi Carrier CDMA – MC/CDMA).

Προφανώς, μετά την 2η γενιά δεν ήρθε κατευθείαν η 3η. Αντιθέτως υπήρξαν κάποια ενδιάμεσα στάδια όπως η ονομαζόμενη 2,5 γενιά (2,5 G)[6][8]. Το GPRS (General Packet Radio Service)[7][8] είναι ένα εξελιγμένο σύστημα GSM που προσφέρει λύσεις μεταγωγής πακέτου. Εξάλλου, το cdma2000 1x και cdma2000 3x συνέβαλαν για το πέρασμα από το cdmaOne στο cdma2000. Η απόκλιση μεταξύ των προτύπων βάζει όρια στην περιαγωγή (roaming) χρηστών ανάμεσα στα διάφορα δίκτυα.

Η έρευνα σχετικά με τα συστήματα πέρα της 3ης γενιάς ήρθε σχετικά γρήγορα. Η επίτευξη διασύνδεσης μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών, η παροχή υπηρεσιών εμπορικού χαρακτήρα, η πλήρη σύγκλιση των παρεχόμενων υπηρεσιών με στόχο τη μεταφορά των πλεονεκτημάτων ενός προσωπικού υπολογιστή στα ασύρματα δίκτυα, η αποδοτική χρήση του διατιθέμενου φάσματος, αλλά και η ικανότητα προσαρμογής και μεταβολής των συσκευών ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες είναι μερικοί από τους στόχους επιτεύξεις αυτών των συστημάτων.

Με την ίδρυση της τεχνολογίας 3G, ήταν προφανές ότι ο ρυθμός ανάπτυξης της κινητής τεχνολογίας δεν θα έπρεπε να επιβραδύνει. Ως αποτέλεσμα αυτού, υπήρξαν ιδέες για την ανάπτυξη ενός νέου 4G συστήματος. Σε

μια πρώτη έρευνα η οποία πραγματοποιήθηκε στις 25 Δεκεμβρίου 2006 της οποίας οι πληροφορίες δόθηκαν στην δημοσιότητα στις 9 Φεβρουαρίου 2007 και αφορούσαν τα αποτελέσματα των δοκιμών που έγιναν, έλεγαν ότι μπορούσαν να στείλουν πληροφορίες (data) σε ταχύτητες μέχρι περίπου 5Gbit / s στον downlink ενός εύρους 100 MHz σε έναν κινητό σταθμό που κινείται με ταχύτητα 10 km/h.

Το σύστημα που θα το επιτυγχάνει αυτό θα περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες όπως, ορθογώνια πολυπλεξία συχνότητας, MIMO (πολλαπλές έξοδοι, πολλαπλές είσοδοι), καθώς και την μέγιστη πιθανότητα ανίχνευσης. Λεπτομέρειες γι 'αυτές τις δοκιμές 4G πέρασαν στην 3GPP για την εξέτασή τους. Το 2000 η 3GPP πραγματοποίησε 2 workshops πάνω στο IMT Advanced όπου συγκεντρώθηκαν για περαιτέρω εξελίξεις για το E-UTPA.

Η τεχνική έκθεση 36,913 η οποία προέκυψε, δημοσιεύθηκε στην συνέχεια τον Ιούνιο του 2008 και υπέβαλλε στο ITU-R τον καθορισμό του LTE Advanced ως ενός προηγμένου συστήματος, σαν την πρότασή τους για το IMT Advanced.

Η ανάπτυξη του LTE Advanced / IMT Advanced ακολουθεί τις εξελίξεις των υπηρεσιών 3G που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας την τεχνολογία UMTS / W-CDMA[9]

Συνοψίζοντας ,στην ταχύτατη εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο η συνεχείς αύξηση των χρηστών των οποίων οι απαιτήσεις για νέες και υψηλής ποιότητας εφαρμογές γίνονταν όλο και περισσότερες αλλά και η σημαντική εξέλιξη και πρόοδος στους τομείς της πληροφορικής και τεχνολογίας. Στο μέλλον, οι κινητοί χρήστες προσδοκούν σε μεγαλύτερες ακόμη ανέσεις όπως στην παροχή των υπηρεσιών που λαμβάνουν από σταθερά δίκτυα. Ακόμη, η κινητικότητα του χρήστη από περιοχή σε περιοχή καθιστά υποχρέωση των μελλοντικών ασύρματων συστημάτων να παρέχουν μεγαλύτερη υποστήριξη της κινητικότητας, επαρκή ποιότητα της υπηρεσίας καθώς και πολλούς περισσότερους πόρους για τις ανάγκες των μελλοντικών εφαρμογών. Κατά συνέπεια, για την βελτιστοποίηση της χρησιμοποίησης του δικτύου αλλά και για τα επιθυμητά επίπεδα ποιότητας των υπηρεσιών, κυρίαρχο ρόλο έπαιξαν ο αποδοτικός σχεδιασμός και η σωστή διαχείριση των πόρων[8].

1.2 Σκοπός πτυχιακής εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κίνητρα ενασχόλησης με τα δίκτυα επικοινωνιών, των οποίων η αρωγή στην επίλυση κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών προβλημάτων μέσω της άμεσης επικοινωνίας ακόμη και ατόμων που βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά χαρακτηρίζεται ως άκρως επιτακτική αλλά και συνάμα επιτυχημένη, θεώρησα αρκετά ενδιαφέρον αλλά και κυρίως άκρως εποικοδομητική και την δική μου ενασχόληση πάνω σε αυτόν τον τομέα κάνοντας μια έρευνα σχετικά με τα εργαλεία και τα

«μέσα» με τα οποία εκτελούνται οι διαδικασίες των τηλεπικοινωνιών. Όπως έγινε γνωστό και στην παράγραφο 1.1 τα συστήματα στα οποία βασιζόμαστε όλα αυτά τα χρόνια είναι εκείνα της $1^{ης}$, $2^{ης}$ και $3^{ης}$ και στα οποία βασίζονται ακόμη και τα συστήματα που έκαναν τώρα την τυπική είσοδό τους στον εμπορικό κόσμο των τηλεπικοινωνιών, αυτά της $4^{ης}$ γενιάς. Έτσι στην συνέχεια της πτυχιακής θα δούμε μια ακόμη πιο λεπτομερής ανάλυση των συστημάτων αυτών έτσι ώστε να συνειδητοποιήσουμε ακόμη πιο εύκολα τις διαφορές μεταξύ αυτών σε διάφορους τομείς της εφαρμογής τους αλλά και να κατανοήσουμε πλήρως τι είναι αυτό που κάνει τα συστήματα της $4^{ης}$ γενιάς ακόμη πιο αποδοτικά.

1.3 Βιβλιογραφία

[1] M. Mouly and M.-B. Pautet. The GSM System for Mobile Communications. M.Mouly, 49 rue Louise Bruneau, Palaiseau, France, 1992.

[2] 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Web site, www.3gpp.org, Jan. 2002

[3] A.J.Viterbi, CDMA, Principles of Spread Spectrum Communications, Addisson-Wesley, 1995

[4] H.Holma, A.Toscala, W-CDMA for UMTS, J.Wiley&Sons, second edition 2002

[5] D. Knisely, S. Kumar, S. Laha and S. Nanda, "Evolution of wireless data services: IS-95 to CDMA2000", IEEE Commun. Mag., vol. 36, pp. 140-149, Oct. 1998

[6] IEEE Personal Communications, Special Issue on The Evolution of TDMA to 3G, vol. 6, no. 3, June 1999

[7] C. Bettstetter, H.-J. Vogel and J. Eberspracher, “GSM Phase 2+, General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols and Interfaces”, IEEE Communications Surveys, vol. 2, no. 3, Third Quarter 1999

[8] Κωνσταντίνος Α. Τσαγκάρης, “Βελτιστοποίηση Δικτύων UMTS και ενσωμάτωση σε περιβάλλοντα ασυρμάτων επικοινωνιών πέραν της $3^{ης}$ γενιάς”, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, Ιούνιος 2004

[9] www.radio-electronics.com

2)Συστήματα κινητών επικοινωνιών 2G

2.1 Εισαγωγή

Το ***G***lobal ***S***ystem for ***M***obile communication είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Η μελέτη για την δημιουργία αυτού του κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G) ξεκίνησε το 1982 από το Ευρωπαϊκό τηλεπικοινωνιακό συμβούλιο (European Telecomunications Standars Institute).

Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων.
Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκαν επίσημα για πρώτη φορά το πρότυπο και τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε το 1993 από την WIND Hellas. Στην συνέχεια υιοθετήθηκε από πολλές χώρες άλλων Ηπείρων εκμεταλλευόμενο διάφορες ζώνες συχνοτήτων.

2.2 Ζώνες Συχνοτήτων

GSM 900 MHz

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα GSM στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link). Οι

περιοχές (ζώνες) των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή Standard GSM.

GSM 1800 MHz

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα DCS 1800, στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Up link και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Down link. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374 (+ 1 ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχής κινητής τηλεφωνίας. Σήμερα, όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα(GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

GSM 1900 MHz

Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Up link και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Down link. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το PCS 1900 που λεγότανε παλιότερα σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM.

E-GSM • Extended-GSM 900 - Εκτεταμένη ζώνη GSM

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Up link και 925 έως 960 MHz Down link. Έτσι

επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

2.3 Κυψελοειδής Δομή Δικτύου

Η εμβέλεια ενός δικτύου GSM σε μία γεωγραφική περιοχή για να γίνει, η περιοχή αυτή διαμελίζεται σε μικρότερες περιοχές που λέγονται κυψέλες, οι οποίες εφάπτονται μεταξύ τους με κάθε κυψέλη να έχει και ένα σταθμό βάσης(Base Station), συνθέτοντας έτσι μια δομή κυψελών. Η δομή αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειάζεται για την απαιτούμενη κάλυψη της μιας περιοχής κάνοντας επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Με την μέθοδο αυτή αυξάνεται η χωρητικότητα του δικτύου αλλά πρέπει η ισχύς κάθε κυψέλης να είναι όση χρειάζεται ώστε να μην ξεπερνάει τα όρια της και να υπερχειλίζει άλλες κυψέλες της ίδιας δομής ενώ για να μην δημιουργείται ενδοκαναλική παρεμβολή σε γειτονικές κυψέλες η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να απέχουν επαρκή απόσταση οι κυψέλες μιας δομής που έχουν την ίδια συχνότητα με τις κυψέλες μιας άλλης δομής. Η ενδοκαναλική παρεμβολή μειώνεται όσο αυξάνει ο αριθμός των κυψελών της δομής. Η ακτίνα κάθε κυψέλης σε αραιοκατοικημένες περιοχές είναι έως και 35Km ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα. Σε περιοχές με πολύ μεγάλη ζήτηση χωρητικότητας δικτύου όπως σε αστικά κέντρα, οι σταθμοί βάσης υπερφορτώνονται και έτσι υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου. Έτσι για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός γίνεται διάσπαση των υπαρχόντων κυψελών σε μικρότερες, ενώ γι ΄ αυτές χρησιμοποιούνται κεραίες μικρότερης ισχύος (macro bs - micro- bs - pico bs) όπως σε κτήρια, στο μετρό, Δημόσιους Οργανισμούς, οδικές αρτηρίες κτλ..

2.4 Αρχιτεκτονική

Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 μέρη :

1) Τον Κινητό Σταθμό (Mobile Station): Έχει οπωσδήποτε πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

2) Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem): Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά σαν αυτούς που βλέπουμε σε λόφους, ταράτσες πολυκατοικιών-εταιριών-σχολείων-οργανισμών κτλ. και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται στο ***βασικό σταθμό πομπό-δέκτη Base Transceiver Station (BTS)*** και ***στο βασικό σταθμό ελέγχου Base Station Controller (BSC).***

• **Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BTS)** φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραίες. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης Α θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή Β , ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του Α για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή Β στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του Α. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο Β και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του Β κι έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο Α. Το πεδίο μιας GSM κεραίας ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4,616 ή 9,232 msec το καθένα, που είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα-χρονοθυρίδες , διάρκειας 0.577 msec η καθεμία (8Χ0,577 ή 16Χ0,577) . Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί για μια τηλεφωνική κλήση από μια χρονοθυρίδα άρα ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και από 8 ή 16 συνδρομητές. Οι 8 ή 16 χρονοθυρίδες που χωρίζονται σε ένα κανάλι αποκαλούνται πλαίσιο TDMA ενώ κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί σε 156 bits.

• **Το BSC (Base Station Controler-Βασικός Σταθμός Ελέγχου)** ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC- Mobile Switching Centre και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.

3) Το Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS- Network Switching Subsystem) που αποτελείται από:

Το Κέντρο Διανομής (Mobile Switching Center), είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση, τον έλεγχο και την δρομολόγηση εισερχόμενων/εξερχόμενων κλήσεων μεταξύ του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενός άλλου δικτύου ή άλλων.

2.5 Handover - Αλλαγή κυψέλης

Το handover, είναι η εναλλαγή μιας κλήσης που βρίσκεται σε εξέλιξη, σε διαφορετική κυψέλη επειδή η κινητή μονάδα βρίσκεται εν κίνηση. Έχει υπολογιστεί ότι ο μέσος χρόνος παραμονής σε μία κυψέλη μιας κινούμενης μονάδας είναι 4,5 λεπτά. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι handover που μπορούν να γίνουν στο GSM οι οποίοι αφορούν σε κανάλια που είναι στην ίδια κυψέλη, σε κυψέλες που βρίσκονται υπό τον έλεγχο του ίδιου Βασικού σταθμού ελέγχου (BSC), κυψέλες που βρίσκονται στον έλεγχο διαφορετικών σταθμών ελέγχου αλλά στο ίδιο MSC και κυψέλες σε διαφορετικά MSC. Οι δύο πρώτοι τύποι λέγονται εσωτερικά handovers και χρησιμοποιούν τον ίδιο Βασικό σταθμό ελέγχου (BSC), το MSC ενημερώνεται μόνο όταν ολοκληρωθεί το handover. Οι άλλοι δύο τύποι handover καλούνται εξωτερικά handovers και τα χειρίζονται τα MSCs. Επίσης τα handovers, μπορούν να ενεργοποιηθούν από το ίδιο το κινητό ή το MSC σαν λύση για την καταπολέμηση της αυξημένης κίνησης σε μια κυψέλη, την ώρα που δεν απασχολείται, το κινητό ελέγχει τα κανάλια επικοινωνίας με 16 γειτονικές κυψέλες και δημιουργεί μια λίστα με τις 6 πιο πιθανές κυψέλες για handover που έχουν το δυνατότερο σήμα. Οι πληροφορίες περνάνε στο BSC και στο MSC και χρησιμοποιούνται για τον αλγόριθμο του handover. Ο αλγόριθμος «μικρότερης επιτρεπτής απόδοσης» δίνει το δικαίωμα αλλαγής της ισχύς στο handover, έτσι ώστε όταν το σήμα φθίνει πιο κάτω από ένα συγκεκριμένο σημείο, η ισχύς του κινητού να αυξάνεται ενώ αν αυξήσει στην ισχύ δεν βελτιώσουν τελικά το σήμα δημιουργείται νέο handover. Στα διπλής ζώνης (Dual Band) δίκτυα GSM (900GSM-1800GSM) μπορεί να γίνει ταυτόχρονη χρήση των δύο αυτών συστημάτων με handovers, χωρίς να γίνεται αντιληπτό από τη κινητή μονάδα. Ο συνδρομητής θα πρέπει, όμως, να διαθέτει κινητή μονάδα που να υποστηρίζει τα δύο συστήματα ταυτόχρονα.

2.6 Χωρητικότητα Δικτύων GSM – Erlang

Σε ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιο μοντέλο τηλεφωνικής «κίνησης» με σκοπό την υψηλή ποιότητα παροχής υπηρεσιών. Το μοντέλο αυτό σχεδιάζεται βάσει κάποιων πραγματικών παρατηρήσεων με βάση την τηλεφωνική συμπεριφορά των συνδρομητών της εταιρίας. Για την κατασκευή του μοντέλου αυτού παίρνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως ο αριθμός των συνδρομητών, το πόσο συχνά και σε ποιες περιοχές κάνουν χρήση του κινητού τους(τις ώρες αιχμής-γιορτές) , τη μέση διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνδιάλεξης κ.α. παράγοντες έτσι ώστε να εξασφαλισθεί εκ των προτέρων η ικανοποίηση των χρηστών. Για να υπολογιστεί η τηλεφωνική "κίνηση" χρησιμοποιείται μια μονάδα μέτρησης, το Erlang. Ένα Erlang δείχνει το φορτίο κίνησης που μεταφέρεται από ένα κανάλι που είναι δεσμευμένο. Αν, δηλαδή, ένα κανάλι χρησιμοποιείται για μία ώρα και 30 λεπτά, κατά την διάρκεια μιας ώρας μεταφέρει 5,0 Erlangs. Εάν Q κλήσεις, μέσης διάρκειας T, πραγματοποιούνται κατά το χρονικό διάστημα t, τότε η τηλεφωνική κίνηση A δίνεται από τη σχέση:

A = (QT / t) Erlangs

Αν έχουμε 100 χρήστες από τους οποίους οι 30 κάνουν 2 κλήσεις την ώρα διάρκειας 3 λεπτών 15 να κάνουν 4 κλήσεις την ώρα διάρκειας 8 λεπτών και 55 να κάνουν 30 κλήσεις την ώρα διάρκειας ενός λεπτού τότε ο συνολικός φόρτος κίνησης είναι 38,5 Erlangs με μέση κίνηση/χρήστη να είναι 38,5 mErlangs. (30X2X3=180, 180/60min=3 Erlangs) (15X4X8=480, 480/60min=8 Erlangs) (55X30X1=1650, 1650/60min=27,5 Erlangs) (0,1 Erlangs=6min, 1 Erlangs=60min)

«Η τηλεφωνική κίνηση/συνδρομητή ορίζεται ως η μέση πιθανότητα για ένα συγκεκριμένο συνδρομητή να κάνει χρήση του τηλεφώνου του κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε ώρες αιχμής.» Μετρήσεις που έχουν γίνει σε δίκτυα GSM έχουν δείξει ότι 0,025 Erlang/συνδρομητή είναι υπεραρκετά για να καλύψουν τις ανάγκες της συνδρομητικής βάσης. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής μπορεί να κάνει μία κλήση διάρκειας 90 δευτερολέπτων/ώρα. Στην πράξη κανένα, τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στον κόσμο δεν μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα όλους τους συνδρομητές του, σε συνθήκες καταιγιστικής ζήτησης π.χ. σε περίπτωση σεισμού. Με βάση τα παραπάνω τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν σχεδιάσει τα δίκτυα τους να έχουν Gos { (Grade of Service) - η πιθανότητα να μπλοκαριστεί μια κλήση)} λιγότερο από 2%. Έτσι αν είχαμε 100 συνδρομητές με Gos 2% με μέση κίνηση/χρήστη να είναι 38.5 mErlangs τότε έχουμε 100X0,0385.5E=3,85 Erlangs με Gos 2% χρειάζονται 9 κανάλια σύμφωνα με έναν ειδικό πίνακα Erlang blocking probability. Το Erlang πήρε το όνομά του από τον Δανό μηχανικό τηλεπικοινωνιών A.K.Erlang.

2.7 Πιστοποίηση και Ασφάλεια

Ένας χρήστης για να μπορέσει να χρησιμοποιήσει το δίκτυο τότε το δίκτυο θα πρέπει πρώτα να τον πιστοποιήσει. Καταρχήν για να γίνει αυτό κάθε κινητό θα πρέπει να διαθέτει ένα κρυμμένο κλειδί το οποίο βρίσκεται συγκεκριμένα στην κάρτα SIM του και στο Κέντρο Πιστοποίησης (AC). Όταν ενεργοποιείται το κινητό, το Κέντρο Πιστοποίησης στέλνει ένα τυχαίο αριθμό στο κινητό και αυτόν τον αριθμό τον χρησιμοποιούν μαζί με το κρυμμένο κλειδί και με έναν κρυπτογραφημένο αλγόριθμο για την δημιουργία ενός νέου αριθμού. Το κινητό στέλνει πίσω στον κέντρο πιστοποίησης τον αριθμό αυτό και το κέντρο πιστοποίησης με την σειρά του ελέγχει αν είναι ίδιος με αυτόν που έφτιαξε. Αν ο αριθμός είναι ίδιος τότε ο χρήστης πιστοποιήθηκε ειδάλλως τον ειδοποιεί ότι διαδικασία εγγραφής στο δίκτυο ήταν ανεπιτυχής. Κάθε κινητό τηλέφωνο έχει την δικιά του ταυτότητα IMEI (ταυτότητα τηλεφώνου).Η ταυτότητα αυτή είναι ένας μοναδικός 16ψήφιος για κάθε συσκευή που αντιστοιχεί στην μάρκα του κινητού, αριθμός σειράς, στοιχεία κατόχου, ημερομηνία αγοράς συσκευής κ.α. Ένα δίκτυο τηλεφωνίας GSM αποθηκεύει σε 3 διαφορετικές λίστες τα IMEI των συνδρομητών της. 1η λίστα είναι η λευκή λίστα που υπάρχουν όλα τα IMEI το κινητών που λειτουργούν φυσιολογικά και μπορούν να συνδεθούν δίκτυο με ασφάλεια. 2η λίστα είναι η γκρι λίστα που υπάρχουν τα IMEI των κινητών που είναι υπό-παρακολούθηση λόγω πιθανόν προβλημάτων που δημιουργούν. 3η λίστα είναι η μαύρη λίστα που υπάρχουν τα IMEI των κινητών που έχουν δηλωθεί από τους κατόχους τους σαν κλεμμένους ή απολεσθέν τους και ανάλογα την περίπτωση διενεργείται παρακολούθηση των κινητών αυτών αν χρησιμοποιούνται ή την άρνηση εγγραφής τους με το δίκτυο, λειτουργίες αυτές ανήκουν στο MSC.

2.8 Υπηρεσίες Δικτύου

Η βασικότερη υπηρεσία του GSM είναι η δυνατότητα πραγματοποίησης και λήψη τηλεφωνικών κλήσεων. Σε κάθε κανάλι υπάρχουν 8 έως 16 χρονοθυρίδες και μπορούν να το μοιραστούν περισσότεροι του ενός χρήστες, έτσι για την πραγματοποίηση μιας κλήσης δεσμεύεται μια χρονοθυρίδα κάθε φορά.

•***Called ID***

•***Εκτροπή κλήσεων***

Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει στο χρήστη την δυνατότητα προώθησης αναπάντητων ή μη εφικτών ή κατειλημμένων ή άμεσων εισερχόμενων κλήσεων προς έναν άλλο προορισμό.

•***Απόκρυψη κλήσεων***

•***Φραγή κλήσεων***

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενεργοποιήσει φραγή εισερχόμενων ή εξερχόμενων ή εισερχόμενων διεθνών ή εξερχόμενων διεθνών ή σε περιαγωγή ή και όλων κλήσεων για όσο διάστημα θέλει.

•***Cell Broadcast***

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη στην οθόνη του κινητού την εμφάνιση σύντομων τοπικών πληροφοριών.

•***Ειδοποίηση κλήσεων***

Είναι μια υπηρεσία δικτύου δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να ενημερώνεται με γραπτό μήνυμα για τον ποιος και πότε επιχείρησε να επικοινωνήσει μαζί του και δεν καταστεί δυνατό λόγω μη εφικτής σύνδεσης μαζί του ή ήταν απενεργοποιημένη η μονάδα του.

•***SMS-Short Messaging Service***

Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την αποστολή και την λήψη κειμένου μέχρι και 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων από ένα κινητό προς ένα οποιοδήποτε άλλο κινητό με την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει κάποιο κέντρο υπηρεσίας SMS για την διαχείριση τους. Έτσι η υπηρεσία SMS έχει 2 επιμέρους υπηρεσίες, τις SMS-MO και SMS-MT.

- SMS-MO • SMS-Mobile Originated

Γίνεται η αποστολή ενός γραπτού μηνύματος, από το κινητό προς το Κέντρο Υπηρεσίας SMS.

- SMS-MT • SMS-Mobile Terminated

Γίνεται η παράδοση του γραπτού μηνύματος στον παραλήπτη, από το Κέντρο Υπηρεσίας SMS.

•*MMS-Multimedia Messaging Service*

Είναι μια υπηρεσία 2.5G και προσφέρει την αποστολή και την λήψη μηνυμάτων εμπλουτισμένων με περιεχόμενο multimedia.

•*Advice of Change*

Η υπηρεσία αυτή δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να ενημερώνεται μετά από κάθε εξερχόμενη κλήση στην οθόνη του κινητού του, την διάρκεια και την χρέωση της κλήσης του.

•*Αναμονής και κράτησης κλήσεων-Συνδιάσκεψη*

Είναι μια υπηρεσία προστιθέμενης αξίας και δίνει την δυνατότητα σε έναν χρήστη να πραγματοποιεί ή να δέχεται μια κλήση ενώ έχει ήδη μια κλήση σε εξέλιξη. Στην πρώτη περίπτωση όταν επιχειρείται μια νέα κλήση προς αυτόν ακούει ένα χαρακτηριστικό ήχο που τον προειδοποιεί, τότε ο χρήστης τότε μπορεί να απορρίψει αυτή την νέα κλήση ή να βάλει σε κράτηση την αρχική του κλήση για να επικοινωνήσει με την αναμένουσα, αυτή την εναλλαγή μπορεί να την κάνει όσες φορές θέλει. Επίσης αν ο χρήστης διαθέτει την υπηρεσία αναγνώρισης κλήσεων μπορεί να γίνει συνδυασμός των δύο αυτών υπηρεσιών και να τον ενημερώνει στην οθόνη του κινητού του για τον τηλεφωνικό αριθμό που επιχειρεί την κλήση προς σ' αυτόν. Στην δεύτερη περίπτωση όταν πραγματοποιεί μια κλήση ο συνδρομητής βάζει σε κράτηση την αρχική του συνομιλία ενώ μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των 2 κλήσεων. Και στις δύο περιπτώσεις μπορεί να γίνει εφόσον επιτρέπεται από τον πάροχεα, χρήση της υπηρεσίας τηλεδιάσκεψης που επιτρέπει την ταυτόχρονη συνομιλία μέχρι και 5 + 1 ατόμων.

•*Roaming*

Στην υπηρεσία αυτή επιτρέπετε σε συνδρομητές που βρίσκονται βρίσκονται εκτός της περιοχής κάλυψης του δικτύου τους, να δέχονται και να πραγματοποιούν τηλεφωνικές κλήσεις και να έχουν πρόσβαση σε διάφορες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, εφόσον βέβαια επιτρέπεται από τον παροχέα τους και τον παροχέα του <<ξένου>> δικτύου.

•*Τεχνολογία CSD • (Circuit Switched Data)*

Το CSD μια τεχνολογία όπου βασίζεται μια από τις πιο βασικές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας των δικτύων GSM, η οποία επιτρέπει μέσω σύνδεσης μεταγωγής κυκλώματος τη μεταφορά δεδομένων στη ταχύτητα των 9,6 ή 14,4kbps(συμμετρική σύνδεση) για upload-download ή 28.800kbps για download (ασύμμετρη σύνδεση) και στο HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) τα 57,6 kbps για download και 14,4kbps για upload (ασύμμετρη σύνδεση).

- Η ταχύτητα μίας χρονοθυρίδας μπορεί να είναι 9.600kbps ή 14.400kbps αλλά μπορεί να φτάνει και ως τα 48kbps σε δίκτυα 2.5G.

2.9 Βιβλιογραφία

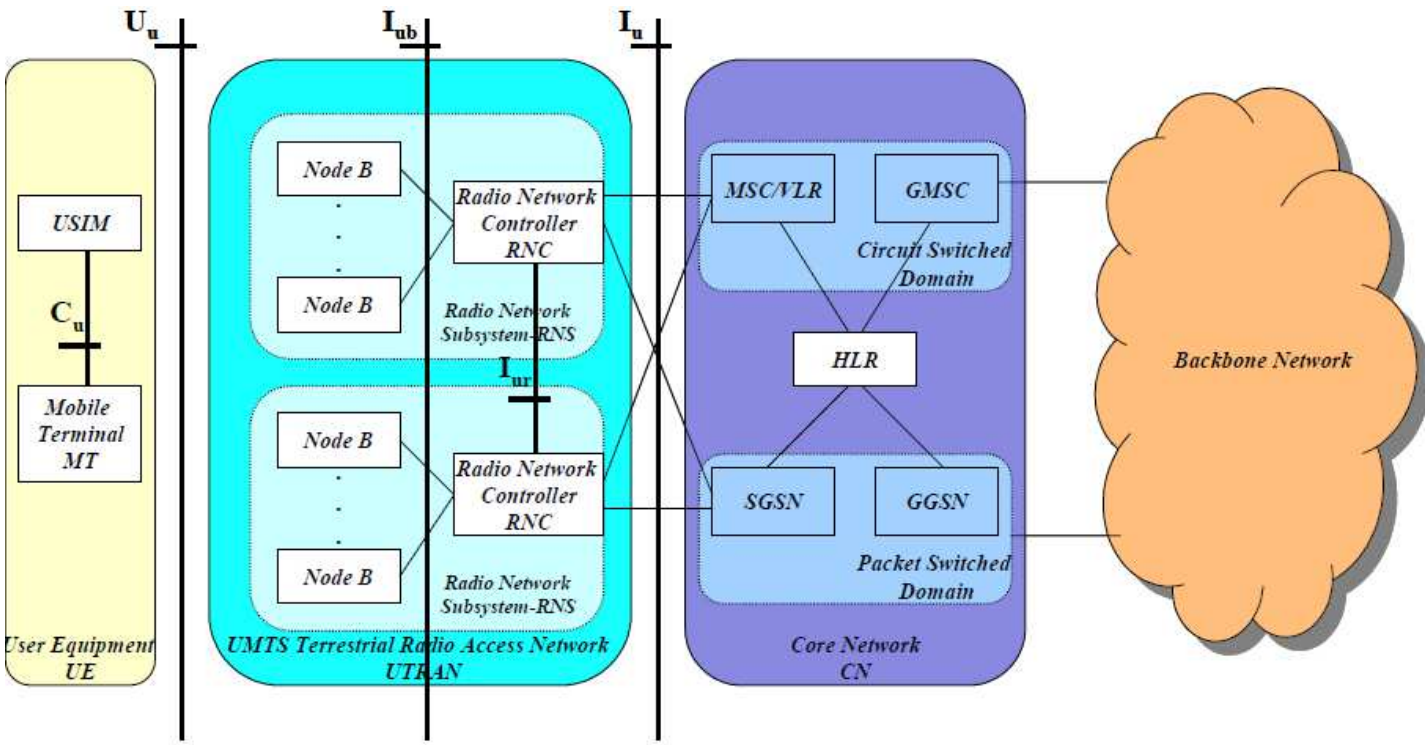
Μ. Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ, “Δίκτυα κινητών & προσωπικών επικοινωνιών”, 2η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα

3)Συστήματα κινητών επικοινωνιών 3G

3.1 Αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS

Οι εταιρείες που σχεδίαζαν και είχαν αναλάβει την ανάπτυξη του UMTS, μας είχαν προειδοποιήσει πως το σύστημα αυτό θα έμπαινε σιγά-σιγά στην καθημερινότητά μας. Αρχικός στόχος ήταν να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου οι χρήστες θα είχαν ανάγκη μεγαλύτερες ταχύτητες στην μετάδοση δεδομένων αλλά και σε περιοχές όπου ήταν επιτακτική η ανάγκη αύξησης χωρητικότητας του δικτύου. Η έτοιμη υποδομή του GSM αλλά και του GPRS είναι αυτή που αναμένεται να βοηθήσει το UMTS στο πρώτο στάδιο της εφαρμογής του. Ένα εντελώς καινούργιο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης είναι αυτό που κάνει να διαφέρει το UMTS σύστημα από τα προηγούμενα.

Εστιάζοντας , ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από 3 αλληλεπιδρώντες τομείς (domains). Το Δίκτυο Κορμού (Core Network – CN), το Επίγειο Δίκτυο Ασύρματης Πρόσβασης του UMTS (UMTS Terrestrial Radio Access Network – UTRAN) και τον Εξοπλισμό του Χρήστη (User Equipment – UE). Το GPRS είναι αυτό που χρησιμοποίει το CN το οποίο φροντίζει να παρέχει μεταγωγή, δρομολόγηση και διέλευση της κίνησης. Το UTRAN παρέχει τις μεθόδους ασύρματης πρόσβασης για το UE και συνδέεται με το CN διαμέσου της διεπαφής *u I* . Ο σταθμός βάσης αναφέρεται ως Node-B και εξυπηρετεί συνήθως μια κυψέλη, ενώ ο εξοπλισμός ελέγχου για τους Node-Bs ονομάζεται Ελεγκτής Ραδιοδικτύου (Radio Network Controller – RNC). Το UE συνδέεται με έναν Node-B μέσω της διεπαφής *u U* . Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός UMTS δικτύου όπου απεικονίζεται η διασύνδεση του UE με το UTRAN και στην συνέχεια με το CN. Η CS κίνηση διοχετεύεται μέσω του MSC και GMSC στο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας (PSTN), ενώ η PS κίνηση διοχετεύεται μέσω του SGSN και GGSN στο διαδίκτυο[1].



Σχήμα 3-1 : Αρχιτεκτονική του συστήματος UMTS.

3.2 Οι υπηρεσίες του UMTS

Οι υπηρεσίες που προσφέρει ένα UMTS δίκτυο είναι αυτές της φωνής, των μηνυμάτων αλλά και του φορέα (bearer services) και οι οποίες μας παρέχουν την δυνατότητα να μεταφέρουμε πληροφορίες ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης. Επιπλέον είναι δυνατός ο επαναπροσδιορισμός των στοιχείων μιας υπηρεσίας φορέα τόσο κατά της εγκατάσταση όσο και κατά την εξέλιξη μιας κλήσης ή συνόδου. Κάθε υπηρεσία φορέα παρουσιάζει διαφορετικούς παραμέτρους QoS σχετικά με την μέγιστη καθυστέρηση μεταφοράς ή το ποσοστό λανθασμένων bits. Οι ρυθμοί μετάδοσης έχουν ως εξής:

- 144 Kbits/s δορυφορικές εφαρμογές και αγροτικές περιοχές / εξωτερικοί χώροι
- 384 Kbits/s αστικές περιοχές / εξωτερικοί χώροι
- 2048 Kbits/s εσωτερικοί χώροι / εξωτερικοί χώροι μικρής εμβέλειας

Οι υπηρεσίες του UMTS έχουν διαφορετικές κατηγορίες QoS για τέσσερις κατηγορίες κίνησης:

- **Κατηγορία συζήτησης (Conversational class)**, όπως π.χ. ομιλία, βίντεο- διάσκεψη, εικονοτηλέφωνο.
- **Κατηγορία ροής (streaming class),** όπως π.χ. πολυμέσα, video κατ' απαίτηση.
- **Κατηγορία διάδρασης (interactive class),** όπως π.χ. πλοήγηση στο διαδίκτυο, δικτυακά παιχνίδια, πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων.
- **Κατηγορία φόντου (Background class),** όπως π.χ. ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, σύντομα μηνύματα, μεταφορά αρχείων.

Το Οικείο Ιδεατό Περιβάλλον (Virtual Home Environment – VHE) μπορεί να οριστεί ακόμη στο UMTS το οποίο έχει ως βάση την μεταφορά του προσωπικού περιβάλλοντος υπηρεσιών (Personal Service Environment – PSE) μεταξύ στα διάφορα δίκτυα και τερματικά. Με τον όρο προσωπικό περιβάλλον υπηρεσιών εννοούμε ότι οι χρήστες περιγράφονται από κάποια κοινά προσωπικά χαρακτηριστικά, ίδιες διεπαφές και ίδιες υπηρεσίες ανεξαρτήτως το δίκτυο ή το τερματικό που χρησιμοποιούν. Έτσι γίνεται και η αρχή για την είσοδο των Σύνθετων Ραδιοκυμάτων (Composite Radio Networks - CR) των οποίων η μελέτη γίνεται στα πλαίσια της πέραν της 3^{ης} γενιάς(Beyond – 3G) την οποία θα την δούμε στο επόμενο κεφάλαιο[1].

3.3 Σχεδιασμός στο UMTS

Τα εργαλεία σχεδιασμού πρέπει να μας δίνουν την δυνατότητα να μοντελοποιούμε ακριβώς την συμπεριφορά ενός δικτύου όταν αυτό φορτώνεται με κάποιο προφίλ κίνησης. Τα κυψελωτά συστήματα της 3^{ης} γενιάς είναι σε θέση να μας προσφέρουν πολύ πιο προηγμένες τεχνολογίες από τις ήδη υπάρχουσες. Οι 2 μεγαλύτερες προκλήσεις που οδήγησαν στο σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση ενός συστήματος 3^{ης} γενιάς το οποίο βασίζεται στο WCDMA είναι αυτή της ασύρματης πρόσβασης αλλά και του προφίλ κίνησης. Το προφίλ κίνησης είναι αυτό που περιγράφει το σύνολο των υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται από τον πληθυσμό των χρηστών. Από την άλλη πλευρά υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη και είναι συνδεδεμένα με την τεχνολογία WCDMA έτσι ώστε να οριστεί επαρκώς η ραδιοκάλυψη του συστήματος . Συγκεκριμένα αναγκαίοι θεωρούνται για ένα σύστημα με τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης που βασίζεται στο CDMA, μηχανισμοί χαρακτηρισμού του καναλιού αλλά και ελέγχου της παρεμβολής. Επίσης, διαφορετικά κέρδη επεξεργασίας (processing gain) και διαφορετικές απαιτήσεις στον λόγο του σήματος προς την παρεμβολή (SIR) αντιστοίχως παρουσιάζονται σε διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών. Στα συστήματα 2ης γενιάς , η ευαισθησία (sensitivity) και μέγιστη

ακτίνα κάλυψης θεωρούνται σταθερά. Σε αντίθεση με τα συστήματα της 2ης , ένα σύστημα UMTS που έχει ως βάση του το WCDMA, το κατώφλι για την κάλυψη έχει άμεση σχέση από τον αριθμό των χρηστών αλλά και τους αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης bit των χρηστών.

Στη διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος UMTS μπορούμε να αναφέρουμε 3 φάσεις : α) τον αρχικό σχεδιασμό ή διαστασιολόγηση, β) το λεπτομερή σχεδιασμό της κάλυψης και χωρητικότητας και γ) τη διαχείριση και βελτιστοποίηση του δικτύου. Λειτουργίες που μπορούν να προστεθούν όπως για παράδειγμα, μετρήσεις πάνω στη διάδοση, καθορισμός δεικτών ελέγχου απόδοσης, είναι ικανές να συμπληρώσουν τις φάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο αριθμός των ταυτόχρονων χρηστών έχει την δυνατότητα να επηρεάσει άμεσα τα επίπεδα του θορύβου σε όλους τους κινητούς δέκτες σε ένα κυψελωτό σύστημα στο οποίο όλες οι συνδέσεις λαμβάνουν χώρα επάνω στο ίδιο φέρον .Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ του σχεδιασμού της κάλυψης με αυτόν της χωρητικότητας σε ένα σύστημα UMTS .Η διαδικασία της σχεδίασης πρέπει να προβεί σε ένα σύνολο από τροποποιήσεις της οποίες τις απαιτεί η ποικιλία των υπηρεσιών.
Μια από αυτές τις τροποποιήσεις έχει να κάμει με την ποιότητα της υπηρεσίας. Μέχρι σήμερα ο προσδιορισμός της κάλυψης ομιλίας και της πιθανότητας αποκλεισμού (blocking probability) ήταν αρκετός. Επιπλέον, ακόμη μεγαλύτερη μελέτη χρειάζεται για την κάλυψη εσωτερικών χώρων (π.χ. εσωτερικό γραφείων, αυτοκινήτων). Σε ένα σύστημα UMTS, το πρόβλημα είναι κάπως πιο πολυδιάστατο. Τα επίπεδα ποιότητας κάθε υπηρεσίας πρέπει να καθορίζονται πλήρως και στην συνέχεια να εκπληρώνονται κάτι που σημαίνει ότι η περισσότερο απαιτητική περίπτωση είναι αυτή που θα ορίσει και την μέγιστη ακτίνα της κυψέλης. Ακόμη, υπηρεσίες που βασίζονται στην μετάδοση πακέτων δεδομένων τα κριτήρια για την ποιότητα έχουν σχέση με τις χρονικές καθυστερήσεις (delays) και τη διέλευση (throughput).

Όπως σε όλα τα συστήματα, έτσι και σε αυτά της 3ης γενιάς, οι ζεύξεις ανόδου (uplink) και οι ζεύξεις καθόδου (downlink) πρέπει να αναλύονται ταυτόχρονα. Μία διαφορά υπάρχει στο ότι , τα σημερινά συστήματα διαθέτουν δύο ισορροπημένες ζεύξεις, ενώ στα συστήματα της 3ης γενιάς γνωρίζουμε τον όρο των ασύμμετρων υπηρεσιών (asymmetric services), όπου μια από τις δύο ζεύξεις (κυρίως η ζεύξη καθόδου) μπορεί να είναι πιο πολύ φορτωμένη και επομένως να ορίζει αυτή τη χωρητικότητα ή την κάλυψη μιας κυψέλης. Όπως και σε όλα τα συστήματα, η ανάλυση των φαινομένων που σχετίζονται με την διάδοση είναι η ίδια με την μόνη διαφορά ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλά μοντέλα. Επιπροσθέτως η ανάλυση της παρεμβολής (interference) είναι ένα ακόμη κοινό στοιχείο το οποίο φαντάζει απαραίτητο στα συστήματα FDMA/TDMA για την κατανομή των συχνοτήτων, ενώ στα συστήματα WCDMA είναι επίσης σημαντικό λόγω της ύπαρξης του κοινού φέροντος [1].

Οι παραπάνω διαδικασίες οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από τις ενίοτε απαιτήσεις του παρόχου κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Απαιτήσεις σχετικές με την κάλυψη :

- περιοχές κάλυψης
- πληροφορία του τύπου της περιοχής
- συνθήκες διάδοσης

Απαιτήσεις σχετικές με τη χωρητικότητα :

- *διαθέσιμο εύρος ζώνης*
- πρόβλεψη αύξησης αριθμού συνδρομητών
- πληροφορία σχετικά με την πυκνότητα της κίνησης

Απαιτήσεις σχετικές με την ποιότητα υπηρεσιών :

- πιθανότητα κάλυψης
- πιθανότητα αποκλεισμού
- ρυθμοί μετάδοσης τελικών χρηστών

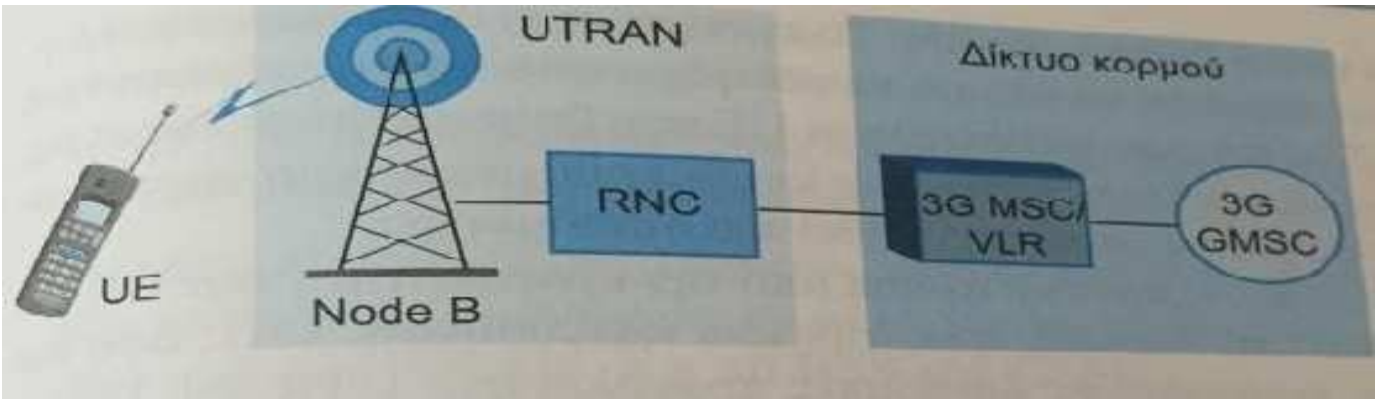
3.4 Διαχείριση ασυρμάτων πόρων στο UMTS

Το σύστημα πρόσβασης στο UMTS είναι το UTRAN (UMTS Radio Access Network) του οποίου το κύριο έργο είναι να εγκαθιστά και να διατηρεί τις συνδέσεις που απαιτούνται για την επικοινωνία μεταξύ της συσκευής του χρήστη (User Equipment, UE) και του δικτύου κορμού . Οι ασύρματες αυτές συνδέσεις, που αποτελούν και τους φορείς ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Bears,RABs), δίνουν την αίσθηση στις UE ότι υπάρχει σταθερή σύνδεση με το δίσκο και, κατ ΄ αυτόν τον τρόπο, απαλλάσσουν τις UE από το να μεριμνούν για θέματα ασύρματης επικοινωνίας[2].

Το UTRAN είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για τη διαχείριση των ασυρμάτων πόρων. Οι λειτουργίες διαχείρισης βρίσκονται τόσο στην UE όσο και στον ελεγκτή ασύρματου δικτύου (Radio Network Controller, RNC) του UTRAN. Η διαχείριση ασυρμάτων πόρων περιλαμβάνει ποικίλους αλγορίθμους , οι οποίοι έχουν ως στόχο τη σταθεροποίηση της ασύρματης διαδρομής, ώστε να ικανοποίει τις απαιτήσεις ποιότητας της υπηρεσίας που την χρησιμοποιεί. Οι αλγόριθμοι πρέπει να ανταλλάσσουν πληροφορίες

μέσω ασύρματης διαδρομής με τη βοήθεια κατάλληλου πρωτοκόλλου. Οι αλγόριθμοι διαχείρισης ασύρματων πόρων είναι οι εξής[2] :

- Ελέγχου διαπομπής
- Ελέγχου ισχύος
- Ελέγχου αποδοχής και καθορισμού σειράς μετάδοσης των πακέτων
- Διαχείρισης κωδίκων



Σχήμα 3-2 : Αρχιτεκτονική του UTRAN

3.4.1 Έλεγχος ισχύος

Ο έλεγχος ισχύος είναι ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό των κυψελωτών συστημάτων CDMA. Τα συστήματα αυτά δεν μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς την ύπαρξη ενός πολύ καλού μηχανισμού ελέγχου της ισχύος. Οι κυριότεροι λόγοι εφαρμογής ελέγχου ισχύος είναι το φαινόμενο near-far, η εξάρτηση της χωρητικότητας των συστημάτων CDMA από τις παρεμβολές και οι περιορισμένες δυνατότητες της μπαταριάς των κινητών τερματικών. Λόγω του γεγονότος, ότι κάθε κυψέλη στα συστήματα CDMA χρησιμοποιεί όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων, σε κάθε τερματικό η παρεμβολή από τα υπόλοιπα τερματικά του συστήματος εκλαμβάνεται ως θόρυβος. Όταν λοιπόν δεν υπάρχει έλεγχος ή υπάρχει και δεν λειτουργεί καλά, η κοινή χρήση όλου του φάσματος προκαλεί το σοβαρό φαινόμενο near-fear. Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό, ότι, στη βέλτιστη κατάσταση, πρέπει οι στάθμες των σημάτων όλων των τερματικών στην ζεύξη ανόδου κάθε σταθμού βάσης να είναι ίσες

μεταξύ τους, ανεξάρτητα από την απόσταση κάθε τερματικού από τον σταθμό βάσης. Αν συμβεί αυτό, ο λόγος S/I θα είναι βέλτιστος και ο σταθμός βάσης θα μπορεί να αποκωδικοποιήσει τον μέγιστο αριθμό μεταδόσεων. Στην πραγματικότητα, όμως, ο ραδιοδίαυλος είναι πολύ ασταθής και οι αιτούμενες υπηρεσίες από τους χρήστες είναι διαφορετικές μεταξύ τους, ακόμη και για τον ίδιο τον χρήστη, οπότε η ισχύς εκπομπής κάθε UE πρέπει να ελέγχεται με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας αποτελεσματικούς μηχανισμούς.

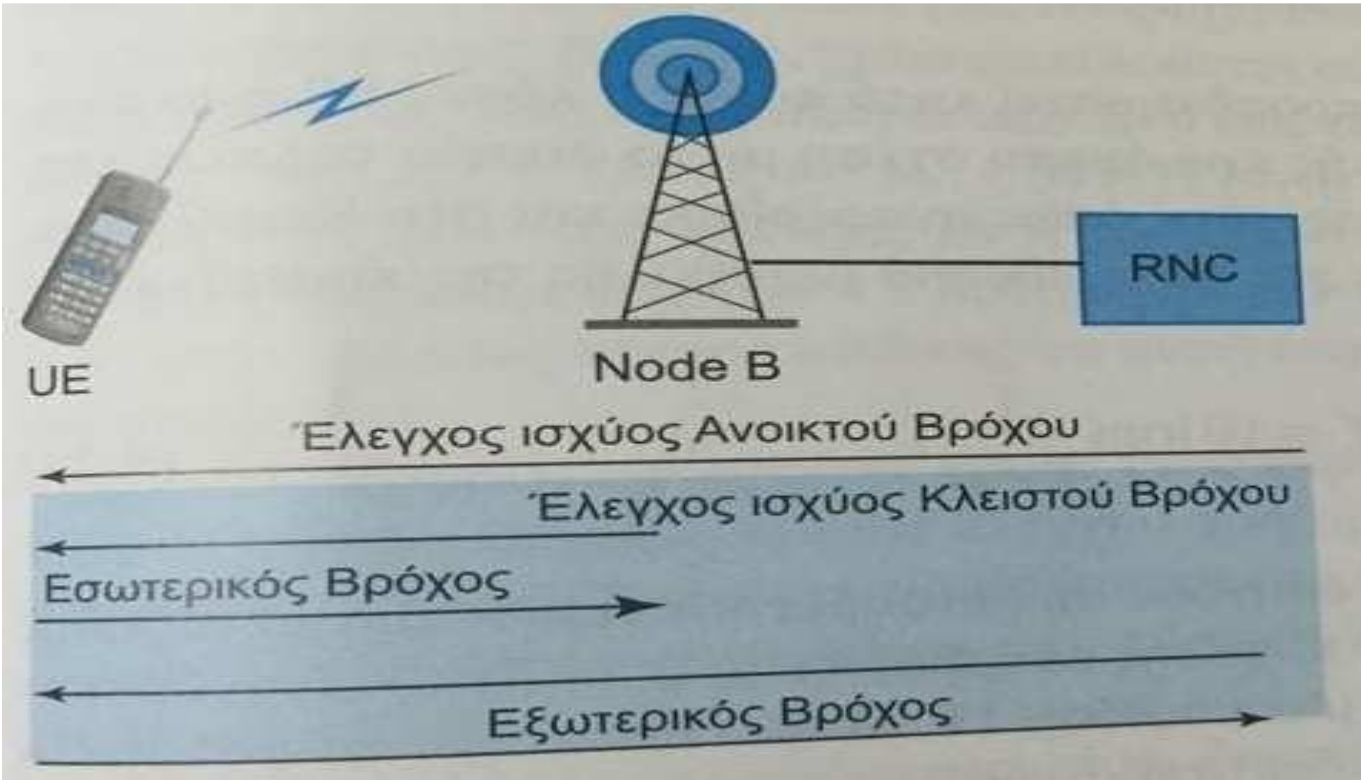
Από τότε που εμφανίστηκαν τα συστήματα CDMA, έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι ελέγχου ισχύος. Οι περισσότεροι από τους τρέχοντες αλγορίθμους χρησιμοποιούν τον λόγο S/I ή την ισχύ εκπομπής ως σημείο αναφοράς στη διαδικασία ελέγχου ισχύος. Στους αλγορίθμους κεντρικού ελέγχου ισχύος, απαιτείται ένα κεντρικός ελεγκτής, ο οποίος θα πρέπει να έχει γνώση για όλες τις συνδέσεις στο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (Radio Access Network, RAN). Αντίθετα, οι αλγόριθμοι κατανεμημένου ελέγχου ισχύος δεν χρησιμοποιούν κεντρικό ελεγκτή, αλλά κατανέμουν τον μηχανισμό ελέγχου μέσα στο RAN, γεγονός που τους καθιστά πολύ ενδιαφέροντες. Οι κεντρικές λύσεις επιφέρουν πρόσθετη πολυπλοκότητα, καθυστερήσεις και ευπάθεια στα δίκτυα. Το κυριότερο πλεονέκτημα των αλγορίθμων κατανεμημένου ελέγχου είναι ότι προσαρμόζονται εύκολα σε μεταβλητή Qos, γεγονός που ενδιαφέρει πάρα πολύ στα κυψελωτά συστήματα που χρησιμοποιούν μεταγωγή πακέτου, όπως είναι το WCDMA.

Στα συστήματα WCDMA, ο έλεγχος ισχύος εφαρμόζεται και στη κατεύθυνση ανόδου και στη κατεύθυνση καθόδου. Στη ζεύξη καθόδου,ο έλεγχος ισχύος γίνεται βασικά για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών με τις άλλες κυψέλες και για την αντιστάθμιση των παρεμβολών από τις άλλες κυψέλες, καθώς και για την επίτευξη του επιθυμητού SIR. Ωστόσο, ο έλεγχος ισχύος στη ζεύξη καθόδου δεν είναι τόσο σημαντικός όσο είναι στη ζεύξη ανόδου. Εφαρμόζεται ακόμη, διότι βελτιώνει την επίδοση του συστήματος με τον έλεγχο των παρεμβολών από τις άλλες κυψέλες. Στη ζεύξη ανόδου, ο κύριος στόχος του ελέγχου ισχύος είναι η απάλειψη του φαινομένου near-far καθιστώντας τις στάθμες λήψης από όλα τα τερματικά ενός σταθμού βάσης όσον το δυνατόν ίσες μεταξύ τους για την ίδια QoS. Συνεπως, ο έλεγχος ισχύος στη ζεύξη ανόδου εφαρμόζεται για τη ρύθμιση της ισχύος της εκπομπής των τερματικών και έχει ως αποτέλεσμα την άμβλυνση των ενδοκυψελικών παρεμβολών και του φαινομένου near-far. Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι ο μηχανισμός ελέγχου ισχύος στα συστήματα WCDMA είναι, βασικά, μια κατανεμημένη λύση.

Τα συστήματα WCDMA χρησιμοποιούν δύο διαφορετικούς μηχανισμούς ελέγχου ισχύος, τον έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόχου (Open Loop Power Control, OLPC) και τον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου (Closed Loop Power Control, CLPC). Ο δεύτερος μηχανισμός περιλαμβάνει έλεγχο ισχύος εσωτερικού και εξωτερικού βρόχου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Με την ταυτόχρονη εφαρμογή των

δύο αυτών μηχανισμών, το ULTRAN εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα του κεντρικού ελέγχου ισχύος και με τους υπερκείμενους μηχανισμούς του κλειστού βρόχου διατηρεί τον λόγο SIR σε αποδεκτά επίπεδα.

Ο μηχανισμός ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιείται βασικά στην ζεύξη ανόδου και μέσω αυτού η UE ρυθμίζει την ισχύ εκπομπής της όταν είναι σε κατάσταση ηρεμίας, βάσει μιας εκτίμησης της στάθμης του λαμβανομένου σήματος από τον σταθμό βάσης. Επιπρόσθετα, η UE λαμβάνει πληροφορίες από το δίαυλο κοινού ελέγχου για τις επιτρεπόμενες στάθμες, όταν είναι σε κατάσταση ηρεμίας. Η UE υπολογίζει τις απώλειες διαδρομής και με βάση τις τιμές που λαμβάνει από το δίαυλο κοινού ελέγχου εκτιμά τη στάθμη ισχύος με την οποία θα επιχειρήσει την αρχική πρόσβαση.
Ο μηχανισμός κλειστού βρόχου χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της στάθμης εκπομπής, όταν έχει ήδη εγκατασταθεί η σύνδεση. Σκοπός του είναι να αντισταθμίσει την επίδραση των απότομων μεταβολών της έντασης του σήματος και, συνεπώς πρέπει να είναι αρκετά γρήγορος για να ανταποκρίνεται σ ΄ αυτές τις αλλαγές. Εφαρμόζεται τόσο στη ζεύξη ανόδου όσο και στη ζεύξη καθόδου. Στην πρώτη περίπτωση, ο σταθμός βάσης ανάλογα με τον λόγο SIR στο λαμβανόμενο σήμα δίνει εντολή στην UE, με ρυθμό 1500 φορές ανά sec, να μεταβάλει την ισχύ εκπομπής της με βήματα μεταβολής 1,2 ή 3 db. Στην περίπτωση της ζεύξης καθόδου, εφαρμόζεται η αντίστροφη διαδικασία. Ο εσωτερικός βρόχος, στη μέθοδο κλειστού βρόχου, είναι ο ταχύτερος και για τον λόγο αυτόν ονομάζεται ταχύς έλεγχος ισχύος[2].



Σχήμα 3-3 : Μηχανισμοί ελέγχου ισχύος στα συστήματα WCDMA

3.4.2 Έλεγχος διαπομπής

Ο μηχανισμός ελέγχου της διαπομπής είναι αρκετά πολύπλοκος στα κυψελωτά συστήματα και ιδιαίτερα στα συστήματα CDMA. Στα συστήματα WCDMA, όπως το UMTS, η διαπομπή κατά τη διάρκεια της μετάδοσης χρησιμοποιείται μόνο για τις κλήσεις μεταγωγής κυκλώματος. Στην περίπτωση των κλήσεων μεταγωγής πακέτου , οι διαπομπές διεκπεραιώνονται κυρίως, όταν ούτε το δίκτυο ούτε η UE έχουν κάποιο πακέτο να μεταδώσουν. Ανεξάρτητα από το είδος της διαπομπής, το κοινό χαρακτηριστικό στις διαπομπές είναι, ότι η ποιότητα υπηρεσίας στην τρέχουσα σύνδεση δεν είναι η αποδεκτή ή η βέλτιστη. Τα κριτήρια για την έναρξη της διαπομπής στα συστήματα CDMA αφορούν την ποιότητα του σήματος, την κινητικότητα των χρηστών, την κατανομή της κίνησης, το εύρος ζώνης και άλλα.

Το κριτήριο της ποιότητας του σήματος ισχύει, όταν η ποιότητα ή η στάθμη του σήματος στην ασύρματη διεπαφή πέσει κάτω από τις προδιαγραφόμενες τιμές στον RNC. Η υποβάθμιση της ποιότητας του σήματος ανιχνεύεται από συνεχείς μετρήσεις που πραγματοποιούνται και από την UE και από τους σταθμούς βάσης. Η διαπομπή λόγω της ποιότητας του σήματος μπορεί να εφαρμοσθεί και για τη ζεύξη ανόδου και για τη ζεύξη καθόδου. Το κριτήριο της κατανομής της κίνησης εφαρμόζεται, όταν η κίνηση σε κάποια κυψέλη έχει φθάσει στη μέγιστη τιμή της ή την πλησιάζει. Σ' αυτήν την περίπτωση οι UE που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης μπορεί να διαπεμφθούν σε γειτονικές κυψέλες με μικρότερο φορτίο και έτσι το φορτίο του συστήματος να κατανεμηθεί πιο ομορφότερα.

Ο αριθμός των διαπομπών εξαρτάται άμεσα από την κινητικότητα των UE. Αν υποτεθεί ότι μια UE κινείται διαρκώς προς την ίδια κατεύθυνση, τότε, όσο πιο γρήγορα κινείται τόσες περισσότερες διαπομπές προκαλεί στο UTRAN. Για να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες διαπομπές, μπορεί, για παράδειγμα μια UE με μεγάλη ταχύτητα να διαπεμφθεί από μικροκυψέλη σε μακροκυψέλη. Αντίθετα, μια UE που κινείται αργά μπορεί να διαπεμθεί από μακροκυψέλη σε μικροκυψέλη, για να βελτιωθεί η στάθμη του σήματος και για εξοικονόμηση ισχύος της μπαταρίας.

Η απόφαση για την πραγματοποίηση της διαπομπής λαμβάνεται πάντα από τον RNC, που εξυπηρετεί το τερματικό, εκτός βέβαια από την περίπτωση της διαπομπής για λόγους φορτίου. Σ' αυτήν την περίπτωση, μπορεί το κέντρο μεταγωγής (MSC), επίσης, να λάβει την απόφαση. Πέραν όλων των ανωτέρω αιτιών διαπομπής, οι αλλαγές υπηρεσιών μπορεί, επίσης, να προκαλέσουν διαπομπές καθώς και άλλοι λόγοι.

Η διαδικασία της διαπομπής έχει τρεις κύριες φάσεις :

- Μετρήσεις
- Απόφαση
- Εκτέλεση

Η πρόβλεψη για μετρήσεις που αφορούν τη διαπομπή είναι ουσιαστικής σημασίας για την επίδοση του συστήματος, για δύο κυρίως λόγους, Πρώτον, η στάθμη του σήματος μπορεί να μεταβάλλεται δραστικά, λόγω των απωλειών διαδρομής και λόγω των διαλείψεων που οφείλονται αφενός στο ασύρματο περιβάλλον της κυψέλης και αφετέρου στην κίνηση των χρηστών. Δεύτερον, ο υπερβολικά μεγάλος αριθμός αναφορών από τις UE ή οι πραγματοποιήσεις διαπομπών από το δίκτυο αυξάνουν το συνολικό φορτίο σηματοδοσίας, γεγονός που είναι ανεπιθύμητο. Για τους σκοπούς της διαπομπής, η UE, και κατά τη διάρκεια της σύνδεσης, μετράει διαρκώς τη στάθμη του σήματος από τις γειτονικές κυψέλες και αναφέρει τα αποτελέσματα στον RNC. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της επιτροπής 3GPP, οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από την UE μπορούν να ενταχθούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το τι πρέπει να μετρηθεί. Οι κατηγορίες μετρήσεων είναι :

- Μετρήσεις στην ίδια συχνότητα (intra-frequency), που αφορούν τη στάθμη των φυσικών διαύλων καθόδου με την ίδια συχνότητα.
- Μετρήσεις σε διαφορετικές συχνότητες (inter-frequency), που αφορούν τη στάθμη των φυσικών διαύλων καθόδου σε διαφορετικές συχνότητες.
- Μετρήσεις μεταξύ συστημάτων, που αφορούν τη στάθμη των φυσικών διαύλων καθόδου που ανήκουν σε άλλο σύστημα ασύρματης πρόσβασης, διαφορετικό από το UTRAN, π.χ. το BSS του GSM.
- Μετρήσεις όγκου κίνησης, που αφορούν την κίνηση στη ζεύξη ανόδου.
- Μετρήσεις ποιότητας, που αφορούν παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας, όπως για παράδειγμα το block error rate στη ζεύξη καθόδου.
- Εσωτερικές μετρήσεις, που περιλαμβάνουν μετρήσεις της στάθμης εκπομπής της UE και της στάθμης λήψης.

Μετρήσεις επίσης μπορεί να προκληθούν και από τα παρακάτω γεγονότα :

- Αλλαγή της καλύτερης κυψέλης
- Αλλαγή της στάθμης στον πρωτεύοντα κοινό πιλοτικό δίαυλο
- Αλλαγή της στάθμης στον πρωτεύοντα δίαυλο κοινού ελέγχου

- Αλλαγή στη στάθμη του SIR
- Περιοδικές αναφορές

Συνεπώς, οι προδιαγραφές των συστημάτων WCDMA παρέχουν διάφορα κριτήρια μετρήσεων για την υποστήριξη των μηχανισμών διαπομπής. Για να βελτιωθεί η επίδοση του συστήματος πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη διαδικασία μετρήσεων και τα κριτήρια μετρήσεων, καθώς και η διάρκεια των διαστημάτων φιλτραρίσματος των μετρήσεων.

Η φάση της απόφασης αφορά την εκτίμηση της συνολικής ποιότητας της σύνδεσης και τη σύγκριση της με την απαιτούμενη ποιότητα καθώς και με τις εκτιμήσεις της ποιότητας που παρέχονται από τις άλλες κυψέλες. Ανάλογα με το αποτέλεσμα της σύγκρισης, η διαπομπή μπορεί να εκκινήσει ή όχι. Ο RNC που εξυπηρετεί το κινητό τερματικό (Serving RNC, SRNC) ελέγχει κατά πόσον οι τιμές των μετρήσεων που περιέχονται στις αναφορές υπερβαίνουν κάποια ομάδα κριτηρίων ή όχι και, ανάλογα, επιτρέπει ή δεν επιτρέπει την εκτέλεση της διαπομπής. Με κριτήριο την απόφαση για την διαπομπή διακρίνουμε δύο τύπους διαπομπής : την εκτιμώμενη από το δίκτυο διαπομπή (Network Evaluated Handover, NEHO) και την εκτιμώμενη από το κινητό τερματικό διαπομπή (Mobile Evaluated Handover, MEHO). Στην περίπτωση της NEHO, ο SRNC αποφασίζει για την διαπομπή, ενώ στην MEHO, η UE προετοιμάζει την απόφαση. Στη συνδυασμένη περίπτωση NEHO και MEHO, η απόφαση λαμβάνεται από κοινού, από τον RNC και από την UE. Πρέπει να σημειωθεί, ότι, ακόμη και στην περίπτωση MEHO, η τελική απόφαση για την εκτέλεση της διαπομπής λαμβάνεται από τον τρέχοντα RNC. Ο λόγος είναι, ότι ο RNC είναι υπεύθυνος για τη συνολική διαχείριση των ασυρμάτων πόρων του συστήματος και ως εκ τούτου έχει πλήρη γνώση για το συνολικό φορτίο και για τις άλλες πληροφορίες που χρειάζονται για την εκτέλεση της διαπομπής.

Η λήψη της απόφασης για τη διαπομπή βασίζεται στις μετρήσεις που στέλνονται από την UE και από τον σταθμό βάσης, καθώς και στα κριτήρια που τίθενται από τον αλγόριθμο διαπομπής. Οι αλγόριθμοι διαπομπής δεν είναι αντικείμενο προτυποποίησης αλλά εξαρτώνται από την υλοποίηση του κάθε συστήματος. Συνεπώς μπορεί ελεύθερα να χρησιμοποιούνται εξελιγμένοι αλγόριθμοι, οι οποίοι βασίζονται στις διαθέσιμες παραμέτρους, στις δυνατότητες των στοιχείων δικτύου, στην κατανομή της κίνησης, στη δικτυακή υποδομή και στη συνολική στρατηγική που εφαρμόζεται από τους παρόχους.

Οι γενικές αρχές ενός αλγορίθμου διαπομπής που βασίζεται στη στάθμη του πιλοτικού σήματος, όπως αυτή αναφέρεται από την UE προς το δίκτυο, παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Στον αλγόριθμο αυτόν χρησιμοποιούνται οι εξής όροι και παράμετροι :

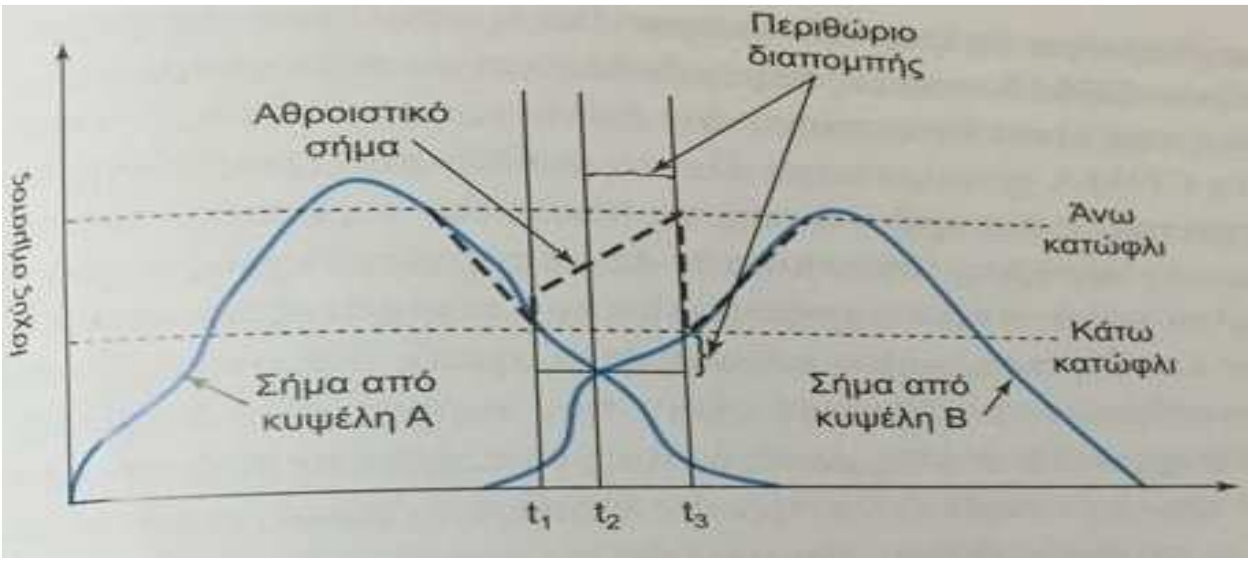
- Άνω κατώφλι : είναι η μέγιστη αποδεκτή στάθμη του σήματος στη σύνδεση, όσον αφορά την QoS.
- Κάτω κατώφλι : είναι η ελάχιστη αποδεκτή στάθμη του σήματος στη σύνδεση, όσον αφορά την QoS .
- Περιθώριο διαπομπής : είναι μια προκαθορισμένη παράμετρος η οποία τίθεται στο σημείο όπου η στάθμη του σήματος από γειτονική κυψέλη υπερβαίνει τη στάθμη του σήματος της τρέχουσας κυψέλης κατά συγκεκριμένη ποσότητα και / ή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Ενεργή ομάδα : είναι η λίστα των κυψελών μέσω των οποίων η UE έχει ταυτόχρονη σύνδεση στο UTRAN.

Υποθέστε ότι μια UE που εξυπηρετείται από την κυψέλη A κινείται προς την κυψέλη B. Καθώς η UE κινείται προς την κυψέλη B, η στάθμη του πιλοτικού σήματος από την τρέχουσα κυψέλη A ελαττώνεται και πλησιάζει το κάτω κατώφλι, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Τούτο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα έναρξη διαπομπής μέσω των ακόλουθων βημάτων :

- Τη χρονική στιγμή t_1, η στάθμη του σήματος από την κυψέλη A γίνεται ίση με το προκαθορισθέν κάτω κατώφλι. Από την άλλη πλευρά, με βάση τις μετρήσεις της UE, ο RNC αναγνωρίζει ότι υπάρχει μια άλλη διαθέσιμη κυψέλη, η B, της οποίας έχει την κατάλληλη στάθμη για να βελτιώσει την ποιότητα της σύνδεσης. Συνεπώς προσθέτει το σήμα της B στην ενεργή ομάδα. Από την στιγμή αυτή και μετά η UE έχει δύο ενεργές συνδέσεις προς το UTRAN και συνεπώς επωφελείται από το αθροιστικό σήμα A και B.
- Τη χρονική στιγμή t_2, η στάθμη του σήματος της κυψέλης B γίνεται καλύτερη από εκείνην του σήματος της κυψέλης A, οπότε ο RNC αρχίζει από την στιγμή αυτή να υπολογίζει το περιθώριο διαπομπής.
- Τη χρονική στιγμή t_3, η στάθμη του λαμβανόμενου σήματος από την κυψέλη B αρχίζει να γίνεται μεγαλύτερη από το κάτω κατώφλι, οπότε και είναι κατάλληλη για την απαιτούμενη ποιότητα της σύνδεσης. Επίσης, η στάθμη του αθροιστικού σήματος υπερβαίνει το καθορισθέν άνω κατώφλι, προκαλώντας έτσι επιπρόσθετη παρεμβολή στο σύστημα. Τούτο έχει ως αποτέλεσμα να απαλείψει ο RNC το σήμα της κυψέλης A από την ενεργή ομάδα.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι το μέγεθος της ενεργής ομάδας μπορεί να μεταβάλλεται και να κυμαίνεται συνήθως από 1 έως 3 κυψέλες. Στο ανωτέρω παράδειγμα, η ενεργή ομάδα, για το χρονικό διάστημα $t_3 - t_1$, είναι 2 κυψέλες. Επειδή η κατεύθυνση της UE μεταβάλλεται τυχαία, είναι πιθανό να γυρίσει προς στιγμήν η UE προς την κυψέλη A, μετά την πρώτη διαπομπή. Τούτο έχει ως αποτέλεσμα το ονομαζόμενο φαινόμενο πινκ – πονκ, το οποίο έχει επίδραση τόσο στη χωρητικότητα όσο και στην

επίδοση του συστήματος. Η χρήση του περιθωρίου διαπομπής γίνεται για να αποφευχθούν οι ανεπιθύμητες διαπομπές, οι οποίες επιφέρουν επιπρόσθετο φορτίο στο UTRAN[2].



Σχήμα 3-4 : Γενικές αρχές αλγορίθμων διαπομπής

3.4.3 Έλεγχος αποδοχής κλήσης

Ο σημαντικότερος περιοριστικός παράγων στα συστήματα WCDMA είναι οι παρεμβολές στην ασύρματη διεπαφή. Λόγω της φύσης και των βασικών χαρακτηριστικών της WCDMA, το σήμα κάθε UE εκλαμβάνεται ως θόρυβος από τις άλλες UE. Κατά τη σχεδίαση ενός κυψελωτού δικτύου WCDMA, ένα από τα βασικά κριτήρια είναι ο καθορισμός μιας αποδεκτής στάθμης παρεμβολής με την οποία το δίκτυο αναμένεται να λειτουργεί σωστά. Ο καθορισμός του κατωφλιού παρεμβολής κατά τη σχεδίαση, κατά τρόπον που να ταιριάζει με την πραγματική στάθμη των σημάτων που μεταδίδουν οι UE, είναι ένα δύσκολο έργο και μπορεί να θέτει επιπλέον περιορισμούς στη χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής. Πρέπει λοιπόν να τεθεί κατά τη σχεδίαση μια προκαθορισμένη τιμή του λόγου S/I. Θεωρητικά το ασύρματο μέρος του δικτύου είναι ευσταθές όσο δεν υπάρχει υπέρβαση της προκαθορισμένης στάθμης S/I σε κάποια κυψέλη. Τούτο πρακτικά σημαίνει ότι στον δέκτη του σταθμού βάσης το σήμα και η παρεμβολή πρέπει να έχουν διαφορετικές στάθμες ισχύος για να είναι δυνατή η αποδιαμόρφωση. Αν η διαφορά

στάθμης είναι πολύ μικρή, ο σταθμός βάσης αδυνατεί να εξάγει το επιμέρους σήμα από το φέρον. Κάθε UE που επικοινωνεί σε μια κυψέλη «καταναλώνει» ένα μέρος του λόγου S/I και η κυψέλη χρησιμοποιείται μέχρι τη μέγιστη στάθμη του λόγου αυτού, οπότε ο δέκτης του σταθμού βάσης δεν μπορεί να εξάγει σήματα από το φέρον.

Το κυριότερο έργο ελέγχου αποδοχής κλήσεων είναι να εκτιμήσει κατά πόσον μια νέα κλήση μπορεί να έχει πρόσβαση στο σύστημα χωρίς να υποβαθμίζονται οι εξυπηρετούμενες κλήσεις. Έτσι, ο αλγόριθμος ελέγχου αποδοχής θα πρέπει να προβλέπει το φορτίο της κυψέλης, όταν πρόκειται να γίνει αποδεκτή μια κλήση. Βάσει του αλγορίθμου ελέγχου αποδοχής, ο RNC είτε αποδέχεται είτε απορρίπτει την πρόσβαση.

Θεωρητικά, είναι δυνατό να προσδιοριστεί κατά πόσον ο λόγος S/I ή το περιθώριο μεταβολής της παρεμβολής έχει άμεση σχέση με το φορτίο της κυψέλης. Αν το ρ είναι το φορτίο της κυψέλης, τότε, έχουμε την παρακάτω έκφραση για το περιθώριο μεταβολής της παρεμβολής I στη κυψέλη

$$\acute{H} = 10\log(1 / 1 - \rho)$$

Διαφορετικές τιμές του φορτίου οδηγούν σε διαφορετικά περιθώρια μεταβολής της παρεμβολής. Όταν το φορτίο κυψέλης υπερβαίνει το 0.7 (70%) είναι δύσκολο να ελεγχθεί η παρεμβολή σε μια κυψέλη. Γι' αυτόν τον λόγο, το ασύρματο δίκτυο των ασυρμάτων WCDMA διαστασιολογείται για φορτίο κυψέλης ρ=0.5. Η τιμή αυτή εμπεριέχει ένα περιθώριο ασφαλείας και το δίκτυο λειτουργεί σταθερά με πολύ μεγάλη πιθανότητα[2].

3.4.4 Διαχείριση κωδίκων

Οι κώδικες για τη διάκριση των διαύλων και οι κώδικες ανάδευσης (scrambling) που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες συνδέσεις υπόκεινται σε διαχείριση από τον RNC. Ωστόσο, η παραγωγή των κωδίκων γίνεται κυρίως στον σταθμό βάσης. Και τα δύο είδη κωδίκων απαιτούνται στην ασύρματη διεπαφή. Μερικοί κώδικες μπορεί να σχετίζονται μεταξύ τους μέχρι κάποιον βαθμό ενώ άλλοι πρέπει να είναι ορθογώνιοι. Κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί έναν κώδικα ανάδευσης. Η UE μπορεί να διακρίνει τις κυψέλες μεταξύ τους από τους διαφορετικούς κώδικες ανάδευσης. Κάτω από τον ίδιο κώδικα ανάδευσης ο RNV χρησιμοποιεί μία ομάδα κωδίκων διάκρισης διαύλων, που είναι ίδια για κάθε κώδικα ανάδευσης. Η

πληροφορία που εκπέμπεται στον κοινό δίαυλο εκπομπής κωδικοποιείται με έναν κώδικα ανάδευσης για να κάνει πρόσβαση στην κυψέλη. Μετά την αποκατάσταση της σύνδεσης μεταξύ της UE και του δικτύου, οι χρησιμοποιούμενοι δίαυλοι διαχωρίζονται μεταξύ τους με κώδικες διαύλων. Η πληροφορία που μεταδίδεται μέσω της ασύρματης διεπαφής απλώνεται με τη χρήση ενός κώδικα εξάπλωσης ανά δίαυλο και ο χρησιμοποιούμενος κώδικας εξάπλωσης είναι ο κώδικας ανάδευσης X κώδικας διαύλου.

Οι διάφοροι τύποι κωδίκων, οι τρόποι χρησιμοποίησής τους και η επίδρασή τους στην επίδοση του συστήματος WCDMA προϋποθέτουν την εφαρμογή ευφυών μηχανισμών ελέγχου της εκχώρησης και επανεκχώρησης των κωδίκων. Ο αριθμός των διαθεσίμων κωδίκων είναι περιορισμένος. Στη ζεύξη καθόδου υπάρχουν 2^{18} =262.143-1 κώδικες ανάδευσης που αριθμούνται από το 0 έως το 262.142, ωστόσο, δεν χρησιμοποιούνται όλοι. Οι κώδικες ανάδευσης διαιρούνται σε 512 ομάδες που η κάθε μια τους έχει έναν κύριο κώδικα ανάδευσης και 15 δευτερεύοντες. Δηλαδή, χρησιμοποιούνται συνολικά 512*16=8.192 κώδικες ανάδευσης, που αριθμούνται από το 0 έως το 8.191.Οι κύριοι κώδικες ανάδευσης είναι οι n=16* i , i=1,….,511. Η i-στη ομάδα των κωδίκων ανάδευσης απαρτίζεται από τους κώδικες 16*ι+κ,κ=1,….15. Μεταξύ κάθε κύριου κώδικα ανάδευσης και των 15 δευτερευόντων γίνεται αντιστοίχηση κατά τρόπον, ώστε ο i-στός κύριος κώδικας να αντιστοιχεί στην i-στη ομάδα δευτερευόντων κωδίκων

Σε κάθε κυψέλη εκχωρείται μόνον ένας κύριος κώδικας ανάδευσης. Ο πρωτεύων φυσικός δίαυλος κοινού ελέγχου χρησιμοποιεί πάντα τον κύριο κώδικα ανάδευσης. Οι υπόλοιποι φυσικοί δίαυλοι στη ζεύξη καθόδου μπορεί να χρησιμοποιούν είτε τον κύριο κώδικα είτε κάποιον από τους δευτερεύοντες κώδικες ανάδευσης που σχετίζονται με τον κύριο κώδικα της κυψέλης.

Στη ζεύξη ανόδου, η κατάσταση είναι διαφορετική διότι είναι διαθέσιμοι εκατομμύρια κώδικες ανάδευσης. Για το WCDMA υπάρχουν 2^{24} κώδικες. Όλοι οι δίαυλοι ανόδου πρέπει να χρησιμοποιούν είτε βραχείς είτε μακριούς κώδικες ανάδευσης, εκτός από τον δίαυλο τυχαίας πρόσβασης μεταγωγής πακέτου που χρησιμοποιεί μόνον μακρύ κώδικα. Συνεπώς, η εκχώρηση κωδίκων στη ζεύξη ανόδου δεν είναι τόσο κρίσιμη, όσο στη ζεύξη καθόδου.

Οι κώδικες διαύλων που χρησιμοποιούνται και στη ζεύξη ανόδου και στη ζεύξη καθόδου έχουν διαφορετικές τιμές συντελεστή εξάπλωσης και, συνεπώς διαφορετικούς ρυθμούς συμβόλων. Υπάρχουν 256 κώδικες διαύλων και η τιμή του συντελεστή εξάπλωσης δείχνει πόσοι από αυτούς τους κώδικες χρησιμοποιούνται στη σύνδεση. Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή εξάπλωσης, τόσο καλύτερα χρησιμοποιούνται οι κώδικες διαύλων και οι ασύρματοι πόροι. Στην περίπτωση υψηλών ρυθμών

μετάδοσης δεδομένων χρήση, ο συντελεστής εξάπλωσης λαμβάνει σχετικά μικρές τιμές. Οι κώδικες διαύλων είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους. Τούτο σημαίνει, ότι οι κώδικες σε μια ομάδα 256 μελών επιλέγονται κατά τρόπον , ώστε να παρεμβάλλουν μεταξύ τους όσο το δυνατόν λιγότερο. Από την άλλη μεριά, ο κώδικας χρησιμοποιείται για κάποιον χρήστη και ο κώδικας ανάδευσης της κυψέλης πρέπει να έχουν καλή συσχέτιση.

Κάθε κυψέλη ενός συστήματος WCDMA χρησιμοποιεί κανονικά έναν κώδικα ανάδευσης στη ζεύξη καθόδου, ο οποίος λειτουργεί βασικά ως ταυτότητα της κυψέλης (cell ID). Τα χαρακτηριστικά του υπόψη κώδικα ανάδευσης είναι ψευδοτυχαία (π.χ. δεν είναι πάντα ορθογώνιος). Κάτω από αυτόν τον κώδικα ανάδευσης η κυψέλη χρησιμοποιεί μία ομάδα κωδίκων διαύλων, οι οποίοι είναι από τη φύση τους ορθογώνιοι και χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των διαύλων[2].

3.5 Προγραμματισμός πακέτων

Οι λειτουργίες που περιλαμβάνονται στον προγραμματισμό πακέτων (PS) έχουν ως στόχο να διαμοιράσουν την χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής ανάμεσα στους χρήστες πακέτων. Ο μηχανισμός PS μπορεί να αποφασίζει τους ανατιθέμενους ρυθμούς μετάδοσης και το μήκος της ανάθεσης. Στο WCDMA αυτό μπορεί να γίνει με δυο τρόπους, με διαίρεση κώδικα (code division scheduling) και με διαίρεση χρόνου (time divisionscheduling). Στην πρώτη περίπτωση ένας μεγάλος αριθμός χρηστών μπορούν ταυτόχρονα να έχουν διαθέσιμο ένα κανάλι χαμηλού ρυθμού. Όταν ο αριθμός των χρηστών που ζητούν χωρητικότητα αυξάνει, ο ρυθμός μετάδοσης που μπορεί να ανατεθεί σε έναν μεμονωμένο χρήστη μειώνεται. Στη δεύτερη περίπτωση, η συνολική χωρητικότητα διατίθεται σε έναν ή λίγους μόνο χρήστες σε κάθε χρονική στιγμή. Επομένως, ένας χρήστης μπορεί να αγγίξει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης χρησιμοποιώντας τους όμως για σύντομο χρονικό διάστημα. Όταν η ζήτηση αυξηθεί, ο κάθε χρήσης θα πρέπει να περιμένει περισσότερο χρόνο για να τη μετάδοση. Στην πραγματικότητα, λαμβάνει χώρα ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων και όχι η καθεμία ξεχωριστά[1].

3.6 Βιβλιογραφία

[1] Κωνσταντίνος Α. Τσαγκάρης, “Βελτιστοποίηση Δικτύων UMTS και ενσωμάτωση σε περιβάλλοντα ασυρμάτων επικοινωνιών πέραν της 3ης γενιάς”, Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, Ιούνιος 2004

[2] Μ. Ε. ΘΕΟΛΟΓΟΥ, “Δίκτυα κινητών & προσωπικών επικοινωνιών”, 2η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα

4)Συστήματα κινητών επικοινωνιών B3G

4.1 Εισαγωγή

Μια τάση στον χώρο των επικοινωνιών η οποία εισήλθε στην οικογένεια των ασυρμάτων επικοινωνιών λίγα χρόνια πριν, ισχυρίζεται ότι συστήματα που υποστηρίζουν διαφορετικές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technologies – RATs) ,όπως για παράδειγμα UMTS, WLAN ή DVB-T[1][4] μπορούν να συνεργαστούν υπό την κατεύθυνση ενός «σύνθετου ραδιοδικτύου» (Composite Radio – CR). Αυτή η τάση ονομάζεται «πέραν της 3^{ης} γενίας» (beyond 3G).

Με βάση την ιδέα των CR, ένας συμμετέχων πάροχος προσπαθεί να ικανοποιήσει τους χρήστες του στον μέγιστο βαθμό και όχι να τους απορρίψει ή να τους μειώσει τα επίπεδα παροχής QoS. Αυτό το επιτυγχάνει στέλνοντας κάποιους χρήστες σε έναν συνεργάτη πάροχο όπου θα χρησιμοποιήσουν και διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης.

Τέλος, τα χαρακτηριστικά των σύνθετων ραδιοκυμάτων είναι α) μοίρασμα του φορτίου μεταξύ των συνεργαζόμενων δικτύων διαφορετικής RAT, β) ικανότητα δυναμικής αλλαγής της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης (reconfigurability)[2][4] και γ) αποδοτική και ευέλικτη ανάθεση φάσματος[3][4].

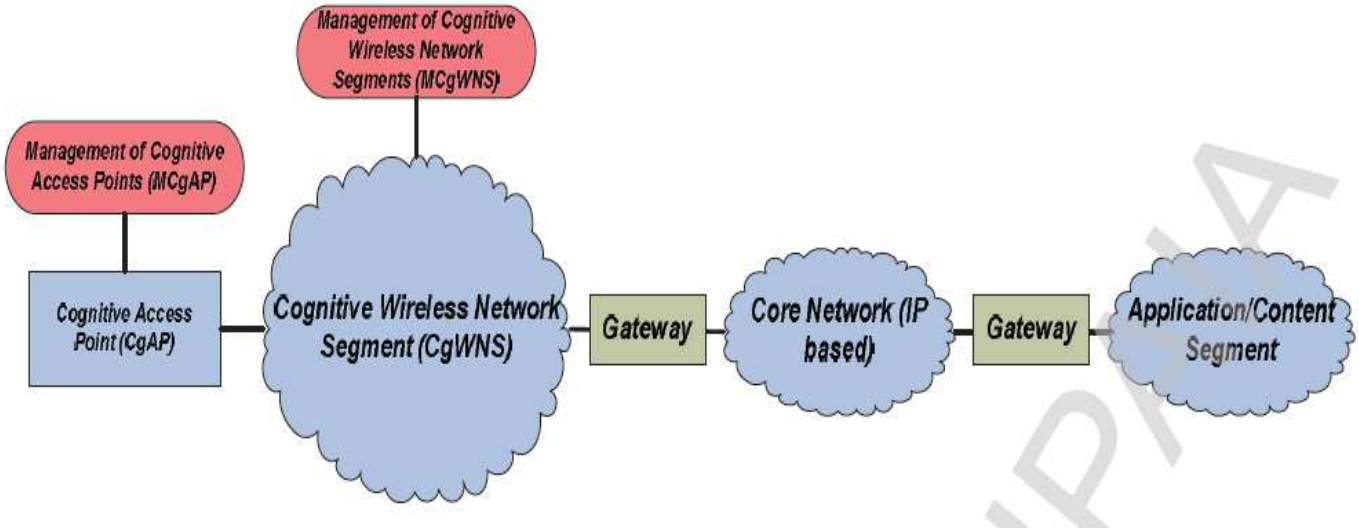
4.2 Αρχιτεκτονική συστημάτων διαχείρισης B3G συστημάτων

Προκειμένου τα B3G συστήματα να εισέλθουν με επιτυχία στην αγορά, ήταν υποχρεωτική η μελέτη αρκετών παράπλευρων παραγόντων που θα ορίσουν την εξελικτική τους πορεία.
Όσον αφορά την διαχείριση πόρων, χρήσιμη φαντάζει η ανάπτυξη μεθόδων που θα βελτιστοποιούν την χρήση τους επιτυχώς, ταχέως αλλά και με διαφάνεια. Οι μέθοδοι αυτές, πρέπει συνεχώς να βελτιστοποιούνται και να προσαρμόζονται στις ανάγκες της αγοράς και συνεπώς του χρήστη[5][6][10]. Αυτή η ανάγκη της συνεχούς βελτιστοποίησης και προσαρμογής των B3G συστημάτων, έρχονται σε αντίθεση με άλλα συστήματα εκείνης

της εποχής καθώς τεχνολογίες της τότε εποχής σχεδιάζονταν με στατικό τρόπο. Δηλαδή αντιμετώπιζαν μόνο πιθανές ανάγκες που παρουσιάζονταν στους χρήστες.
Αντίθετα το B3G ως δυναμικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από παραμέτρους λειτουργίας οι οποίες με την ευελιξία τους του παρέχουν την πολύ σημαντική πλέον ιδιότητα της προσαρμοστικότητας, η οποία μπορεί να βοηθήσει και να ανταποκριθεί στον μέγιστο βαθμό στις ανάγκες των χρηστών.

Συνεπώς εστιάζοντας σε cognitive δίκτυα, θα μπορούσαμε να αναλύσουμε σε ποιά επίπεδα θα μπορούσε να εφαρμοστεί μια μέθοδος διαχείρισης των πόρων.

Παρακάτω δίνεται γραφικά η απάντηση σε αυτό το ερώτημα.



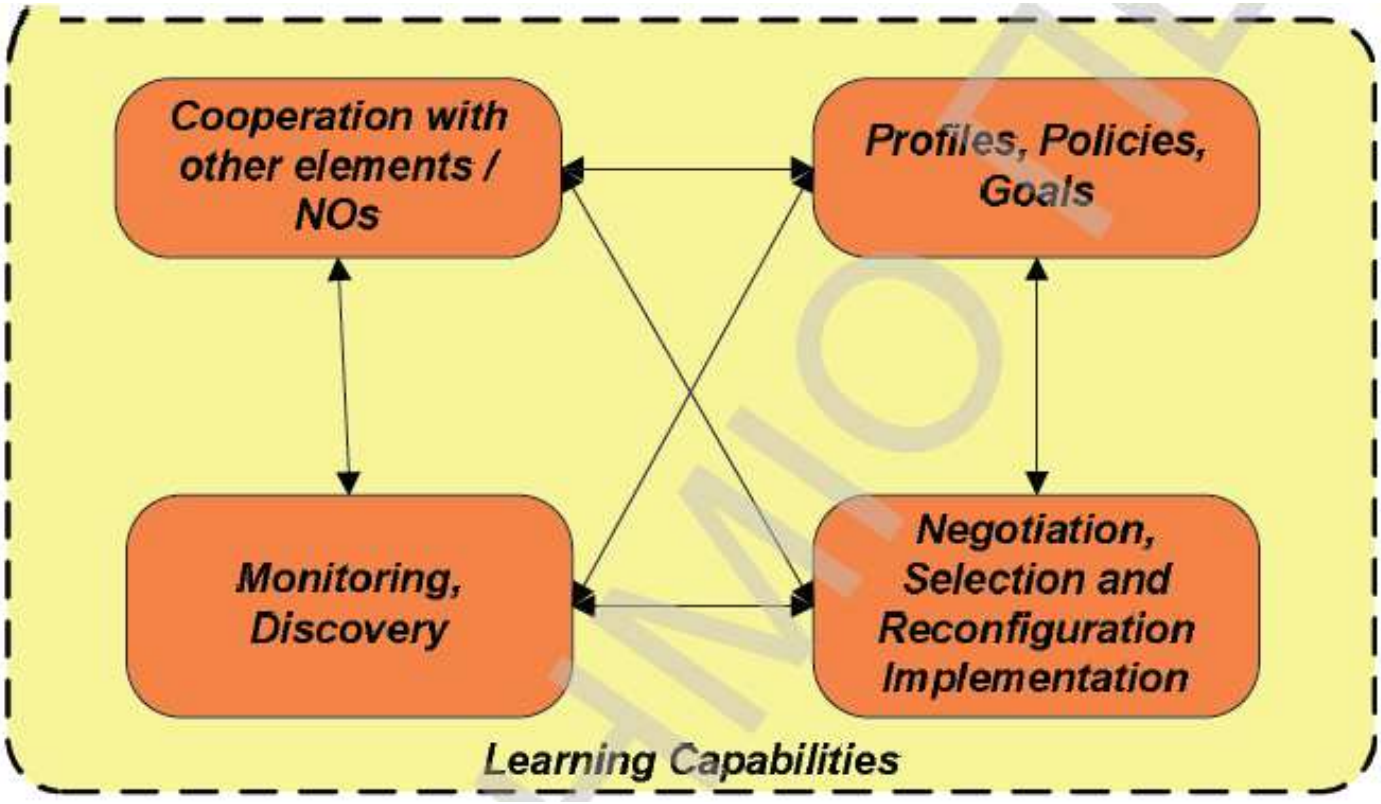
Σχήμα 4-1 : Εφαρμογή αλγορίθμων σε cognitive δίκτυα

Ένα cognitive δίκτυο αποτελείται από αρκετά τερματικά και στοιχεία δικτύου τα οποία είναι διασπαρμένα με χρονικά μεταβαλλόμενο τρόπο και πρέπει να αποτελέσουν αντικείμενο διαχείρισης. Θα μπορούσε κανείς να διαπιστώσει ότι μια απόπειρα διαχείρισης θα ήταν αρκετά πολύπλοκη. Συνεπώς, διεθνείς ερευνητικές προσπάθειες κατέληξαν σε λύσεις όπως η αυτόνομη υπολογιστική (autonomic computing)[7][8][10]. Για παράδειγμα, όπως ένα νευρικό σύστημα εκτελεί από μόνο του ενέργειες (κυκλοφορία του αίματος) ώστε να δώσει την δυνατότητα στον εγκέφαλο αν ασχοληθεί με άλλες ενέργειες, έτσι και τα συστήματα της αυτόνομης υπολογιστικής εκτελούν αυτοβούλως ενέργειες οι οποίες προηγουμένως χρειαζόντουσαν την επέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα.

Ως εκ τούτου, μόνο τέτοιες κατανεμημένες προσεγγίσεις μπορούν να εγγυηθούν τον απαιτούμενο βαθμό δυνατότητας κλιμάκωσής τους αναλόγως των αναγκών.

Με βάση αυτήν τη λογική, σε cognitive δίκτυα, οι αλγόριθμοι διαχείρισης πόρων μπορούν να χωριστούν σε 2 αλληλένδετες βαθμίδες. Οι μηχανισμοί που αποτελούν την βαθμίδα ελέγχου ενός ολόκληρου τμήματος δικτύου (cognitive wireless network segment - CgWNS) έχουν ως βασικό τους στόχο να συντονίζονται με το «κυρίως» δίκτυο, αλλά κα να καθορίζουν τις αποφάσεις των μηχανισμών που αποτελούν την βαθμίδα ελέγχου ενός στοιχείου δικτύου που μπορεί να είναι σταθμός βάσης, σημείο πρόσβασης, η οποιοδήποτε άλλο σημείο δικτύου. Εδώ θα πρέπει αν επισημάνουμε ξανά τη λογική η οποία ακολουθείται, η οποία είναι η ύπαρξη αρκετών στοιχείων δικτύου σε ένα ολόκληρο τμήμα δικτύου. Τέλος δεν θα πρέπει να αγνοήσουμε και την ύπαρξη μηχανισμών που ελέγχουν τα τερματικά, τους οποίους όμως δεν θα τους αναλύσουμε περαιτέρω.

Αν απομονώσουμε για παράδειγμα την βαθμίδα ελέγχου CgAP, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι αποτελείτε από αρκετούς αλγορίθμους οι οποίοι συνεργάζονται μεταξύ τους όπως βλέπουμε και παρακάτω.



Σχήμα 4-2 : Εσωτερική μορφή συστήματος διαχείρισης γνωσιακών δικτύων

• Η οντότητα « Monitoring – Discovery » ελέγχει το περιβάλλον για να μετρήσει την ζήτηση, αλλά και να ανακαλύψει τις ιδιότητές του σε πιθανή αλλαγή του.

• Η οντότητα « Cooperation with other elements/NOs » έρχεται σε επαφή με άλλα στοιχεία δικτύου με σκοπό να ανακτήσει πληροφορίες για την πολιτική τους.

• Η οντότητα « Profiles, Policies, Goals » διαθέτει πληροφορίες για τις απαιτήσεις και τα προφίλ των εφαρμογών, των χρηστών αλλά και του στοιχείου δικτύου το οποίο εξετάζεται. Ακόμη διαθέτει τις στρατηγικές και πολιτικές του παρόχου.

• Η οντότητα « Negotiation, Selection and Reconfiguration Implementation » αφόρα τις λειτουργίες για την αναδιάρθρωση τις οποίες πρέπει και να εκτελέσει με βάση τα προφίλ, τις πολιτικές και τις ενσωματωμένες ικανότητες μάθησης.

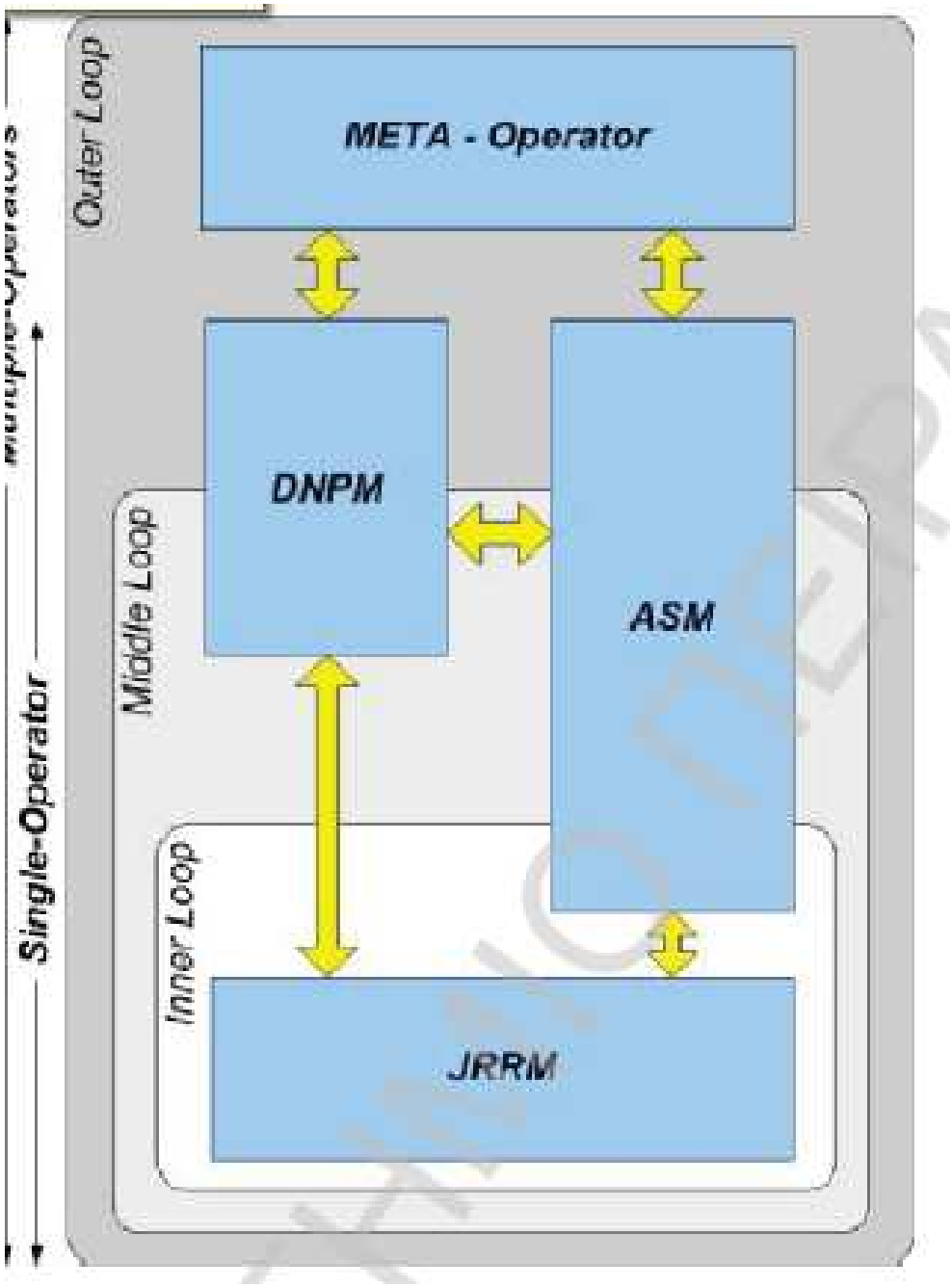
Παρατηρώντας κάθε βαθμίδα ξεχωριστά μπορούμε να κατανοήσουμε ότι η καθεμία αποτελείται από ένα πλήθος αλγορίθμων, οι οποίοι συνεργάζονται μεταξύ τους. Συνεπώς, εδώ έρχεται να μας βοηθήσει η αρχιτεκτονική λειτουργίας(Functional Architecture - FA)[9] αυτών των διαφόρων αλγορίθμων έτσι ώστε να μας γίνει κατανοητή αυτή η « συνεργασία » των αλγορίθμων που αφορούν τη διαχείριση των πόρων σε δυναμικά αναδιαρθρωμένα και γνωσιακά δίκτυα.

4.3 Αρχιτεκτονική λειτουργίας αλγορίθμων διαχείρισης πόρων

Η γενική ιδέα της αρχιτεκτονικής των αλγορίθμων διαχείρισης πόρων ασχολείται κυρίως με τις ανάγκες για την βελτιστοποίηση ενός πολύπλοκου περιβάλλοντος, σαν αυτό που έχουμε να αντιμετωπίσουμε. Όπως σημειώθηκε και προγενέστερα οι ομάδες αλγορίθμων που αποτελούν αυτή την γενική ιδέα της αρχιτεκτονικής είναι (α) η δυναμική σχεδίαση και διαχείριση τμημάτων δικτύου με δυνατότητα δυναμικής αναδιάρθρωσης (DNPM), (β) οι εξελιγμένες μέθοδοι δυναμικής διαχείρισης / ανάθεσης φάσματος (ASM) και τέλος (γ) η ταυτόχρονη για πολλά RATs διαχείριση των πόρων (JRRM). Οι ομάδες των αλγορίθμων που μόλις αναφέρθηκαν επικοινωνούν μεταξύ τους ανταλλάσοντας πληροφορίες.

Κάθε μηχανισμός που βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα εκτελεί λειτουργίες που είναι αλληλένδετες με το διαθέσιμο φάσμα, τη χρονική στιγμή, τη ζήτηση και τη γεωγραφική κλίμακα. Με βάση αυτή τη λογική η αρχιτεκτονική λειτουργίας αλγορίθμων διασπάται σε 3 βρόγχους : τον εσωτερικό (inner loop), το μεσαίο

(middle loop), και τον εξωτερικό (outer loop). Αυτοί οι βρόγχοι συνδέονται με τη λειτουργία των μηχανισμών DNPM, ASM και JRRM. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι ASM και JRRM λειτουργούν σε πολύ μικρή και χρονική κλίμακα, για μικρές (ως προς ένα χρήστη), τοπικές (επίπεδο στοιχείο δικτύου - κυψέλης) και μεσαίες (επίπεδο ενός τμήματος δικτύου – συνόλου κυψελών) γεωγραφικές περιοχές.[10]



Σχήμα 4-3 : Εικόνα αρχιτεκτονικής λειτουργίας αλγορίθμων διαχείρισης πόρων

4.4 Βιβλιογραφία

[1] Digital Video Broadcasting (DVB) Web site, http://www.dvb.org, Jan. 2002

[2] End-to-End Reconfigurabilty, IST-2003-507995 E2R, http://www.e2r.motlabs.com/

[3] Software Defined Radio Forum (SDRF), http://www.sdrforum.org

[4] Κωνσταντίνος Α. Τσαγκάρης, "Βελτιστοποίηση Δικτύων UMTS και ενσωμάτωση σε περιβάλλοντα ασυρμάτων επικοινωνιών πέραν της 3ης γενιάς", Διδακτορική διατριβή, Αθήνα, Ιούνιος 2004

[5] P.Demestichas, G.Dimitrakopoulos, J.Luo, R.Agusti, E.Mohyledin, O.Sallent, D.Grandblaise, R.Pintenet, P.Leaves, K. Moessner, "Radio Resource Management and Network Planning in a Reconfigurability Context", in Proc. 2004 IST Mobile Summit, Lyon June 2004

[6] P.Demestichas, T.Dogson, D.Bourse, G.Dimitrakopoulos, V.Stavroulaki, "Issues in the introduction of Reconfigurability in B3G environments", in Proc. SDR '04 Technical Conference and Product Exposion / 41st General Meeting, Phoenix, USA, November 2004

[7] J. Stransser, "Autonomic Networking-theory and practice", In Proc. 9th IFIP/IEEE International Symposium on Network Management (IM'2005), Nice, France, May 2005

[8] J. Kephart, D. Chess, "The vision of autonomic computing", IEEE Computer, Vol. 36, No. 1, pp. 41-50, January 2003

[9] G. Dimitrakopoulos, K.Moessner, C.Kloeck, D,Grandblaise, Sophie Gault, O.Sallent, K.Tsagkaris, P.Demestichas, "Adaptive Resource Management Platform for Reconfigurable Networks", ACM/Springer Mobile Networks and Applications journal, vol. 11, December 2006, pp.799-811

[10] Γεώργιος Ι. Δημητρακόπουλος, Τεχνικές Διαχείρισης Φάσματος και Σχεδίασης Σύνθετων Υποδομών σε Περιβάλλοντα Ασυρμάτων Επικοινωνιών Πέραν της 3ης Γενιάς (B3G), Διδακτορική διατριβή, Πειραιάς, 2007

5)Συστήματα κινητών επικοινωνιών 4G

5.1 LTE Advanced key features (Βασικά χαρακτηριστικά του LTE Advanced)

Με την έναρξη των εργασιών για το LTE Advanced, ορισμένες από τις βασικές απαιτήσεις και τα βασικά χαρακτηριστικά έρχονται στο φως. Αν και δεν έχει καθοριστεί ακόμα στις προδιαγραφές, υπάρχουν πολλές απαιτήσεις υψηλού επιπέδου για το νέο LTE Advanced.

Αυτές οι απαιτήσεις πρέπει να ορισθούν καθώς υπάρχει πολύ δουλεία υπάρχει ακόμη, έτσι ώστε να τηρηθούν αυτές οι προδιαγραφές.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις βασικές απαιτήσεις που πρέπει να υποστηρίζει το LTE Advanced [1]:

1. Peak data rates: (downlink – 1Gbps), (uplink – 500 Mbps)
2. Spectrum Efficiency : 3 times greater than LTE
3. Peak spectrum efficiency : (downlink – 30bps/Hz, uplink – 15bps/Hz)
4. Χρήση Φάσματος (Spectrum use) : η ικανότητα να υποστηρίζει επέκταση του διαθέσιμου φάσματος καθώς και συσσωμάτωση φάσματος όπου μη-ανιχνεύσιμο φάσμα χρειάζεται για να χρησιμοποιηθεί
5. Latency : From idle to connected (Από την αδράνεια -> μη σύνδεση σε σύνδεση) σε λιγότερο από 50ms και έπειτα λιγότερο από 5ms προς μια κατεύθυνση (one way) για την μετάδοση επιμέρους πακέτων.
6. Κυψελωτό Δίκτυο διπλάσιας απόδοσης χρηστών από το απλό LTE.
7. Μέσος όρος χρηστών (average user throughput) 3πλάσιος από το απλό LTE.
8. Κινητικότητα (Mobility) : Ίδια με του απλού LTE.
9. Συμβατότητα (Compatibility) : Το LTE Advanced πρέπει να είναι ικανό για την διασυνεργασία με το LTE και τα μελλοντικά συστήματα του 3GPP.

Υπάρχουν πολλοί αναπτυξιακοί στόχοι για το LTE Advanced. Τα πραγματικά στοιχεία και την πραγματική εφαρμογή τους θα πρέπει να δουλευτούν κατά την διάρκεια του σταδίου των προδιαγραφών του συστήματος.

5.2 Εύρος Ζώνης Καναλιών στο LTE και επιμέρους χαρακτηριστικά

Μια από τις βασικές παραμέτρους που συνδέει την χρήση της OFDM μέσα στο LTE είναι η δυνατότητα επιλογής εύρους ζώνης (bandwith). Το διαθέσιμο εύρος ζώνης επηρεάζει αρκετούς παράγοντες, περιλαμβάνοντας και τον αριθμό των carriers που μπορούν να μεταδοθούν στο OFDM σήμα και με την σειρά του αυτό τα στοιχεία όπως το μήκος του συμβόλου και ούτω καθεξής.

Το LTE ορίζει έναν αριθμό καναλιών εύρου ζώνης. Προφανώς όσο μεγαλύτερο εύρος ζώνης έχουμε (bandwith), τόσο μεγαλύτερη είναι και η χωρητικότητα του καναλιού.

Τα κανάλια εύρους ζώνης που έχουν επιλεχθεί για το LTE είναι τα εξής :

1. 1.4 MHz
2. 3 MHz
3. 5 MHz
4. 10 MHz
5. 15 MHz
6. 20 MHz

Εκτός από αυτό, οι υποφέρουσες απέχουν μεταξύ τους 15 kHz. Για να διατηρηθεί η ορθογωνιότητα ορίζουμε σαν ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων **1 / 15 kHz = 66.7 μs**

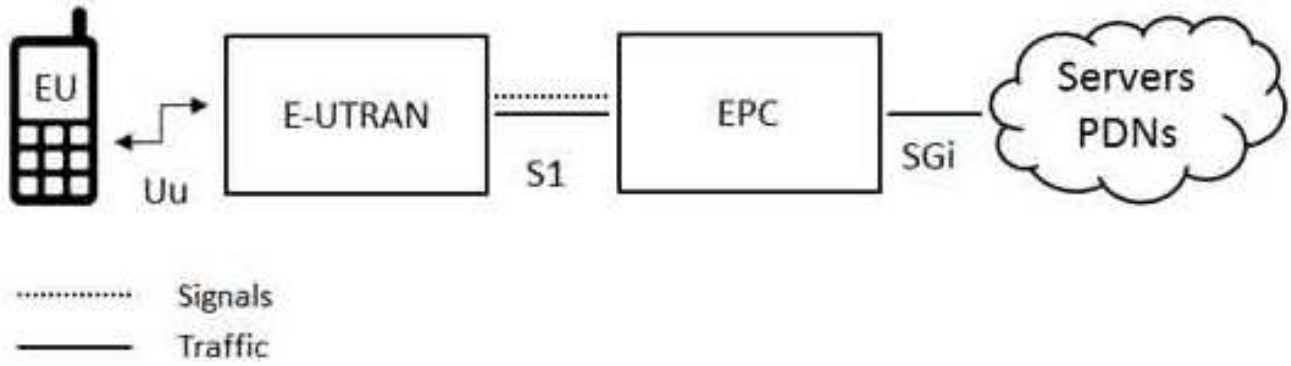
Κάθε υποφέρουσα μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ένα μέγιστο ρυθμό μετάδοσης που ισούται με 15 ksps (kilosymbols per second). Αυτό μας δίνει ένα σύστημα με εύρος ζώνης ίσο με 20 MHz με ρυθμό μετάδοσης συμβόλου ίσο με 18 Msps. Με την σειρά του αυτό είναι σε θέση να παρέχει ρυθμό μετάδοσης ίσο με 108 Mbps εφόσον το κάθε σύμβολο χρησιμοποιεί διαμόρφωση 64-QAM η οποία είναι ικανή να αναπαριστά 6 bits
Μπορεί να φαίνεται ότι αυτοί οι ρυθμοί μετάδοσης δεν συμφωνούν με τα δοθέντα στοιχεία που αφορούν τις προδιαγραφές του LTE. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι διότι ο πραγματικός μέγιστος ρυθμός μετάδοσης προέρχεται από first subtra , the coding and control overheads. Έπειτα υπάρχουν και τα κέρδη που προκύπτουν από στοιχεία όπως η χωρική πολυπλεξία κτλ.[1]

5.3 Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

Περιλαμβάνει 3 κυρίως χαρακτηριστικά :

- Τον εξοπλισμό του χρήστη
- Το εξελιγμένο UMTS Terrestrial Radio Network (E-UTRAN)
- Το εξελιγμένο packet core (EPC)

Το εξελιγμένο packet core επικοινωνεί με πακέτα δικτύου (packet data networks) με τον έξω κόσμο όπως το internet, δίκτυα ιδιωτικών εταιριών ή το IP πολυσύστημα πολυμέσων (IP multimedia subsystem)[2].



Σχήμα 5-1 : Αναπαράσταση αρχιτεκτονικής LTE

5.3.1 Ο εξοπλισμός του χρήστη

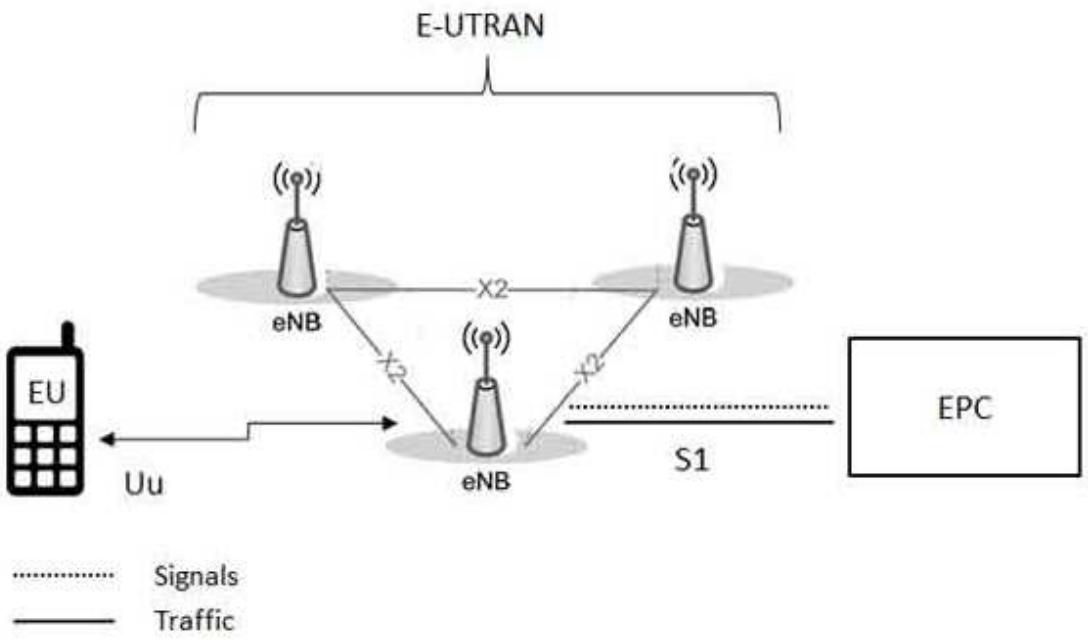
Η εσωτερική αρχιτεκτονική του εξοπλισμού του χρήστη στο LTE είναι πανομοιότυπη με αυτή που χρησιμοποιούν από το UMTS και το GSM, που στην ουσία είναι μια κινητή συσκευή (mobile equipment). Η κινητή συσκευή αποτελείται από τα εξής σημαντικά modules [2]:

- Mobile Termination : Αυτό χειρίζεται όλες τις λειτουργίες επικοινωνίας
- Terminal Equipment : Αυτό τερματίζει τις ροές δεδομένων
- Universal Integrated Circuit Card : Αυτό είναι γνωστό και ως κάρτα SIM για εξοπλισμό LTE. Τρέχει μια εφαρμογή γνωστή ως Universal Subscriber Identity Module (USIM).

Μια USIM αποθηκεύει προσωπικά στοιχεία του χρήστη πολύ παρόμοια με μια 3G SIM card. Η USIM κρατάει στοιχεία όπως, τον αριθμό τηλεφώνου του χρήστη, της ταυτότητα του τοπικού δικτύου, τα κλειδιά ασφαλείας κτλ.

5.3.2 E-UTRAN (Το δίκτυο πρόσβασης)

Η αρχιτεκτονική του εξελιγμένου UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) :



Σχήμα 5-2 : Η αρχιτεκτονική του εξελιγμένου UMTS

Το E-UTRAN διαχειρίζεται τις ράδιο-επικοινωνίες μεταξύ του κινητού και του εξελιγμένου πυρήνα πακέτων (evolved packet core) και έχει μόνο ένα «συστατικό» (component), τους εξελιγμένους σταθμούς βάσης που ονομάζονται eNodeB ή eNB. Κάθε eNB είναι ένας σταθμός ο οποίος ελέγχει τα κινητά από μια η

περισσότερες κυψέλες. Ο σταθμός βάσης ο οποίος επικοινωνεί με 1 κινητό είναι γνωστός και ως «serving eNB»[2].

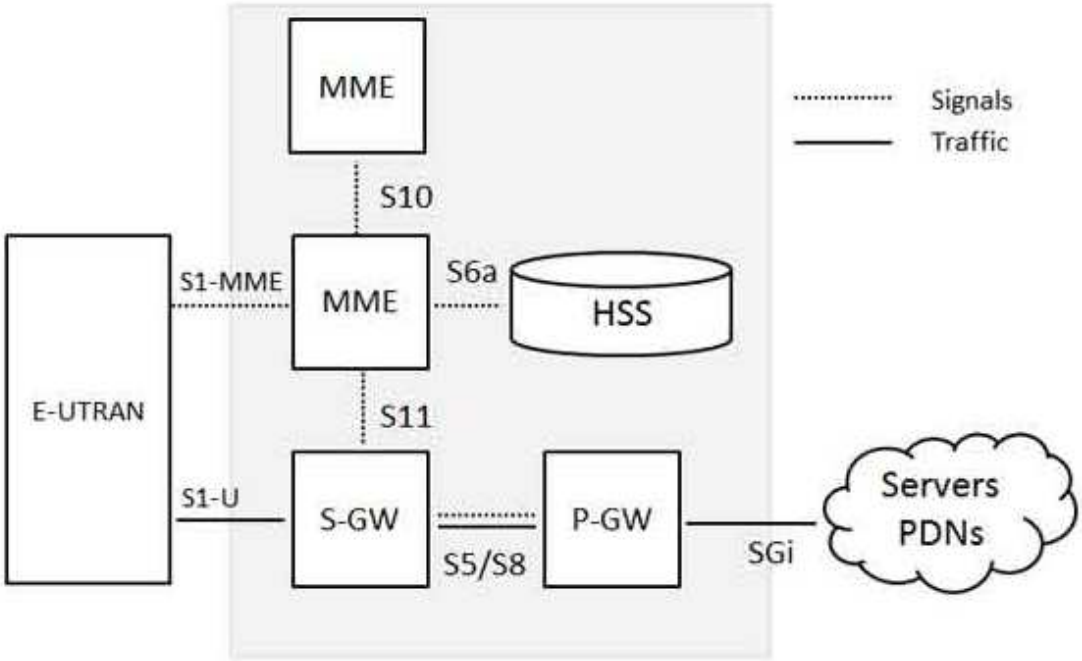
LTE Mobile : επικοινωνεί μόνο με ένα σταθμό βάσης και 1 κυψέλη κάθε φορά και ακολουθούν 2 κύριες λειτουργίες που υποστηρίζονται από το eNB :

1. Το eNB στέλνει και λαμβάνει radio transmissions σε όλα τα κινητά, χρησιμοποιώντας την αναλογική και τις ψηφιακές λειτουργίες επεξεργασίας σήματος του LTE air interface.
2. Το eNB ελέγχει την λειτουργία χαμηλού επιπέδου (low-level operation) όλων των κινητών συσκευών στέλνοντας μηνύματα(signal messages), όπως εντολές μεταβίβασης σηματοδότησης (handover commands).

Κάθε eNB (HeNB) συνδέεται με το EPC μέσω της διεπαφής S_1 και μπορεί επίσης να συνδέεται σε κοντινούς σταθμούς βάσης μέσω της διεπαφής X_2, που χρησιμοποιείται κυρίως για σηματοδοσία και την προώθηση πακέτων κατά την διάρκεια του handover.
Ένα Home eNB (HeNB) είναι ένας σταθμός βάσης, που έχει αγοραστεί από έναν χρήστη για να παρέχει femtocell κάλυψη μέσα στο σπίτι. Ένα home eNB ανήκει σε ένα κλειστό group συνδρομητών (closed subscriber CSG) και μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο κινητά που έχουν USIM η οποία ανήκει στο κλειστό αυτό group[2].

5.3.3 The Evolved Packet Core (EPC) (The core Network)

Η αρχιτεκτονική του Evolved Packet Core (EPC) απεικονίζεται παρακάτω. Υπάρχουν μερικά ακόμα «συστατικά» τα οποία δεν υπάρχουν στο διάγραμμα έτσι ώστε να κρατηθεί απλό. Αυτά τα «συστατικά» είναι σαν το Σύστημα προειδοποίησης για Σεισμούς και Τσουνάμι (ETWS), το equipment Identity Register (EIR) και Policy and Charging Rules Function (PCRF)[2].



Σχήμα 5-3 : Αρχιτεκτονική του Evolved Packet Core

Ανάλυση του κάθε στοιχείου του διαγράμματος :

1. Το «συστατικό» του Home Subscriber Server (HSS) έχει φύγει από την λογική του UMTS και GSM και είναι μια κεντρική βάση δεδομένων η οποία περιέχει πληροφορίες για όλους τους συνδρομητές του δικτύου.
2. Το Packet Data Network (PDN) Gateway (P-GW) επικοινωνεί με τον έξω κόσμο (για παράδειγμα packet data networks PDN), χρησιμοποιώντας την διεπαφή SGI. Κάθε πακέτο data network αναγνωρίζεται από ένα access point name (APN). Το gateway του PDN (packet data manager) παίζει τον ίδιο ρόλο όπως και ο κόμβος υποστήριξης του GPRS (GGSN) και ο κόμβος εξυπηρέτησης υποστήριξης του GPRS (SGSN) στο UMTS και το GSM.
3. Το serving gateway (S-GW) συμπεριφέρεται σαν ρούτερ και προωθεί data ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στο PDN gateway.
4. Ο φορέας διαχείρισης της κινητικότητας (mobility management entity,MME) ελέγχει την λειτουργία υψηλού επιπέδου του κινητού μέσω μηνυμάτων σηματοδοσίας και Home Subscriber Server (HSS).
5. Ο έλεγχος Πολιτικής και Charging Rules Function δεν παρουσιάζονται στο παραπάνω διάγραμμα, αλλά είναι υπεύθυνο για να παίρνει αποφάσεις για τον έλεγχο πολιτικής όπως και να ελέγχει την λειτουργία για την ροή των χρήσεων στην λειτουργία του Policy Control Enforcement (PCEF), το οποίο βρίσκεται στο P-GW

Η διεπαφή μεταξύ του serving του PDN gateways είναι γνωστή ως S5 / S8. Αυτά τα 2 έχουν δύο μικρές διαφορές μεταξύ τους. Το S5 χρησιμοποιείται αν οι 2 συσκευές είναι στο ίδιο δίκτυο, ενώ το S8 εάν είναι σε διαφορετικά δίκτυα.

5.4 OFDM – OFDMA

Το LTE (**L**ong **T**erm **E**volution), χρησιμοποιεί για διαμόρφωση την OFDM (**O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplex) προσαρμοσμένη έτσι ώστε να υπάρχει πολλαπλή πρόσβαση μέσω της OFDMA και της SC-FDMA.

Ένα από τα βασικά στοιχεία του LTE είναι η χρήση της OFDM ως το φορέα του σήματος, καθώς και των συναφών συστημάτων πρόσβασης όπως της OFDMA και της SC-FDMA (Single Frequency – Division Multiple Access).

Η OFDM χρησιμοποιείται σε ένα πλήθος συστημάτων όπως το WLAN, το WIMAX καθώς και τεχνολογίες όπως το DVB και DAB. Η OFDM έχει πολλά πλεονεκτήματα συμπεριλαμβανομένου και την ανέχειά της στην εξασθένηση του σήματος λόγω του multipath fading και των παρεμβολών (interference). Επιπροσθέτως, αν και δείχνει ότι είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη μορφή διαμόρφωσης, επιδέχεται τεχνικές επεξεργασίας ψηφιακών σημάτων[1].

Εν όψει των πλεονεκτημάτων της, η χρήση της OFDM και οι συνεχείς τεχνολογίες πρόσβασης, OFDMA και SC-FDMA είναι οι «φυσικές» επιλογές για τα stadar του νέου κυψελωτού δικτύου LTE.

Η χρήση της **OFDM** είναι μια φυσική επιλογή για το LTE. Καθώς οι βασικές έννοιές της OFDM χρησιμοποιούνται, είναι φυσικό πως έχει προσαρμοστεί για να ανταποκριθεί στις ακριβείς απαιτήσεις του LTE. Ωστόσο, η χρήση του multiple carrier (όπου το κάθε carrier φέρει χαμηλού ρυθμού δεδομένων) παραμένει το ίδιο.
Η OFDM είναι μια μορφή μετάδοσης η οποία χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό από φορείς των οποίων οι μεταξύ τους αποστάσεις είναι πολύ μικρές (κοντινές), οι οποίες είναι διαμορφωμένες με δεδομένα χαμηλής ταχύτητας (low data rate). Κανονικά αυτά τα σήματα θα αναμενόταν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, αλλά κάνοντας τα σήματα ορθογώνια το ένα με το άλλο δεν υπάρχει συνοχή μεταξύ τους. Τα δεδομένα (data) που πρέπει να μεταδοθούν είναι διαμοιρασμένα σε όλα τα carriers (φορείς), έτσι ώστε να γίνει πιο «επιλεκτική» από την εξασθένηση από τις επιπτώσεις του multi-path.

Η πραγματική εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας είναι διαφορετική μεταξύ του downlink (από τον σταθμό βάσης προς τον κινητό σταθμό) και του uplink (κινητός σταθμός προς σταθμός βάσης) ως αποτέλεσμα των απαιτήσεων μεταξύ των 2 κατευθύνσεων και του αντίστοιχου εξοπλισμού σε κάθε άκρο. Ωστόσο η OFDM επιλέχθηκε για την μεταφορά του σήματος επειδή είναι πολύ ελαστική στις παρεμβολές. Επίσης τα τελευταία χρόνια έχει αποκτηθεί ένα σημαντικό επίπεδο εμπειρίας στην χρήση της OFDM λόγω των διαφόρων μορφών μετάδοσης που χρησιμοποιούνται τόσο στο Wi – Fi όσο και στο WiMax αντίστοιχα. Η OFDM είναι επίσης μια διαμόρφωση η οποία είναι κατάλληλη για να υποστηρίξει μεγάλους αριθμούς μετάδοσης δεδομένων, κάτι το οποίο είναι βασική απαίτηση για το LTE. Επιπροσθέτως, η OFDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε FDD και TDD formats. Αυτό της προσθέτει ακόμη ένα πλεονέκτημα[1].

5.4.1 LTE OFDM in the Downlink

Το OFDM που χρησιμοποιείται στο LTE περιλαμβάνει 2048 διαφορετικές υποφέρουσες οι οποίες μεταξύ τους έχουν απόσταση ίση με 15 kHz. Αν και είναι υποχρεωτικό για τα κινητά να έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν και τις 2048 διαφορετικές υποφέρουσες, δεν χρειάζεται όλες να μεταδοθούν από τον σταθμό βάσης, αυτό που πραγματικά χρειάζεται είναι να είναι δυνατό να υποστηρίζει την μετάδοση 72 υποφερουσών. Με αυτό τον τρόπο όλα τα κινητά θα μπορούν να επικοινωνήσουν με τον σταθμό βάσης.

Μέσα στο OFDM σήμα είναι δυνατόν να επιλέξουμε μεταξύ 3 τύπων διαμορφώσεων :

1. QPSK (-4-QAM) , 2 bits per symbol
2. 16 - QAM , 4 bits per symbol
3. 64 - QAM , 6 bits per symbol

Η ακριβής μορφή που επιλέγεται εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες. Οι χαμηλότερες μορφές διαμορφώσεως (QPSK), δεν απαιτούν μεγάλο SNR (Signal to Noise Ratio) αλλά δεν μπορούν να στείλουν γρήγορα τα δεδομένα. Μόνο όταν υπάρχει επαρκής SNR μπορεί να χρησιμοποιηθεί διαμόρφωση υψηλότερης τάξης[1].

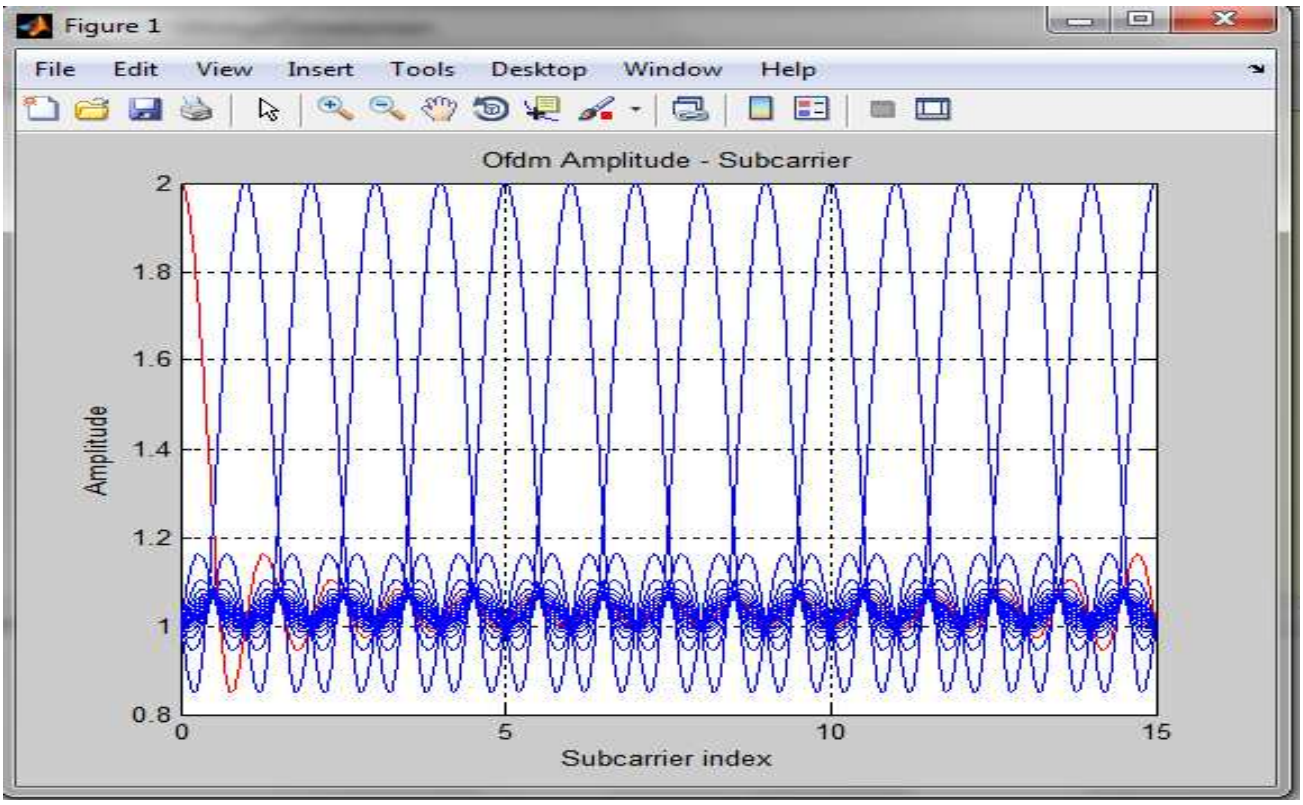
5.4.2 Downlink Carriers (φέρουσες) & resource blocks

Στο downlink, οι φέρουσες (carriers) είναι διαιρεμένες / χωρισμένες σε resource blocks. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να διαιρέσει τα δεδομένα σε πολύ μικρά κομμάτια (κατακερματίσεις), που αντιστοιχούν σε πρότυπους (standard) αριθμούς των υποφερουσών.

Τα resource blocks περιλαμβάνουν 12 υποφέρουσες (subcarrieres) ανεξάρτητα από το συνολικό εύρος ζώνης του σήματος του LTE. Επίσης καλύπτουν 1 slot στο time frame. Αυτό σημαίνει ότι σήματα που έχουν διαφορετικό εύρος ζώνης θα έχουν και διαφορετικό αριθμό resource blocks[1].

Channel Banwith (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
Number resource blo	6	15	25	50	75	100

5.5 *Προσομοίωση του OFDM signal (Ofdm Subcarriers)*



Η παραπάνω γραφική παράσταση μας δείχνει την παρουσία του CFO στις subcarriers που έχει ως συνέπεια την καταστροφή της ορθογωνιότητας μεταξύ των subcarriers και την δημιουργία ICI(Inter Carrier Interference) .

5.6 *Βιβλιογραφία*

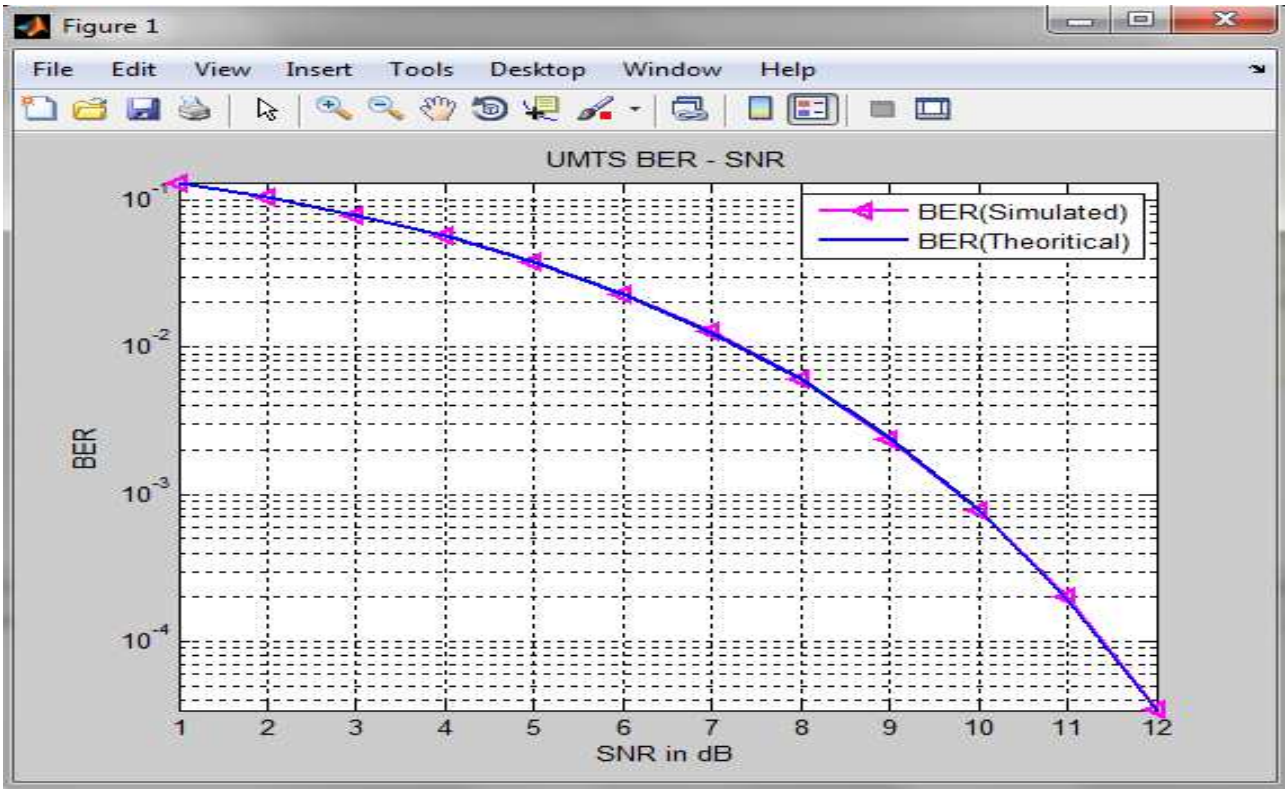
[1] www.radio-electronics.com

[2] www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm

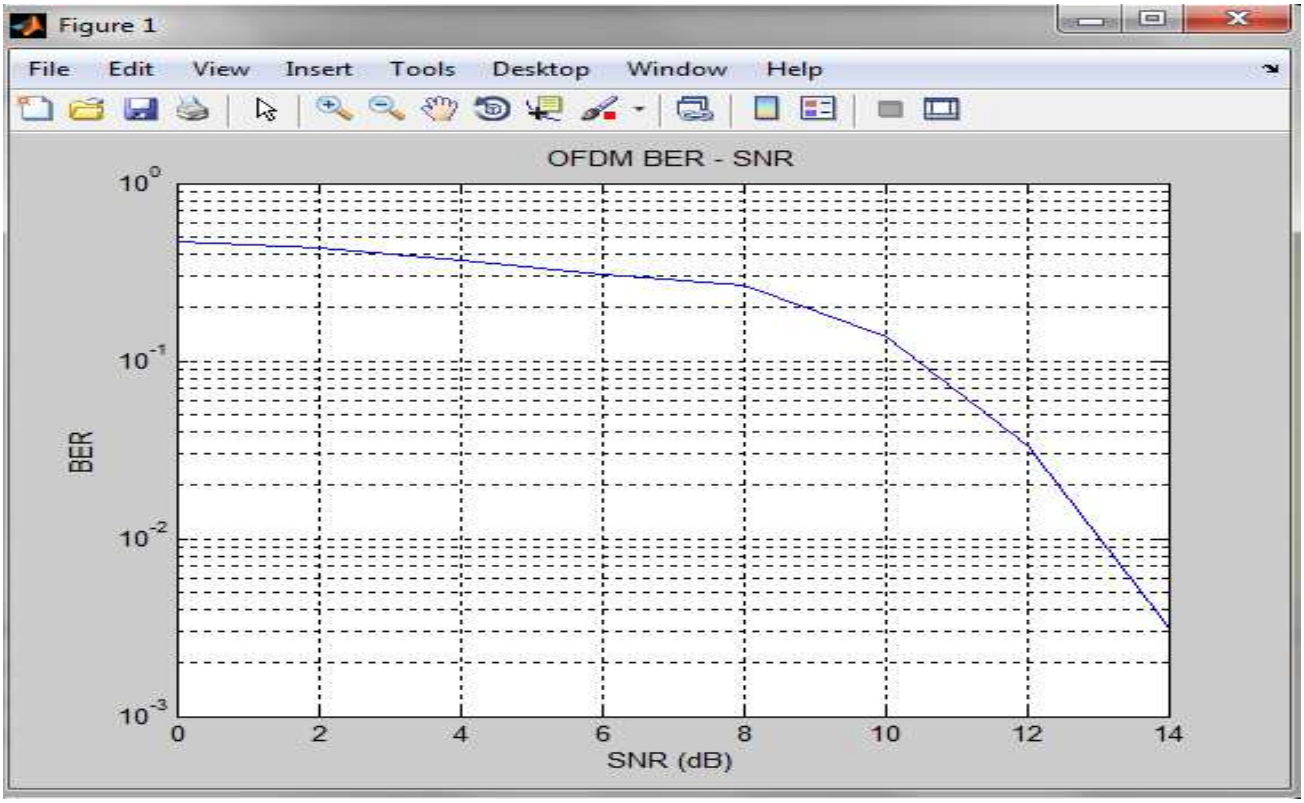
6)Προσομοίωση και σύγκριση στοιχείων και χαρακτηριστικών 2G – 3G – 4G (matlab)

6.1 Σύγκριση στοιχείων χαρακτηριστικών 3G – 4G

A.



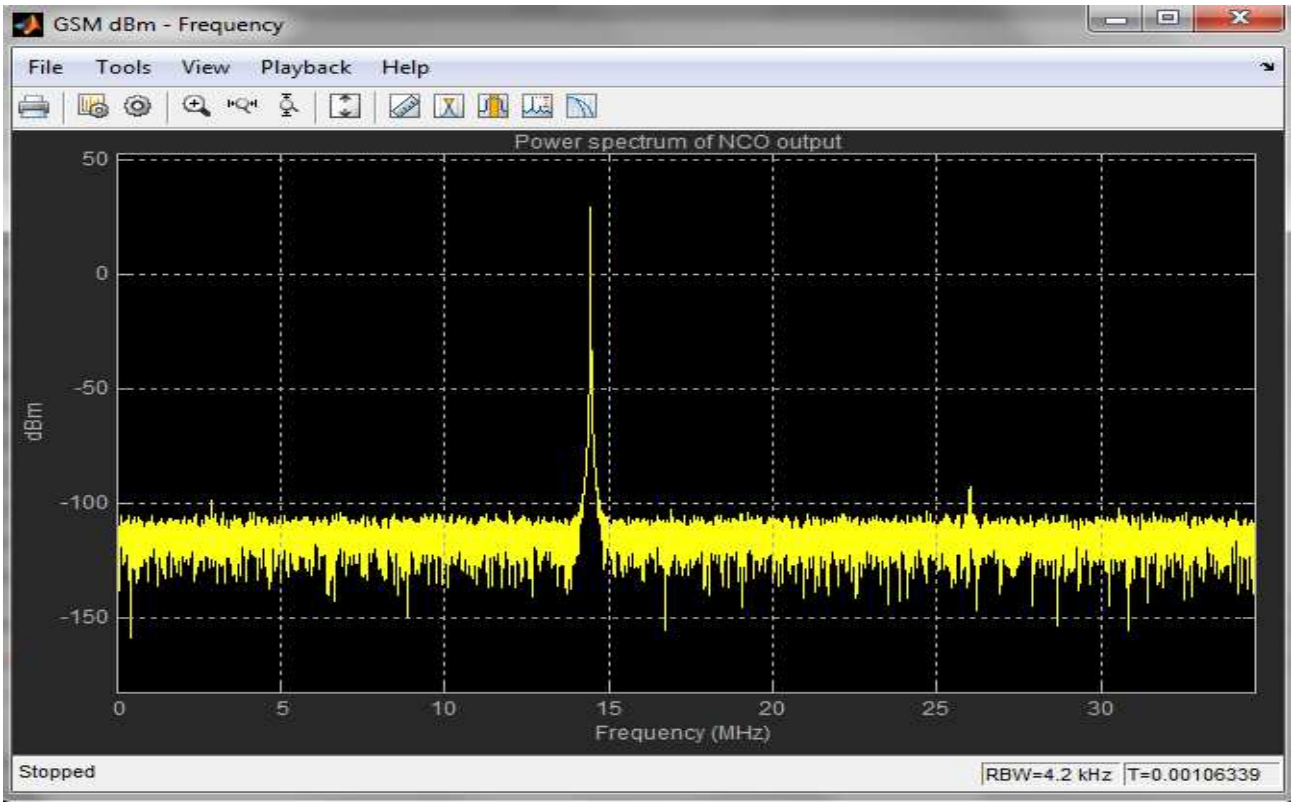
B.



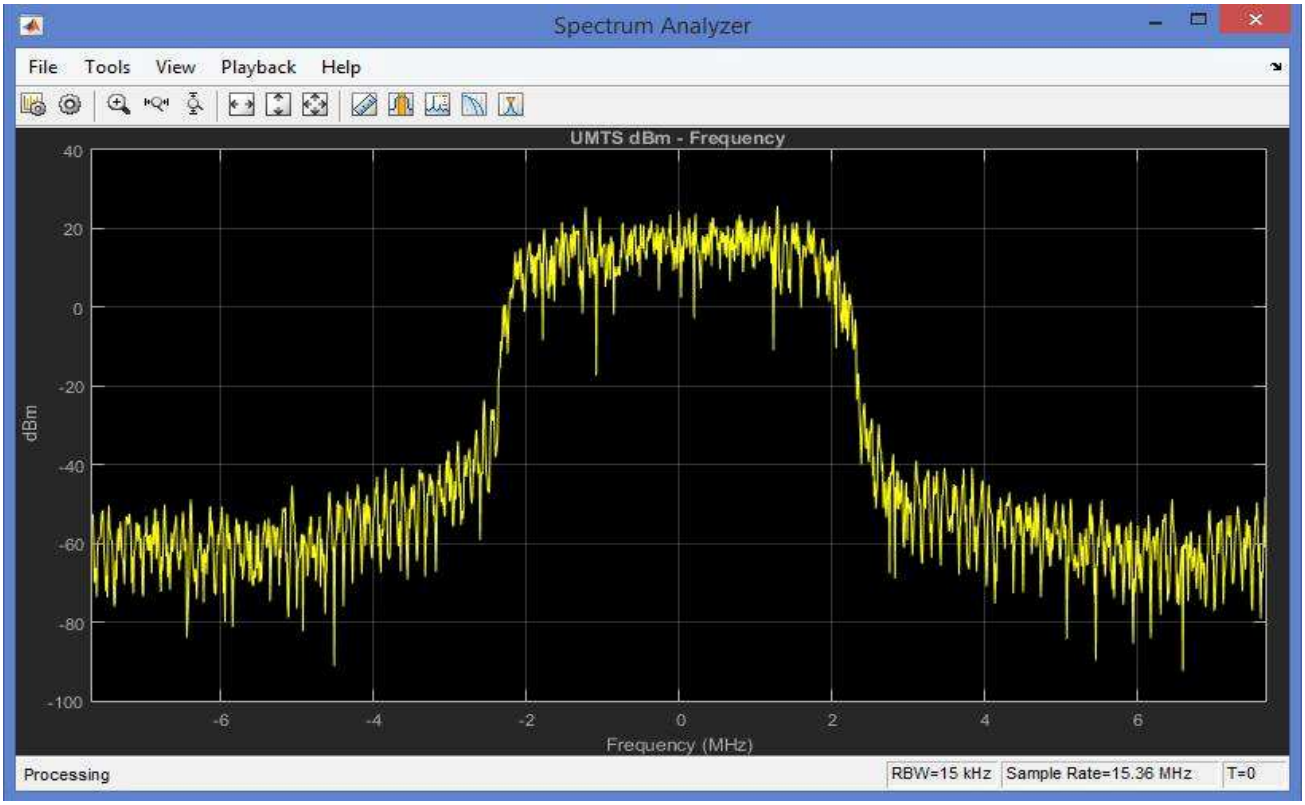
Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε την σχέση μεταξύ του BER(Bit Error Rate) και του SNR(Signal-to-Noise Ratio). Στην πρώτη περίπτωση βρισκόμαστε σε ένα UMTS σύστημα ενώ στην δεύτερη σε ένα LTE. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι όταν έχουμε ίδιο SNR και στα 2 συστήματα, αυτό με το μικρότερο BER είναι το UMTS. Αυτό γίνεται διότι τα σήματα έχουν υποστεί διαφορετικές διαμορφώσεις. Ενώ όταν έχουμε ίδιο BER το OFDM σύστημα είναι αυτό με το μεγαλύτερο και συνεπώς καλύτερο SNR.

6.2 Σύγκριση στοιχείων χαρακτηριστικών 2G – 3G

A.



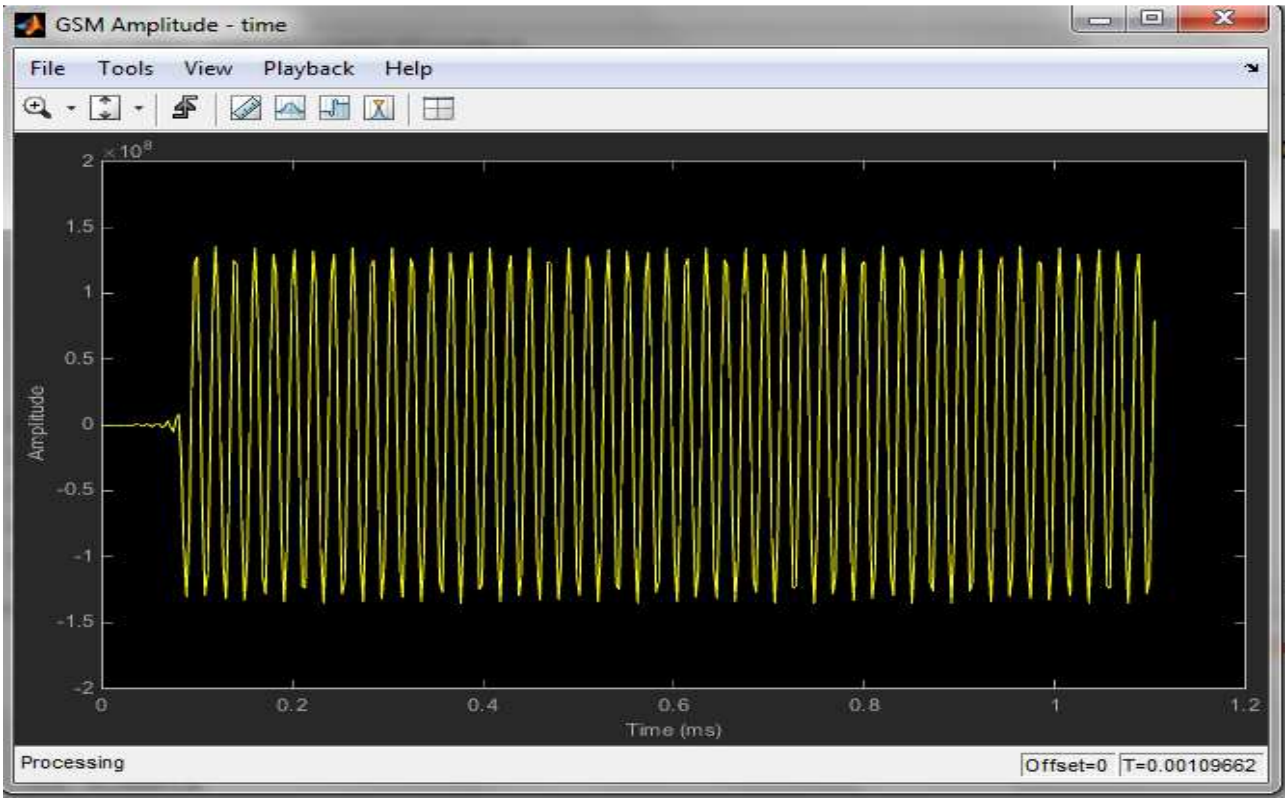
B.



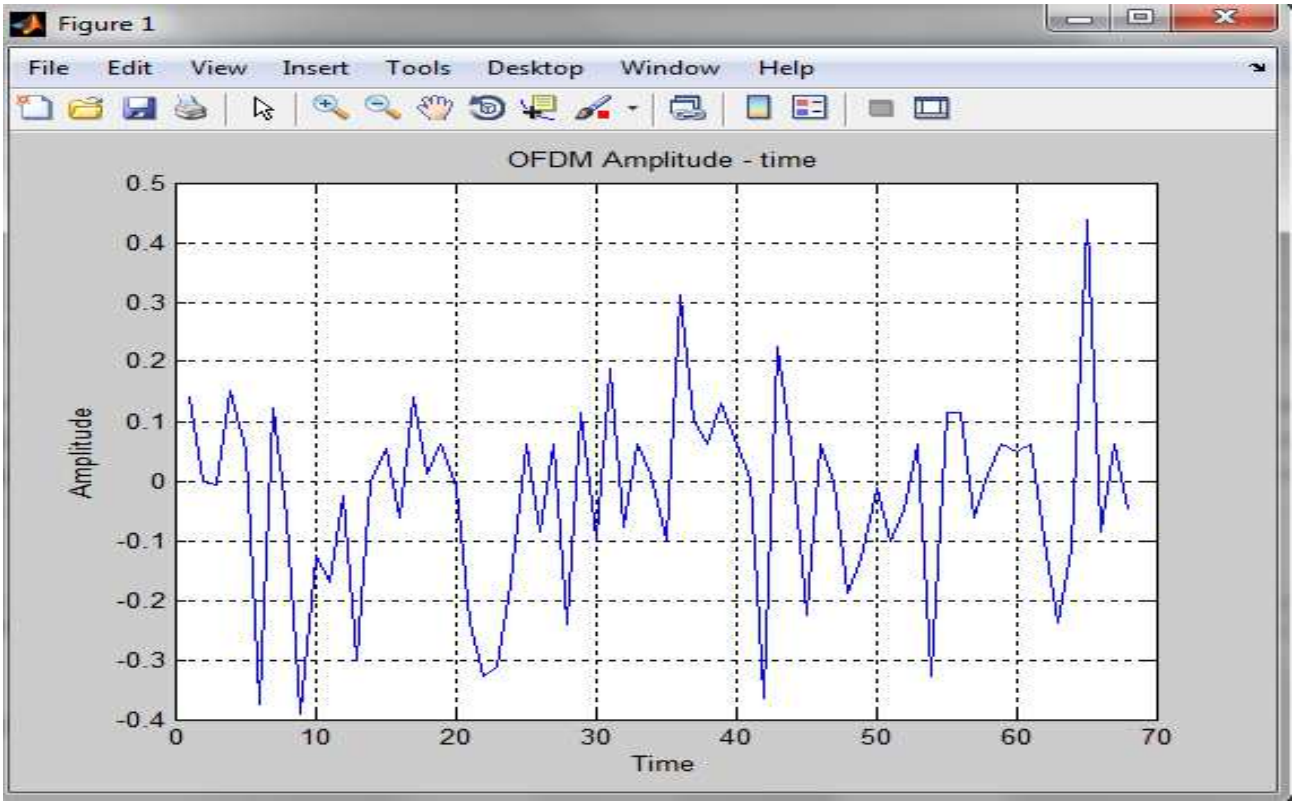
Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε την σχέση μεταξύ του dB, το οποίο μας δείχνει την ισχύ του σήματος, με την συχνότητα. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε το φάσμα ενός σήματος σε ένα GSM σύστημα ενώ δεύτερη περίπτωση έχουμε το φάσμα ενός σήματος σε ένα UMTS σύστημα. Παρατηρούμε ότι το σήμα ενός UMTS συστήματος έχει αρκετά μεγαλύτερο φάσμα απ ΄ ότι σε ένα GSM σύστημα.

6.3 Σύγκριση στοιχείων χαρακτηριστικών 2G – 4G

A.



B.



Στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις βλέπουμε 2 διαφορετικά σήματα. Το πρώτο σήμα ανήκει σε ένα GSM σύστημα ενώ το δεύτερο στο OFDM το οποίο είναι ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό για την λειτουργία του LTE. Σε ένα GSM σύστημα το σήμα είναι σταθερό διότι έχουμε single carrier transmission που σημαίνει ότι χρησιμοποιείται μια συγκεκριμένη συχνότητα για την μεταφορά της πληροφορίας. Αντίθετα σε ένα LTE σύστημα που χαρακτηρίζεται από το OFDM το οποίο είναι κοινός γνωστό ως multicarrier transmission το σήμα δεν γίνεται να έχει σταθερή μορφή διότι χρησιμοποιεί πολλές φέρουσες σε διαφορετικές συχνότητες για να μεταφέρει την πληροφορία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (κώδικας γραφικών παραστάσεων σε matlab)

Κώδικας του OFDM signal (Ofdm Subcarriers)

```
%% This program plots sensitivity of OFDM subcarriers with Carrier
%% frequency offset(CFO)
% Suggested Reference:
% Morelli et al, "Synchronizaton Techniques for OFDMA :
% A Tutorial Review", Proc. of IEEE, vol. 95, No. 7, July 2007


clc
clear all

e = 0;          % Normalized CFO
N = 16;         % Total Subcarriers
Indx = 0.01;    % Over sampling index
vi = 1;         % counter index
for k = 0:Indx:N-1
   hi = 1;     % counter index
   for l = 0:N-1
      % this function calculates effect of CFO.
      % added in order to evaluate function at zero CFO.
      f(vi,hi) = 1 +(sin(pi*(l+e-k))*exp(1i*pi*(N-1)*(l+e-k)/N))...
               /(N*sin(pi*(l+e-k)/N));
      hi = hi+1;
   end
   vi = vi+1;
end

plot([0:Indx:N-1],abs(f(:,1)),'r');
hold on; grid on;
title('Consecutive OFDM Subcarriers in Time domain');
xlabel('Subcarrier index');ylabel('Amplitude');

for n = 1:N-1
   plot([0:Indx:N-1],abs(f(:,n+1)));
end
```

Κώδικας του UMTS BER – SNR

```
%% UMTS(BER - SNR)
%% BPSK transmission over AWGN channel
close all;clear all;clc;
SNRdB=1:1:12;                          %Signal to Noise Ratio in dB
SNR=10.^(SNRdB/10);                     %Signal to Noise Ratio in Linear Scale
Bit_Length=10^6;                       %No. of Bits Transmitted
BER_Simulated=zeros(1,length(SNRdB));     %Simulated Bit Error Rate


%% BPSK Transmission over AWGN channel
parfor k=1:length(SNR);
   x=(2*floor(2*rand(1,Bit_Length)))-1;
   y=(sqrt(SNR(k))*x)+randn(1,Bit_Length);

   BER_Simulated(k)=length(find((y.*x)<0));              %Total number of bits in error
end
BER_Simulated=BER_Simulated/Bit_Length;
semilogy(SNRdB,BER_Simulated,'m-<', 'linewidth' ,2.0);
hold on
semilogy(SNRdB,qfunc(sqrt(SNR)),'b-','linewidth',2.0);     %Theoritical Bit Error Rate
title('UMTS BER - SNR');xlabel('SNR in dB');ylabel('BER');
legend('BER(Simulated)','BER(Theoritical)')
axis tight
grid
```

Κώδικας του OFDM BER – SNR

```
% OFDM(BER - SNR) Code
% No.of Carriers: 64
% Single frame size: 96 bits
% Total no. of Frames: 100
% Modulation: 16-QAM
% No. of Pilots: 4
% Cylic Extension: 25%(16)

close all
clear all
clc


% Generating and coding data
t_data=randint(9600,1)';
x=1;
si=1; %for BER rows

for d=1:100;
data=t_data(x:x+95);
x=x+96;
k=3;
n=6;
s1=size(data,2);  % Size of input matrix
j=s1/k;

% Convolutionally encoding data
constlen=7;
codegen = [171 133];
trellis = poly2trellis(constlen, codegen);
codedata = convenc(data, trellis);


%Interleaving coded data

s2=size(codedata,2);
j=s2/4;
matrix=reshape(codedata,j,4);

intlvddata = matintrlv(matrix',2,2)'; % Interleave.
intlvddata=intlvddata';


% Binary to decimal conversion

dec=bi2de(intlvddata','left-msb');

%16-QAM Modulation
```

```
M=16;
y = qammod(dec,M);
% scatterplot(y);


% Pilot insertion

lendata=length(y);
pilt=3+3j;
nofpits=4;

k=1;

for i=(1:13:52)

   pilt_data1(i)=pilt;

   for j=(i+1:i+12);
      pilt_data1(j)=y(k);
      k=k+1;
   end
end

pilt_data1=pilt_data1';   % size of pilt_data =52
pilt_data(1:52)=pilt_data1(1:52);    % upsizing to 64
pilt_data(13:64)=pilt_data1(1:52);   % upsizing to 64

for i=1:52

   pilt_data(i+6)=pilt_data1(i);

end


% IFFT

ifft_sig=ifft(pilt_data',64);


% Adding Cyclic Extension

cext_data=zeros(80,1);
cext_data(1:16)=ifft_sig(49:64);
for i=1:64

   cext_data(i+16)=ifft_sig(i);

end

% Channel
```

```
 % SNR

 o=1;
for snr=0:2:50

ofdm_sig=awgn(cext_data,snr,'measured'); % Adding white Gaussian Noise


%                 RECEIVER
%%
%Removing Cyclic Extension

for i=1:64

   rxed_sig(i)=ofdm_sig(i+16);

end

% FFT

ff_sig=fft(rxed_sig,64);

% Pilot Synch%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:52

   synched_sig1(i)=ff_sig(i+6);

end

k=1;

for i=(1:13:52)

   for j=(i+1:i+12);
      synched_sig(k)=synched_sig1(j);
      k=k+1;
   end
end

% scatterplot(synched_sig)

% Demodulation
dem_data= qamdemod(synched_sig,16);

% Decimal to binary conversion

bin=de2bi(dem_data','left-msb');
bin=bin';

% De-Interleaving

deintlvddata = matdeintrlv(bin,2,2); % De-Interleave
```

```
deintlvddata=deintlvddata';
deintlvddata=deintlvddata(:)';

%Decoding data
n=6;
k=3;
decodedata =vitdec(deintlvddata,trellis,5,'trunc','hard');  % decoding datausing veterbi decoder
rxed_data=decodedata;

% Calculating BER
rxed_data=rxed_data(:)';
errors=0;

c=xor(data,rxed_data);
errors=nnz(c);

BER(si,o)=errors/length(data);
o=o+1;

 end % SNR loop ends here
 si=si+1;
end % main data loop

% Time averaging for optimum results

for col=1:25;        %%%change if SNR loop Changed
   ber(1,col)=0;
for row=1:100;


       ber(1,col)=ber(1,col)+BER(row,col);
   end
end
ber=ber./100;
%%
figure
i=0:2:48;
semilogy(i,ber);
title('OFDM BER - SNR');
ylabel('BER');
xlabel('SNR (dB)');
grid on
```

Κώδικας του GSM dBm - Frequency

```
if ~isfixptinstalled
   error(message('dsp:dspDigitalDownConverter:noFixptTbx'));
end
Fs = 69.333e6; FrameSize = 768;
hsine = dsp.SineWave( ...
        'Frequency', 69.1e6*5/24, ...
        'SampleRate', Fs, ...
        'Method', 'Trigonometric function', ...
        'SamplesPerFrame', FrameSize);
hnco = dsp.NCO( ...
        'PhaseIncrementSource', 'Property', ...
        'PhaseIncrement', int32((5/24) *2^32), ...
        'PhaseOffset', int16(0), ...
        'NumDitherBits', 14, ...
        'NumQuantizerAccumulatorBits', 18, ...
        'Waveform', 'Complex exponential', ...
        'SamplesPerFrame', FrameSize, ...
        'AccumulatorDataType', 'Custom', ...
        'CustomAccumulatorDataType', numerictype([],32), ...
        'OutputDataType', 'Custom', ...
        'CustomOutputDataType', numerictype([],20,18));
M1 = 64;
hcicdec = dsp.CICDecimator( ...
        'DecimationFactor', M1, ...
        'NumSections', 5, ...
        'FixedPointDataType', 'Minimum section word lengths', ...
        'OutputWordLength', 20);
gsmcoeffs; % Read the CFIR and PFIR coeffs
M2 = 2;
hcfir = dsp.FIRDecimator(M2, cfir, ...
        'CoefficientsDataType', 'Custom', ...
        'CustomCoefficientsDataType', numerictype([],16), ...
        'FullPrecisionOverride', false,...
        'OutputDataType', 'Custom', ...
        'CustomOutputDataType', numerictype([],20,-12));
M3 = 2;
hpfir = dsp.FIRDecimator(M3, pfir, ...
        'CoefficientsDataType', 'Custom', ...
        'CustomCoefficientsDataType', numerictype([],16), ...
        'FullPrecisionOverride',false, ...
        'OutputDataType', 'Custom', ...
        'CustomOutputDataType', numerictype([],20,-12));
hfirsrc = dsp.FIRRateConverter(4, 3, fir1(31,0.25),...
                'CoefficientsDataType', 'Custom', ...
                'CustomCoefficientsDataType', numerictype([],12), ...
                'FullPrecisionOverride',false, ...
                'OutputDataType', 'Custom', ...
                'CustomOutputDataType', numerictype([],24,-12));
```

```
 gsmsig = fi(zeros(768,1),true,14,13);
 mixsig = fi(zeros(768,1),true,20,18);
 hts1 = dsp.TimeScope(...
  'Name', 'Rate Converter Output: Real Signal', ...
  'SampleRate', Fs/256*4/3, ...
  'TimeSpan',1.2e-3, ...
  'YLimits', [-2e8 2e8]);
pos = hts1.Position;
hts1.Position(1:2) = [pos(1)-0.8*pos(3) pos(2)+0.7*pos(4)];

hts2 = dsp.TimeScope(...
  'Name', 'Rate Converter Output: Imaginary Signal', ...
  'Position', [pos(1)-0.8*pos(3) pos(2)-0.7*pos(4) pos(3:4)], ...
  'SampleRate', Fs/256*4/3, ...
  'TimeSpan',1.2e-3, ...
  'YLimits', [-2e8 2e8]);
hss1 = dsp.SpectrumAnalyzer(...
  'Name','GSM dBm - Frequency',...
  'SampleRate',Fs,...
  'FrequencySpan','Start and stop frequencies',...
  'StartFrequency',0,'StopFrequency',Fs/2,...
  'RBWSource', 'Property', 'RBW', 4.2e3,...
  'SpectralAverages', 1,...
  'Title', 'Power spectrum of NCO output',...
  'Position',[pos(1)+.8*pos(3) pos(2)+0.7*pos(4) pos(3:4)]);

FsCICcomp = Fs/(M1*M2);
hss2 = dsp.SpectrumAnalyzer(...
  'Name','DSPDDC: Compensated CIC Decimator Output',...
  'SampleRate',FsCICcomp,...
  'FrequencySpan','Start and stop frequencies',...
  'StartFrequency',0, 'StopFrequency',FsCICcomp/2,...
  'RBWSource', 'Property', 'RBW', 4.2e3,...
  'SpectralAverages', 1,...
  'Title', 'Power spectrum of compensated CIC decimator output',...
  'Position',[pos(1)+.8*pos(3) pos(2)-0.7*pos(4) pos(3:4)]);
for ii = 1:100
    gsmsig(:) = step(hsine);                % GSM signal
    ncosig = step(hnco);                    % NCO signal
    mixsig(:) = gsmsig.*ncosig;             % Digital mixer
    % CIC filtering and compensation
    ycic = step(hcfir, step(hcicdec, mixsig));
    % Programmable FIR and sample-rate conversion
    yrcout = step(hfirsrc, step(hpfir, ycic));
    % Frequency and time-domain plots
    step(hts1, real(yrcout));
    step(hts2, imag(yrcout));
    step(hss1, ncosig);
    step(hss2, ycic);
end
release(hss1);
release(hss2);
```

Κώδικας του UMTS dBm – Frequency

```
hset = 'H-Set1';     % H-Set number
modulation = 'QPSK'; % Modulation scheme
preconfigParams = umtsDownlinkReferenceChannels(hset,modulation); % Get H-Set parameters
hsetWaveform = umtsDownlinkWaveformGenerator(preconfigParams);      % Generate H-Set
waveform

%% H-Set1 (QPSK) Generation using full parameter list
% In this section, we will build the H-Set1 (QPSK) configuration structure
% from scratch and show that this is identical to the structure defined
% using the <matlab:doc('umtsDownlinkReferenceChannels')
% umtsDownlinkReferenceChannels> function as shown above.
% |downlinkParams| structure defined below has the full list of the
% parameters supported by the <matlab:doc('umtsDownlinkWaveformGenerator')
% umtsDownlinkWaveformGenerator> function and so also can be used as a
% template to create custom waveforms when a large set of parameter values
% need to be changed from the structure output by
% <matlab:doc('umtsDownlinkReferenceChannels')
% umtsDownlinkReferenceChannels>.
% H-Set parameter structure definition from scratch
% General settings
downlinkParams.TotFrames = 1;                    % Number of frames to be generated
downlinkParams.PrimaryScramblingCode = 0;        % Primary scrambling code
downlinkParams.FilterType = 'RRC';               % Enable the RRC filter
downlinkParams.OversamplingRatio = 4;            % Oversampling set to 4
downlinkParams.NormalizedPower = 'Off';          % Power normalization disabled
% Define Downlink Dedicated Physical Channel  (DPCH)
downlinkParams.DPCH.Enable = 'On';               % Enable DPCH
downlinkParams.DPCH.SlotFormat = 11;             % DPCH slot format
downlinkParams.DPCH.SpreadingCode = 6;           % DPCH spreading code
downlinkParams.DPCH.NMulticodes = 1;             % Number of DPCH
downlinkParams.DPCH.SecondaryScramblingCode = 1;   % Secondary scrambling code
downlinkParams.DPCH.TimingOffset = 0;            % Timing Offset
downlinkParams.DPCH.Power = 0;                   % Power in dB
downlinkParams.DPCH.TPCData = 0;                 % TPC value
downlinkParams.DPCH.TFCI = 0;                    % TFCI value
downlinkParams.DPCH.DataSource = 'CCTrCH';       % DPCH data source is CCTrCH
% DPCH carries the Coded Composite Transport Channel (CCTrCH) containing
% one or more transport channels. Since DPCH source is specified as CCTrCH,
% define the CCTrCH containing DTCH and DCCH transport channels
% Build DTCH definition
TrCH(1).Name = 'DTCH';                           % Name of the transport channel
TrCH(1).CRC = '16';                              % CRC specified as a string
TrCH(1).TTI = 20;                                % TTI in ms
TrCH(1).CodingType = 'conv3';                    % The coding type and rate
TrCH(1).RMA = 256;                               % Rate matching attribute
TrCH(1).DataSource = 'PN9-ITU';                  % Tr channel data source
TrCH(1).ActiveDynamicPart = 1;                   % Index to active dynamic part
TrCH(1).DynamicPart(1) = struct('BlockSize',244,'BlockSetSize',244); % 1x244 blocks
```

```
% Build DCCH definition
TrCH(2).Name = 'DCCH';                    % Name of the transport channel
TrCH(2).CRC = '12';                       % CRC specified as a string
TrCH(2).TTI = 40;                         % TTI in ms
TrCH(2).CodingType = 'conv3';             % The coding type and rate
TrCH(2).RMA = 256;                        % Rate matching attribute
TrCH(2).DataSource = 'PN9-ITU';           % Tr channel data source
TrCH(2).ActiveDynamicPart = 1;            % Index to active dynamic part
TrCH(2).DynamicPart(1) = struct('BlockSize',100,'BlockSetSize',100);   % 1x100 blocks
% Finalize CCTrCH structure array using the TrCH structures defined above
downlinkParams.DPCH.CCTrCH.Name = 'DCH';          % Name of the CCTrCH
downlinkParams.DPCH.CCTrCH.DTXPosition = 'fixed';  % DTX position
downlinkParams.DPCH.CCTrCH.TrCH = TrCH;           % Assign DTCH/DCCH to CCTrCH
% Define P-CCPCH
downlinkParams.PCCPCH.Enable = 'On';              % Enable P-CCPCH
downlinkParams.PCCPCH.Power = 0;                  % Set power to be 0dB
downlinkParams.PCCPCH.DataSource = 'CCTrCH';      % P-CCPCH data source is CCTrCH
clear TrCH;
TrCH(1).Name = 'BCH';                     % Name of the Tr channel
TrCH(1).CRC = '16';                       % CRC specified as a string
TrCH(1).TTI = 20;                         % TTI in ms
TrCH(1).CodingType = 'conv2';             % The coding type and rate
TrCH(1).RMA = 256;                        % Rate matching attribute
TrCH(1).DataSource = 'PN9-ITU';           % Tr channel data source
TrCH(1).ActiveDynamicPart = 1;            % Index to active dynamic part
TrCH(1).DynamicPart(1) = struct('BlockSize',246,'BlockSetSize',246); % 1x246 block
% Finalize CCTrCH structure array using the TrCH structure defined above
downlinkParams.PCCPCH.CCTrCH.Name = 'BCH';        % Name of the CCTrCH
downlinkParams.PCCPCH.CCTrCH.DTXPosition = 'fixed';% DTX position
downlinkParams.PCCPCH.CCTrCH.TrCH = TrCH;         % Assign BCH to CCTrCH

% Define S-CCPCH, but this channel is not required for H-Set1 generation
downlinkParams.SCCPCH.Enable = 'Off';             % Disable S-CCPCH
downlinkParams.SCCPCH.SlotFormat = 7;             % Slot format number
downlinkParams.SCCPCH.SpreadingCode = 3;          % S-CCPCH spreading code
downlinkParams.SCCPCH.SecondaryScramblingCode = 3; % Secondary scrambling code
downlinkParams.SCCPCH.TimingOffset = 0;           % Timing Offset
downlinkParams.SCCPCH.Power = 0;                  % Power in dB
downlinkParams.SCCPCH.TFCI = 0;                   % TFCI value
downlinkParams.SCCPCH.DataSource = 'CCTrCH';      % S-CCPCH data source is CCTrCH
% S-CCPCH CCTrCH can carry PCH and FACH transport channels. Since S-CCPCH
% source is CCTrCH, define CCTrCH containing PCH and FACH
% Build PCH definition
TrCH(1).Name = 'PCH';                     % Name of the Tr channel
TrCH(1).CRC = '16';                       % CRC specified as a string
TrCH(1).TTI = 10;                         % TTI in ms
TrCH(1).CodingType = 'conv2';             % The coding type
TrCH(1).RMA = 256;                        % Rate matching attribute
TrCH(1).DataSource = 'PN9-ITU';           % Tr channel data source
TrCH(1).ActiveDynamicPart = 1;            % Index to active dynamic part
TrCH(1).DynamicPart(1) = struct('BlockSize',64,'BlockSetSize',64);   % 1x64 block
% Build FACH definition
```

```
TrCH(2).Name = 'FACH';                          % Name of the Tr channel
TrCH(2).CRC = '16';                             % CRC specified as a string
TrCH(2).TTI = 10;                               % TTI in ms
TrCH(2).CodingType = 'turbo';                   % The coding type
TrCH(2).RMA = 256;                              % Rate matching attribute
TrCH(2).DataSource = 'PN9-ITU';                 % Tr channel data source
TrCH(2).ActiveDynamicPart = 1;                  % Index to active dynamic part
TrCH(2).DynamicPart(1) = struct('BlockSize',360,'BlockSetSize',360);   % 1x360 block
% Finalize CCTrCH using the above
downlinkParams.SCCPCH.CCTrCH.Name = '';         % Name of the CCTrCH
downlinkParams.SCCPCH.CCTrCH.DTXPosition = 'fixed';% DTX position
downlinkParams.SCCPCH.CCTrCH.TrCH = TrCH;       % Assign PCH/FACH to CCTrCH
% Define P-CPICH
downlinkParams.PCPICH.Enable = 'On';            % Enable P-CPICH
downlinkParams.PCPICH.Power = 0;                % Power in dB
% Define S-CPICH
downlinkParams.SCPICH.Enable = 'Off';           % Disable S-CPICH
downlinkParams.SCPICH.SpreadingCode = 4;        % S-CPICH spreading code
downlinkParams.SCPICH.SecondaryScramblingCode = 4; % Secondary scrambling code
downlinkParams.SCPICH.Power = 0;                % Power in dB
% Define P-SCH
downlinkParams.PSCH.Enable = 'On';              % Enable P-SCH
downlinkParams.PSCH.Power = 0;                  % Power in dB
% Define S-SCH
downlinkParams.SSCH.Enable = 'On';              % Enable S-SCH
downlinkParams.SSCH.Power = 0;                  % Power in dB
% Define PICH
downlinkParams.PICH.Enable = 'On';              % Enable PICH
downlinkParams.PICH.SpreadingCode = 16;         % PICH spreading code
downlinkParams.PICH.TimingOffset = 0;           % Timing offset
downlinkParams.PICH.Power = 0;                  % Power in dB
downlinkParams.PICH.DataSource = 'PagingData';  % PICH data source
downlinkParams.PICH.Np = 144;                   % Number of paging indicators
% Define HSDPA
downlinkParams.HSDPA.Enable = 'On';             % Enable HSDPA channels
downlinkParams.HSDPA.CodeGroup = 5;             % Number of HS-PDSCHs
downlinkParams.HSDPA.CodeOffset = 1;            % Code offset to first HS-PDSCH
downlinkParams.HSDPA.Modulation = 'QPSK';       % Modulation scheme
downlinkParams.HSDPA.VirtualBufferCapacity = 9600; % Buffer capacity
downlinkParams.HSDPA.InterTTIDistance = 3;      % Inter TTI interval
downlinkParams.HSDPA.NHARQProcesses = 2;        % Number of HARQ processes
downlinkParams.HSDPA.XrvSequence = [0 2 5 6];   % The XRV sequence
downlinkParams.HSDPA.UEId = 0;                  % UE Identity
downlinkParams.HSDPA.TransportBlockSizeId = 41; % The transport block size id
downlinkParams.HSDPA.HSSCCHSpreadingCode = 9;   % Shared channel spreading code
downlinkParams.HSDPA.SecondaryScramblingCode = 6; % Secondary scrambling code
downlinkParams.HSDPA.HSPDSCHPower = 0;          % HS-PDSCH power in dB
downlinkParams.HSDPA.HSSCCHPower = 0;           % HS-SCCH power in dB
downlinkParams.HSDPA.DataSource = 'HSDSCH';     % Data source is HS-DSCH
% HS-DSCH transport channel definition
downlinkParams.HSDPA.HSDSCH.BlockSize = 3202;   % The transport block size
downlinkParams.HSDPA.HSDSCH.DataSource = 'PN9-ITU';% HS-DSCH data source
```

```
% Define OCNS channels as defined in TS25.101 Table C.13
downlinkParams.OCNS.Enable = 'On';              % Enable OCNS channels
downlinkParams.OCNS.Power = 0;                  % OCNS power scaling in dB
downlinkParams.OCNS.OCNSType = 'H-Set_6DPCH';     % OCNS definition

% The structure defined above can be used to generate the waveform:
hsetWaveform2 = umtsDownlinkWaveformGenerator(downlinkParams);
% For completeness we can see that the H-Set definition structures obtained
% by the above two parameterization approaches are identical
if(isequal(preconfigParams,downlinkParams))
   disp(['H-Set1 configuration structures generated with and without using' ...
   ' umtsDownlinkReferenceChannels function are the same.']);
end
%% Waveform Comparison
% Compare the waveforms generated using both approaches described above and
% see that the generated waveforms are identical

if(isequal(hsetWaveform,hsetWaveform2))
   disp(['H-Set1 waveforms generated with and without using' ...
   ' umtsDownlinkReferenceChannels function are the same.']);
end
%% Plot Spectrum
% Plot the spectrum of the time domain signal |hsetWaveform2|.
chiprate = 3.84e6;   % Chiprate of the baseband waveform
h = dsp.SpectrumAnalyzer('SampleRate', chiprate*downlinkParams.OversamplingRatio);
h.Title = 'UMTS dBm - Frequency';
h.YLimits = [-100,40];
step(h,hsetWaveform2);


%% Selected Bibliography
% # 3GPP TS 25.101 "3rd Generation Partnership Project; Technical
% Specification Group Radio Access Network; User Equipment (UE) radio
% transmission and reception (FDD)"
% # 3GPP TS 25.211 "3rd Generation Partnership Project; Technical
% Specification Group Radio Access Network; Physical channels and mapping
% of transport channels onto physical channels (FDD)"
% # 3GPP TS 25.212 "3rd Generation Partnership Project; Technical
% Specification Group Radio Access Network; Multiplexing and channel coding
% (FDD)"
% # 3GPP TS 25.213 "3rd Generation Partnership Project; Technical
% Specification Group Radio Access Network; Spreading and modulation (FDD)"

displayEndOfDemoMessage(mfilename)
```

Κώδικας του GSM Amplitude – time

```
if ~isfixptinstalled
   error(message('dsp:dspDigitalDownConverter:noFixptTbx'));
end
Fs = 69.333e6; FrameSize = 768;
hsine = dsp.SineWave( ...
        'Frequency', 69.1e6*5/24, ...
        'SampleRate', Fs, ...
        'Method', 'Trigonometric function', ...
        'SamplesPerFrame', FrameSize);
hnco = dsp.NCO( ...
        'PhaseIncrementSource', 'Property', ...
        'PhaseIncrement', int32((5/24) *2^32), ...
        'PhaseOffset', int16(0), ...
        'NumDitherBits', 14, ...
        'NumQuantizerAccumulatorBits', 18, ...
        'Waveform', 'Complex exponential', ...
        'SamplesPerFrame', FrameSize, ...
        'AccumulatorDataType', 'Custom', ...
        'CustomAccumulatorDataType', numerictype([],32), ...
        'OutputDataType', 'Custom', ...
        'CustomOutputDataType', numerictype([],20,18));
M1 = 64;
hcicdec = dsp.CICDecimator( ...
        'DecimationFactor', M1, ...
        'NumSections', 5, ...
        'FixedPointDataType', 'Minimum section word lengths', ...
        'OutputWordLength', 20);
gsmcoeffs; % Read the CFIR and PFIR coeffs
M2 = 2;
hcfir = dsp.FIRDecimator(M2, cfir, ...
        'CoefficientsDataType', 'Custom', ...
        'CustomCoefficientsDataType', numerictype([],16), ...
        'FullPrecisionOverride', false,...
        'OutputDataType', 'Custom', ...
        'CustomOutputDataType', numerictype([],20,-12));
M3 = 2;
hpfir = dsp.FIRDecimator(M3, pfir, ...
        'CoefficientsDataType', 'Custom', ...
        'CustomCoefficientsDataType', numerictype([],16), ...
        'FullPrecisionOverride',false, ...
        'OutputDataType', 'Custom', ...
        'CustomOutputDataType', numerictype([],20,-12));
hfirsrc = dsp.FIRRateConverter(4, 3, fir1(31,0.25),...
                'CoefficientsDataType', 'Custom', ...
                'CustomCoefficientsDataType', numerictype([],12), ...
                'FullPrecisionOverride',false, ...
                'OutputDataType', 'Custom', ...
                'CustomOutputDataType', numerictype([],24,-12));
```

```
 gsmsig = fi(zeros(768,1),true,14,13);
 mixsig = fi(zeros(768,1),true,20,18);
 hts1 = dsp.TimeScope(...
  'Name', 'GSM Amplitude - time', ...
  'SampleRate', Fs/256*4/3, ...
  'TimeSpan',1.2e-3, ...
  'YLimits', [-2e8 2e8]);
pos = hts1.Position;
hts1.Position(1:2) = [pos(1)-0.8*pos(3) pos(2)+0.7*pos(4)];

hts2 = dsp.TimeScope(...
  'Name', 'Rate Converter Output: Imaginary Signal', ...
  'Position', [pos(1)-0.8*pos(3) pos(2)-0.7*pos(4) pos(3:4)], ...
  'SampleRate', Fs/256*4/3, ...
  'TimeSpan',1.2e-3, ...
  'YLimits', [-2e8 2e8]);
hss1 = dsp.SpectrumAnalyzer(...
  'Name','GSM dBm - Frequency',...
  'SampleRate',Fs,...
  'FrequencySpan','Start and stop frequencies',...
  'StartFrequency',0,'StopFrequency',Fs/2,...
  'RBWSource', 'Property', 'RBW', 4.2e3,...
  'SpectralAverages', 1,...
  'Title', 'Power spectrum of NCO output',...
  'Position',[pos(1)+.8*pos(3) pos(2)+0.7*pos(4) pos(3:4)]);

FsCICcomp = Fs/(M1*M2);
hss2 = dsp.SpectrumAnalyzer(...
  'Name','DSPDDC: Compensated CIC Decimator Output',...
  'SampleRate',FsCICcomp,...
  'FrequencySpan','Start and stop frequencies',...
  'StartFrequency',0, 'StopFrequency',FsCICcomp/2,...
  'RBWSource', 'Property', 'RBW', 4.2e3,...
  'SpectralAverages', 1,...
  'Title', 'Power spectrum of compensated CIC decimator output',...
  'Position',[pos(1)+.8*pos(3) pos(2)-0.7*pos(4) pos(3:4)]);
for ii = 1:100
    gsmsig(:) = step(hsine);                % GSM signal
    ncosig = step(hnco);                    % NCO signal
    mixsig(:) = gsmsig.*ncosig;             % Digital mixer
    % CIC filtering and compensation
    ycic = step(hcfir, step(hcicdec, mixsig));
    % Programmable FIR and sample-rate conversion
    yrcout = step(hfirsrc, step(hpfir, ycic));
    % Frequency and time-domain plots
    step(hts1, real(yrcout));
    step(hts2, imag(yrcout));
    step(hss1, ncosig);
    step(hss2, ycic);
end
release(hss1);
release(hss2);
```

Κώδικας του LTE Amplitude – time

```
clc;
clear all;
close all;

% Initiation
no_of_data_bits = 64%Number of bits per channel extended to 128
M =4 %Number of subcarrier channel
n=256;%Total number of bits to be transmitted at the transmitter
block_size = 16; %Size of each OFDM block to add cyclic prefix
cp_len = floor(0.1 * block_size); %Length of the cyclic prefix

% Transmitter
% Source generation and modulation
% Generate random data source to be transmitted of length 64
data = randsrc(1, no_of_data_bits, 0:M-1);
figure(6),stem(data); grid on; xlabel('Data Points'); ylabel('Amplitude')
%title('Original Data ')
% Perform QPSK modulation on the input source data
qpsk_modulated_data = pskmod(data, M);
figure(2),stem(qpsk_modulated_data);title('QPSK Modulation ')
%.....................................................
% Converting the series data stream into four parallel data stream to form
% four sub carriers
S2P = reshape(qpsk_modulated_data, no_of_data_bits/M,M)
Sub_carrier1 = S2P(:,1)
Sub_carrier2 = S2P(:,2)
Sub_carrier3 = S2P(:,3)
Sub_carrier4 = S2P(:,4)
figure(3), subplot(4,1,1),stem(Sub_carrier1),title('Subcarrier1'),grid on;
subplot(4,1,2),stem(Sub_carrier2),title('Subcarrier2'),grid on;
subplot(4,1,3),stem(Sub_carrier3),title('Subcarrier3'),grid on;
subplot(4,1,4),stem(Sub_carrier4),title('Subcarrier4'),grid on;
%.....................................................
% IFFT OF FOUR SUB_CARRIERS
%.....................................................
number_of_subcarriers=4;
cp_start=block_size-cp_len;
ifft_Subcarrier1 = ifft(Sub_carrier1)
ifft_Subcarrier2 = ifft(Sub_carrier2)
ifft_Subcarrier3 = ifft(Sub_carrier3)
ifft_Subcarrier4 = ifft(Sub_carrier4)
figure(4), subplot(4,1,1),plot(real(ifft_Subcarrier1),'r'),
title('IFFT on all the sub-carriers')
subplot(4,1,2),plot(real(ifft_Subcarrier2),'c')
subplot(4,1,3),plot(real(ifft_Subcarrier3),'b')
subplot(4,1,4),plot(real(ifft_Subcarrier4),'g')
%.....................................................
% ADD-CYCLIC PREFIX %.....................................................
```

```
for i=1:number_of_subcarriers,
ifft_Subcarrier(:,i) = ifft((S2P(:,i)),16)% 16 is the ifft point
for j=1:cp_len,
cyclic_prefix(j,i) = ifft_Subcarrier(j+cp_start,i)
end
Append_prefix(:,i) = vertcat( cyclic_prefix(:,i), ifft_Subcarrier(:,i))
% Appends prefix to each subcarriers
end
A1=Append_prefix(:,1);
A2=Append_prefix(:,2);
A3=Append_prefix(:,3);
A4=Append_prefix(:,4);
figure(5), subplot(4,1,1),plot(real(A1),'r'),title('Cyclic prefix added to all the sub-carriers')
subplot(4,1,2),plot(real(A2),'c')
subplot(4,1,3),plot(real(A3),'b')
subplot(4,1,4),plot(real(A4),'g')
figure(11),plot((real(A1)),'r'),title('Orthogonality'),hold on ,plot((real(A2)),'c'),hold on ,
plot((real(A3)),'b'),hold on ,plot((real(A4)),'g'),hold on ,grid on
%Convert to serial stream for transmission
[rows_Append_prefix cols_Append_prefix]=size(Append_prefix)
len_ofdm_data = rows_Append_prefix*cols_Append_prefix
% OFDM signal to be transmitted
ofdm_signal = reshape(Append_prefix, 1, len_ofdm_data);
figure(1),plot(real(ofdm_signal)); xlabel('Time'); ylabel('Amplitude');
title('OFDM Amplitude - time');grid on;
```