



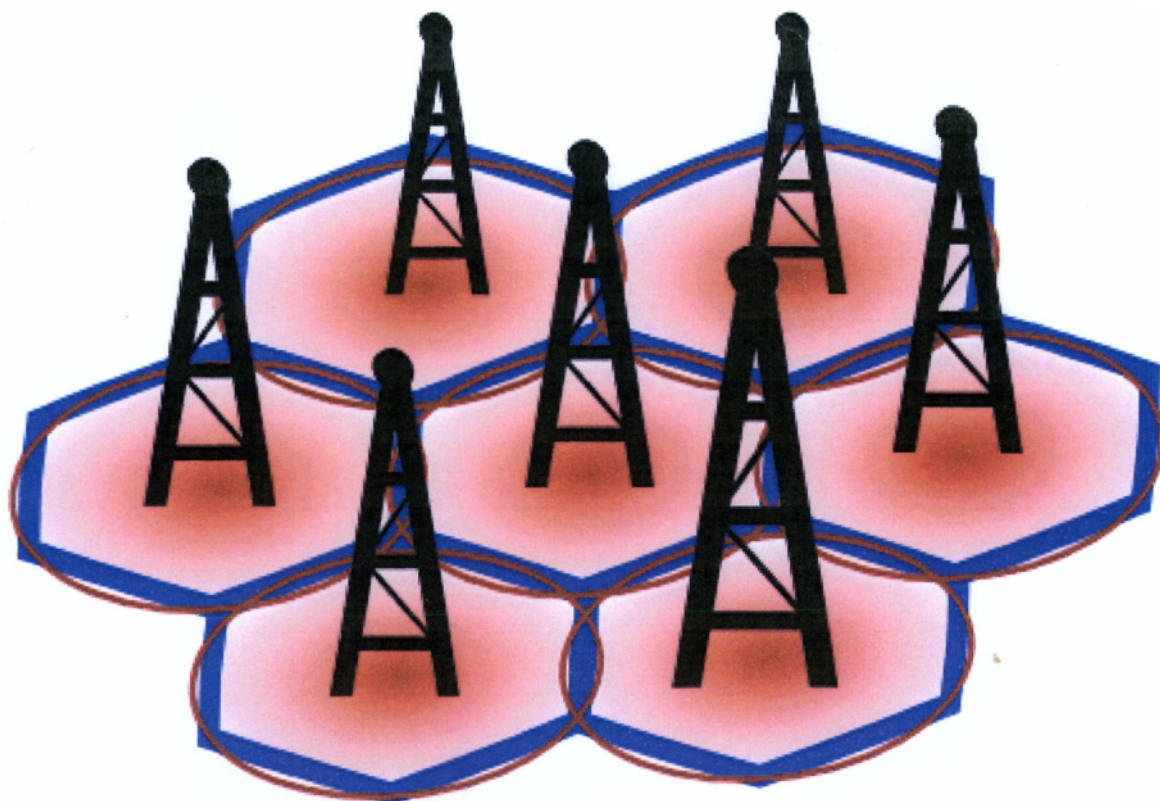
Α.Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ)

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

“Εισαγωγή στα συστήματα 3ης γενιάς και σύγκριση των 2 βασικών τεχνολογιών τους GSM και UMTS ως προς τις προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και εξέταση των μελλοντικών προκλήσεων που μπορεί να προκύψουν στα σύγχρονα κυψελωτά συστήματα.”



Σπουδαστής: Νικόλαος Κατσιαδράμης
Α.Μ.: 2006042

Επιβλέπων Καθηγητής: Μιχαήλ Ναστάκος

ΣΠΑΡΤΗ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Μιχαήλ Ναστάκο, για την πολύτιμη βοήθεια και άρτια καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ όλα τα άτομα, συγγενείς και φίλους, που ο καθένας με τον τρόπο του με βοήθησε και στάθηκε δίπλα μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω, ευχαριστώ, στους γονείς μου και τον αδερφό μου για την κάθε είδους βοήθεια που προσέφεραν, ηθική και υλική, τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου όσο και κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να μελετηθούν τα δύο κύρια πρότυπα που χαρακτηρίζουν τα δίκτυα 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς, καθώς και οι νέες προοπτικές που ανοίγονται μέσω των τεχνολογιών τους. (Π.χ. Εφαρμογές video, Downloading μουσικής όπως MP3 ή λογισμικού, Voice-over-IP (VoIP), Υπηρεσίες Εντοπισμού θέσης, μηνύματα πολυμέσων).

Αναλυτικότερα, στο 1^ο κεφάλαιο βλέπουμε μία σύντομη περιγραφή της εξέλιξης των κινητών συστημάτων τηλεφωνίας από την πρώτη στιγμή της εμφάνισης τους μέχρι και σήμερα.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα κυψελοειδή συστήματα, δηλαδή στα δομικά στοιχεία που τα αποτελούν (κυψέλη, ψηφιακό κέντρο μεταγωγής, κινητή μονάδα) καθώς και στις λειτουργίες που επιτελούν.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται μία πλήρης ανάλυση της τεχνολογίας GSM. Παρουσιάζεται αναλυτικά η αρχιτεκτονική του συστήματος και τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Στη συνέχεια αναφέρονται οι διάφορες λειτουργίες του, όπως είναι η μετάδοση, η διαχείριση του ραδιοφάσματος, η μεταγωγή, κ.α.. Τέλος γίνεται αναφορά στις υπηρεσίες που προσφέρει το GSM.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή του συστήματος UMTS ως προς την αρχιτεκτονική και λειτουργική δομή του, ξεκινώντας από τα γενικά χαρακτηριστικά του, σε ότι αφορά το χρησιμοποιούμενο φάσμα, την αξιοποίηση του διατιθέμενου εύρους ζώνης και τη δομή των κυψελών του UMTS. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου, με αναφορά στον εξοπλισμό του χρήστη, το Δίκτυο Επίγειας Πρόσβασης (UTRAN) και το Δίκτυο Κορμού (Core Network). Επίσης γίνεται ανάλυση των τάξεων ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service) και των χαρακτηριστικών τους στο UMTS.

Τέλος στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο τεχνολογιών GSM – UMTS και παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές τους και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το UMTS μαζί με τις νέες υπηρεσίες και εφαρμογές. Επίσης γίνεται μία μικρή αναφορά στις μελλοντικές εξελίξεις των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας και συγκεκριμένα στα Δίκτυα 4^{ης} γενιάς, με παρουσίαση των χαρακτηριστικών τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	7
1.2.	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΥΦΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	8
1.3.	Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΥΦΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1.	ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΦΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	13
2.2.	ΚΕΡΑΙΕΣ ΣΤΟ ΚΥΦΕΛΟΕΙΔΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	14
2.3.	ΣΧΗΜΑ ΚΥΦΕΛΗΣ.....	16
2.4.	ΕΙΔΗ ΚΥΦΕΛΩΝ.....	17
2.5.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΦΕΛΗΣ.....	17
2.5.1.	ΡΑΔΙΟ-ΚΑΝΑΛΙΑ (RADIO-CHANNELS).....	17
2.5.2.	ΚΑΝΑΛΙΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ.....	18
2.5.3.	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΥΦΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	18
2.5.4.	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	19
2.6.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΥΦΕΛΗΣ.....	19
2.6.1.	ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΥΦΕΛΗΣ (CELL SPLITTING).....	19
2.6.2.	ΜΕΤΑΓΩΓΗ (HANDOVER).....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΚΤΥΟ GSM

3.1.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GSM.....	22
3.1.1.	ΚΙΝΗΤΗ ΜΟΝΑΔΑ (MOBILE – STATION, MS).....	23
3.1.1.1.	ΤΕΡΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ.....	23
3.1.1.2.	ΒΑΘΜΙΔΑ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ (ΚΑΡΤΑ SIM).....	24
3.1.2.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ (BSS).....	24
3.1.2.1.	Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ ΒΑΣΗΣ (BTS).....	24
3.1.2.2.	Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ (BSC).....	25
3.1.3.	ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ (NSS).....	25
3.1.3.1.	MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER (MSC).....	25
3.1.3.2.	GATEWAY MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER (GMSC).....	25

3.1.3.3.	HOME LOCATION REGISTER (HLR).....	25
3.1.3.4.	VISITOR LOCATION REGISTER (VLR).....	26
3.1.3.5.	AUTHENTICATION CENTER (AuC).....	26
3.1.3.6.	EQUIPMENT IDENTITY REGISTER (EIR).....	26
3.1.3.7.	GSM INTERWORKING UNIT (GIWU).....	27
3.1.4.	ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	27
3.2.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM	27
3.2.1.	ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	27
3.2.2.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΑΔΙΟ-ΦΑΣΜΑΤΟΣ (RADIO RESOURCES MANAGEMENT – RR).....	28
3.2.2.1.	ΜΕΤΑΓΩΓΗ (HANDOVER).....	28
3.2.3.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	30
3.2.3.1.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΘΕΣΗΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ.....	30
3.2.3.2.	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ.....	30
3.2.4.	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	31
3.2.5.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ, ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	31
3.3.	Η ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΕΠΑΦΗ ΤΟΥ GSM.....	32
3.3.1.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	32
3.3.2.	ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (FDMA - TDMA).....	33
3.3.2.1.	FDMA – TDMA.....	33
3.3.3.	ΔΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ.....	35
3.3.3.1	ΚΑΝΑΛΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (TRAFFIC CHANNELS – TCH).....	35
3.3.3.2	ΚΑΝΑΛΙΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ (CONTROL CHANNELS - CCH).....	36
3.3.4.	ΔΟΜΗ ΡΙΠΩΝ (BURST STRUCTURE).....	38
3.3.5.	ΜΕΤΑΓΙΝΔΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	39
3.3.6.	ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΑ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ.....	40
3.3.6.1.	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΝΗΣ.....	41
3.3.6.2.	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ.....	41
3.3.6.3.	ΔΙΕΜΠΛΟΚΗ (INTERLEAVING).....	42
3.3.7.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	43
3.3.8.	ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΛΗΨΗ	44
3.3.9.	ΠΟΛΥΟΔΙΚΗ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ.....	44
3.4.	ΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ GSM.....	44
3.4.1.	ΤΗΛΕ-ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ.....	45
3.4.2.	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	45
3.4.3.	ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΔΙΚΤΥΟ UMTS

4.1.	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS.....	47
4.2.	ΤΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ.....	48
4.3.	CDMA.....	49
4.3.1.	ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ ΕΥΘΕΙΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ.....	50
4.3.2.	ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	51
4.4.	ΚΩΔΙΚΕΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΛΕΞΗΣ (SPREADING AND SCRAMBLING CODES).....	52
4.5.	ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΥΨΕΛΩΝ.....	53
4.6.	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS.....	54
4.6.1.	ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΡΑΔΙΟΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (UTRAN).....	55
4.6.2.	ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ (CORE NETWORK).....	57
4.7.	Η ΡΑΔΙΟΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ W-CDMA	58
4.7.1.	ΤΡΟΠΟΙ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (FDD) ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ (TDD).....	59
4.7.2.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΕΠΑΦΗΣ W- CDMA.....	63
4.8.	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	64
4.8.1.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	65
4.9.	CELL BREATHING.....	66
4.10.	ΤΑΞΕΙΣ QoS (QUALITY OF SERVICE) ΣΤΟ UMTS	67
4.10.1.	ΤΑΞΗ CONVERSATIONAL.....	68
4.10.2.	ΤΑΞΗ STREAMING.....	68
4.10.3.	ΤΑΞΗ INTERACTIVE.....	69
4.10.4.	ΤΑΞΗ BACKGROUND.....	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ GSM – UMTS ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

5.1.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ GSM – UMTS.....	70
5.2.	ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	71
5.2.1.	MOBILE INTERNET/INTRANET/EXTRANET ACCESS.....	72
5.2.2.	CUSTOMIZED INFOTAINMENT	72
5.2.3.	MULTIMEDIA MESSAGING SERVICE (MMS).....	72
5.2.4.	LOCATION BASED SERVICES.....	72
5.2.5.	RICH VOICE.....	73
5.3.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ.....	73

6. ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	75
7. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	76
8. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	78
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ανακάλυψη της ύπαρξης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στα τέλη του 19^{ου} αιώνα αποτέλεσε την αρχή των επικοινωνιών από απόσταση μέσω της χρήσης της ασύρματης διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το πρώτο σύστημα ασύρματης επικοινωνίας καταγράφεται στην Αγγλία όπου ο Marconi επέτυχε τη ζεύξη της βασιλικής θαλαμηγού με το παλάτι κάνοντας χρήση σημάτων στη ζώνη VHF. Πριν το Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο στην Αγγλία όπως και στην Αμερική η Αστυνομία χρησιμοποιούσε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας που κάλυπταν τη ζώνη των 2-3 MHz και μετά το 1935 κατέλαβε και περιοχή συχνοτήτων στη ζώνη VHF. Κατά την διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου παρατηρείται επέκταση της χρήσης των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων από το στρατό και από διάφορες άλλες υπηρεσίες εκτάκτων αναγκών, όπου γινόταν χρήση της διαμόρφωσης AM, ενώ παράλληλα στις Η.Π.Α. είχε ξεκινήσει η δοκιμαστική λειτουργία της διαμόρφωσης FM.

Η επικοινωνία μέσω αυτών των συστημάτων ήταν μονόδρομη, δηλαδή δεν υπήρχε ταυτόχρονη επικοινωνία, καθώς μόνο ένας χρήστης μπορούσε να μιλήσει κάθε στιγμή. Τα συγκεκριμένα ασύρματα επικοινωνιακά συστήματα χρησιμοποιούσαν αρχιτεκτονική ευρείας επιφάνειας, μία κεραία η οποία είχε πάνω της ένα αρκετά ισχυρό πομπό (έως και 500W) και παρείχε κάλυψη έως και 50 km γύρω από το σταθμό βάσης, ο οποίος συνήθως βρισκόταν στο κέντρο μιας μητροπολιτικής περιοχής. Ωστόσο, αυτός ο σχεδιασμός συστήματος είχε μεγάλους περιορισμούς σε ότι αφορά τη χωρητικότητα καθώς ο εξαιρετικά μικρός αριθμός διαθέσιμων καναλιών ομιλίας επέτρεπε την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση σε περιορισμένο αριθμό συνδρομητών. Επίσης ένα άλλο μεγάλο μειονέκτημα των συστημάτων αυτών ήταν η αδυναμία σύνδεσής τους με το σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN), κάτι το οποίο καθιστούσε αδύνατη την επικοινωνία μεταξύ κινητού με σταθερού τηλεφωνικού δικτύου συνδρομητή.

Το 1947 στις Η.Π.Α. έγινε κατανομή του ραδιοφάσματος, όπου μέρος του διατέθηκε για τη χρήση των κινητών επικοινωνιών. Παρατηρώντας τη χρονική εξέλιξη των συστημάτων αυτών βλέπουμε πως ενώ το 1964 λειτουργούσαν στη περιοχή των 150 MHz, το 1969 η συχνότητα λειτουργίας τους ανήλθε στα 450 MHz.

1.2 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η υιοθέτηση του κυψελοειδούς ασύρματου τηλεφωνικού συστήματος εξελίχθηκε ουσιαστικά λόγω των διαφόρων περιορισμών που είχαν τα πρώτα Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών, όπως αναφέραμε προηγουμένως. Σκοπός του συστήματος ήταν να κάνει αποδοτικότερη χρήση του ραδιοφάσματος για να εξυπηρετεί ένα ταχέως αυξανόμενο αριθμό χρηστών για υπηρεσίες κινητής επικοινωνίας. Σε αντίθεση με τα πρώτα Συστήματα Κινητών Τηλεπικοινωνιών, οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας λειτουργούν με πλήρως αμφίδρομο τρόπο και είναι πάντοτε συνδεδεμένες με το δημόσιο σταθερό δίκτυο μεταγωγής.

Ο τρόπος λειτουργίας του κυψελοειδούς συστήματος ουσιαστικά ήταν ίδιος με αυτόν της λειτουργίας των πρώτων συστημάτων κινητών επικοινωνιών, ασύρματη μετάδοση που ανάλογα με την περίπτωση διαμορφωνόταν, κατά γωνία, συχνότητα ή φάση. Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στα πρώτα συστήματα και στα κυψελοειδή βρίσκεται στη αρχιτεκτονική διάταξη που χρησιμοποιούν και στη δομή τους. Το περιορισμένο για κινητές επικοινωνίες φάσμα, που αποτέλεσε και το κύριο λόγο δημιουργίας του κυψελοειδούς συστήματος, είχε σαν αποτέλεσμα να μπορεί να κάνει ταυτόχρονες κλήσεις μόνο ένα μικρό μέρος των συνδρομητών. Η τεχνική που χρησιμοποιούσαν τα συστήματα αυτά ήταν η τοποθέτηση μια υψηλής ισχύος κεραίας στο ανώτερο σημείο της γεωγραφικής περιοχής που ήταν προς κάλυψη, με έκταση 70-90 Km. Αυτή η μέθοδος όμως τελικά δεν αποτέλεσε ικανοποιητική λύση καθώς παρότι καλυπτόταν μια αρκετά μεγάλη περιοχή ο αριθμός των καναλιών που ήταν διαθέσιμα δεν ήταν επαρκής για την εξυπηρέτηση των συνδρομητών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το περιστατικό στη Νέα Υόρκη όπου η εταιρεία Bell Mobile χρησιμοποιώντας το σύστημα που προαναφέραμε παρείχε στους συνδρομητές της μόνο 12 κανάλια ομιλίας για όλη την περιοχή της Νέας Υόρκης (παραπάνω από 20.000.000) με 543 πελάτες και 3.700 σε λίστα αναμονής.

Αντίθετα, με την χρησιμοποίηση του κυψελοειδούς συστήματος αντί για να έχουμε μια κεραία μεγάλης ισχύος που είναι υπεύθυνη για την κάλυψη μια αρκετά μεγάλης περιοχής με μικρό αριθμό καναλιών, χρησιμοποιούμε ένα μεγάλο αριθμό χαμηλής ισχύος κεραιών που είναι υπεύθυνες για την κάλυψη πολύ μικρότερων περιοχών, οι οποίες περιοχές ονομάζονται κελιά (cells). Επομένως με τη μείωση των περιοχών κάλυψης και με τη δημιουργία μεγάλου αριθμού μικρών κυψελών επιτυγχάνεται η επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων, άρα και η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος. Όσο

μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κυψελών που αναπτύσσουμε για την κάλυψη μιας περιοχής τόσο περισσότεροι συνδρομητές θα μπορούν να καλούν ταυτόχρονα. Βέβαια δεν είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση των ίδιων συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες, καθώς αυτό θα οδηγούσε σε σοβαρή υποβάθμιση του σήματος λόγω ομοκαναλικής παρεμβολής. Για να δούμε την διαφορά και την βελτίωση που έχουμε με το κυψελοειδές σύστημα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το προηγούμενο παράδειγμα της Νέας Υόρκης, όπου αν η εταιρεία Bell Mobile χρησιμοποιούσε πολλές κεραιές χαμηλής ισχύος, με βάση ότι κάθε κυψέλη θα εξακολουθούσε να έχει 12 κανάλια, τότε υποθέτοντας πως έχουμε 100 κυψέλες για την κάλυψη της περιοχής, θα είχαμε συνολικά 1.200 συνδρομητές που θα μπορούσαν ταυτόχρονα να πραγματοποιούν κλήσεις.

Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετώπιζε το κυψελοειδές σύστημα, όπως αναφέραμε παραπάνω, ήταν η εμφάνιση του φαινομένου της παρεμβολής στις κλήσεις λόγω της χρησιμοποίησης των ίδιων συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες. Λύση στο πρόβλημα αυτό έδωσε η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε γειτονικές κυψέλες καθώς απαιτούνταν μία σχετική απόσταση μεταξύ τους κάτι το οποίο έδινε την δυνατότητα της χρήσης ίδιων συχνοτήτων σε διαφορετικά μέρη της πόλης.

Το μέγεθος της απόστασης μεταξύ των κυψελών που ήταν απαραίτητο για να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων εξαρτιόταν από την σχεδίαση του εκάστοτε κυψελοειδούς συστήματος. Τα προβλήματα που αναφέραμε δεν εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ των κυψελών αλλά ουσιαστικά είναι ανάλογα της απόστασης μεταξύ των γειτονικών κυψελών και της ακτίνας της κυψέλης. Η ισχύς του σταθμού βάσης, που ρυθμίζεται από τους μηχανικούς όπως και ο αριθμός των καναλιών στο σύστημα, καθορίζει την ακτίνα κάθε κυψέλης, δηλαδή αν σε ένα πλέγμα κυψελών η κάθε κυψέλη έχει ακτίνα 20 Km και επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων σε κυψέλες που η μεταξύ τους απόσταση είναι 50 Km, τότε ανάλογα σε ένα άλλο πλέγμα που η ακτίνα είναι 10 Km η επιτρεπτή απόσταση για επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων μεταξύ κυψελών είναι τα 25 Km. Με δεδομένο ότι η ισχύς των κεραιών μεταβάλλεται ανάλογα διαπιστώνουμε πως με τη μείωση της ισχύς του σταθμού βάσης μικραίνει η ακτίνα των κυψελών με αποτέλεσμα την μείωση της απόστασης όπου μπορεί να γίνει επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων. Το σημαντικότερο βέβαια είναι να υπάρχει και ανάλογη αύξηση του αριθμού των καναλιών για ταυτόχρονες κλήσεις, κάτι που αποτελεί όμως αυξημένο κόστος επενδύσεων για τις εταιρείες και κάνει κατανοητό το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει ο όσο δυνατόν αποδοτικότερος σχεδιασμός του Συστήματος.

1.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Η πρώτη γενιά κυψελοειδούς συστημάτων κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1980. Παρότι υπήρξαν πολλά πρότυπα δεν επικράτησε κάποιο συγκεκριμένο. Αναλυτικότερα, στην Αγγλία το Total Access Communication System (TACS) στα 900 MHz, στη Σκανδιναβία το Nordic Mobile Telephone (NMT), στην Ιαπωνία το Nippon Automatic Mobile Telephone System (NAMTS) και στις Η.Π.Α. το Advanced Mobile Phone System (AMPS) στα 850 MHz. Θα πρέπει να σημειωθεί πως τα πρότυπα αυτά δεν ήταν συμβατά μεταξύ τους. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούσαν τεχνικές αναλογικής μετάδοσης κάνοντας χρήση διαμόρφωσης FM και παρείχαν υπηρεσίες αμφίδρομης αναλογικής τηλεφωνίας.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 κάνουν την εμφάνιση τους τα κυψελοειδή συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς όπου αντίθετα με τα πρώτης γενιάς η μετάδοση που χρησιμοποιούν είναι ψηφιακή βασισμένα στη τεχνική πρόσβασης TDMA (Time Division Multiple Access). Οι δυνατότητες των δικτύων δεύτερης γενιάς είναι πολύ μεγαλύτερες σε σύγκριση με αυτές της πρώτης γενιάς. Συγκεκριμένα, ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς χρήστες (είτε με διαίρεση χρόνου είτε με διαίρεση κώδικα). Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κελιών, δηλαδή η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells (κελιά μεγάλης έκτασης), microcells (κελιά μικρής έκτασης) και picocells (κελιά περιορισμένης έκτασης κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα), με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων.

Τα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς είναι τέσσερα. Το Digital AMPS (D-AMPS), το CDMA (Code Division Multiple Access) IS-95, το PDC (Personal Digital Cellular) και το πιο αντιπροσωπευτικό που είναι το ευρωπαϊκό πρότυπο GSM (Global System Mobile). Το GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Παρόλα αυτά, το 2001 η Βόρεια Αμερική αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA). Προκειμένου να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικάνικες εταιρίες που χρησιμοποιούσαν το D-AMPS έχουν υιοθετήσει ήδη το σύστημα GSM/GPRS. Το σύστημα GSM λειτουργεί στη περιοχή των 900 MHz αν και υπάρχουν αρκετά παράγωγα που χρησιμοποιούν τις συχνότητες των 1800 ή 1900 MHz.

Αυτό γίνεται λόγω της έλλειψης χωρητικότητας στη ζώνη των 900 MHz, όπου αντίθετα στις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz υπάρχει η δυνατότητα εξυπηρέτησης πολύ μεγαλύτερου αριθμού χρηστών, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτό βέβαια έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της περιοχής κάλυψης σε σύγκριση με τα συστήματα που λειτουργούν στη ζώνη των 900 MHz .

Λίγο μετά την εμφάνιση της δεύτερης γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας παρουσιάζεται η γενιά 2.5 που ουσιαστικά αποτελεί ένα σύνολο αναβαθμίσεων που εφαρμόστηκαν πάνω στα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις είναι ίδιες με αυτές των δικτύων τρίτης γενιάς που θα δούμε στη συνέχεια. Παρόλο που οι διαφορές είναι πολύ μικρές ανάμεσα στις δύο γενιές (δεύτερη γενιά και 2.5), υπάρχουν κάποιες τεχνολογίες που ξεχωρίζουν και χαρακτηρίζουν την γενιά 2.5. Συγκεκριμένα οι τεχνολογίες είναι η High-Speed Circuit-Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

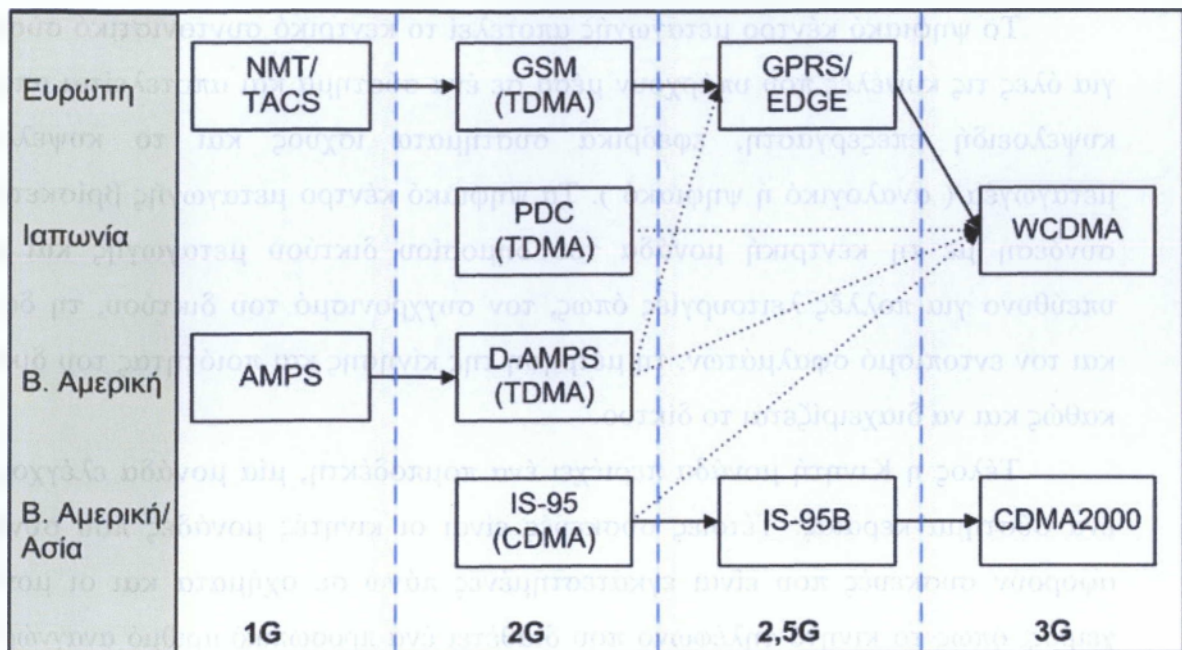
Αρχικά το GSM αντιμετώπισε προβλήματα με τους αρκετά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης που περιορίζονταν στα 9.6 Kbps που αργότερα ενώ προτάθηκαν οι προδιαγραφές για 14.4 Kbps δεν χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Για να δοθεί λύση σε αυτό το πρόβλημα εφαρμόστηκε η τεχνολογία HSCSD όπου ο χρήστης είχε στη διάθεση του όχι μία αλλά περισσότερες χρονοσχισμές (timeslots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Δηλαδή, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί το ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοσχισμή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή, όμως απαιτούσε την υλοποίηση πρόσθετου λογισμικού στα κέντρα όπως και νέες φορητές συσκευές που να υποστηρίζουν τη συγκεκριμένη τεχνολογία. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα όμως ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος που είχε σαν αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού γινόταν δέσμευση των χρονοσχισμών ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιούταν η χωρητικότητά τους.

Η επόμενη τεχνολογία που εφαρμόστηκε ήταν το GPRS. Με την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας μπορούσαν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης της τάξεως των 115 Kbps ή και παραπάνω με προϋπόθεση την αγνόηση της διόρθωσης των σφαλμάτων. Η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τη τεχνολογία μεταγωγής πακέτων, δηλαδή μόνο στη περίπτωση που υπάρχει η ανάγκη αποστολής/λήψης δεδομένων δεσμεύει πόρους του δικτύου. Το κύριο μειονέκτημα του GPRS είναι το αρκετά μεγάλο κόστος υλοποίησης που έχει σε σύγκριση με αυτό του HSCSD. Παρόλα αυτά όμως παρέχει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες όσο αφορά την αποστολή δεδομένων μέσω κινητών δικτύων και το καθιστά αναπόσπαστο κομμάτι ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας.

Τέλος η Τρίτη αναβάθμιση που εφαρμόστηκε ήταν η EDGE. Η κύρια ιδέα πίσω από την EDGE είναι μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8PSK). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επιπλέον, μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

Η ταχύτατη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών που σημειώθηκε την δεκαετία του 1990 ήταν άξια προσοχής. Έτσι αμέσως μετά την λειτουργία του πρώτου εμπορικού δικτύου GSM στη Φιλανδία το 1991, το Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Προτύπων Τηλεπικοινωνιών (ETSI) ξεκίνησε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Από τη προτυποποίηση αυτή προέκυψε το σύστημα Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Παράλληλα με το UMTS και άλλοι οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, παρουσίασαν παρόμοια συστήματα όπως το CDMA2000 στις ΗΠΑ. Αυτά τα δύο συστήματα είναι και τα σημαντικότερα της τρίτης γενιάς και άρχισαν να κάνουν την εμφάνιση τους στις αρχές της δεκαετίας του 2000.

Σκοπός των δικτύων τρίτης γενιάς είναι ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετείται οπουδήποτε ανεξάρτητα του αν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς καθώς θα μπορεί να εξυπηρετείται από άλλου είδους ασύρματα συστήματα όπως οικιακά ασύρματα συστήματα, άλλα κυβελωτά κινητά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα. Επίσης από τη στιγμή που η μετάδοση φωνής και δεδομένων σε μικρές ταχύτητες είναι κάτι το αυτονόητο, οι στόχοι επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και υπηρεσίες πολυμέσων, όπως ζωντανή μετάδοση ήχου, εικόνας, βίντεο κ.λ.π., με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που προβλέπεται να ξεκινούν από 144 Kbps και να φτάνουν έως και τα 2 Mbps ξεπερνώντας κατά πολύ τα ήδη προηγμένα GPRS και HSCSD. Επίσης άλλος ένας στόχος είναι η ποιότητα της μεταδιδόμενης φωνής να είναι αντίστοιχη με αυτή της σταθερής τηλεφωνίας.



Εικόνα 1. Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελωτά κινητά δίκτυα έως το 3G.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.1. ΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το κυψελοειδές σύστημα κινητής τηλεφωνίας αποτελείται από τρία κύρια μέρη: την κυψέλη, το ψηφιακό κέντρο μεταγωγής (ΨΚΜ) και την κινητή μονάδα του συνδρομητή (ΚΜ).

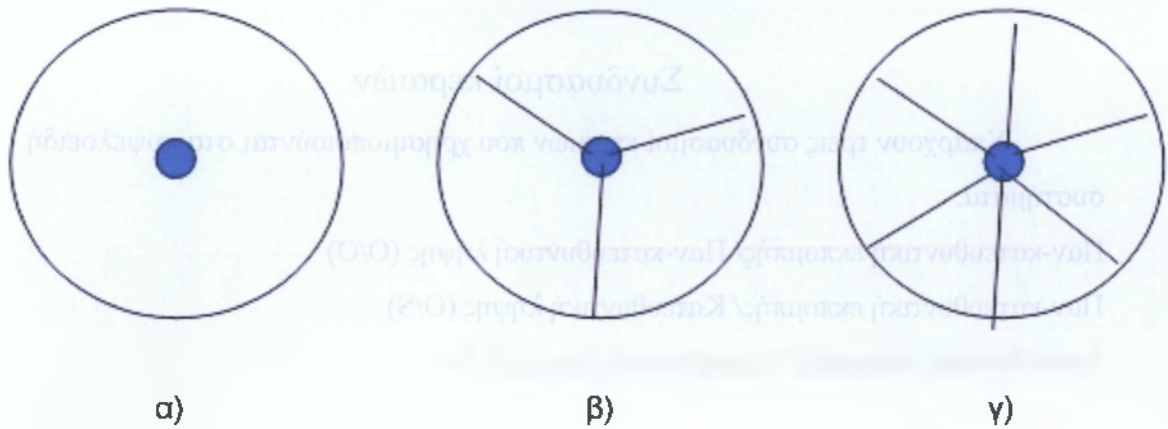
Η κυψέλη όπως αναφέραμε και προηγουμένως αποτελεί τη μικρότερη περιοχή που προκύπτει από τη διαίρεση της γεωγραφικής περιοχής στην οποία αναπτύσσονται οι υπηρεσίες κινητών επικοινωνιών και συνήθως παρουσιάζεται με εξάγωνο σχήμα. Στο κέντρο της κυψέλης, σε κάποιο ψηλό σημείο, τοποθετείται ο Σταθμός Βάσης (ΣΒ) που αποτελείται από τη κεραία λήψης και εκπομπής. Ο Σταθμός Βάσης επικοινωνεί με όλες τις Κινητές Μονάδες που βρίσκονται στην περιοχή κάλυψης της συγκεκριμένης κυψέλης και είναι βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία και σύνδεση με το ψηφιακό κέντρο μεταγωγής του συστήματος.

Το ψηφιακό κέντρο μεταγωγής αποτελεί το κεντρικό συντονιστικό σύστημα για όλες τις κυψέλες που υπάρχουν μέσα σε ένα σύστημα και αποτελείται από τον κυψελοειδή επεξεργαστή, εφεδρικά συστήματα ισχύος και το κυψελοειδή μεταγωγέα (αναλογικό ή ψηφιακό). Τα ψηφιακό κέντρο μεταγωγής βρίσκεται σε σύνδεση με τη κεντρική μονάδα του δημοσίου δικτύου μεταγωγής και είναι υπεύθυνο για πολλές λειτουργίες όπως, τον συγχρονισμό του δικτύου, τη δοκιμή και τον εντοπισμό σφαλμάτων, τη μέτρηση της κίνησης και ποιότητας του δικτύου καθώς και να διαχειρίζεται το δίκτυο.

Τέλος η Κινητή μονάδα περιέχει ένα πομποδέκτη, μία μονάδα ελέγχου και ένα σύστημα κεραίας. Τέτοιες συσκευές είναι οι κινητές μονάδες που συνήθως αφορούν συσκευές που είναι εγκατεστημένες πάνω σε οχήματα και οι μονάδες χειρός, όπως το κινητό τηλέφωνο που διαθέτει ένα προσωπικό αριθμό αναγνώρισης, τον **IMEI** (International Mobile Equipment Identity) και είναι εφοδιασμένο με τη κάρτα **SIM** η οποία διαθέτει έναν αριθμό τον **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) ο οποίος χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του χρήστη από το σύστημα.

2.2. ΚΕΡΑΙΕΣ ΣΤΟ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ

Στα κυψελοειδή συστήματα υπάρχουν δύο κύριοι τύποι κεραιών που χρησιμοποιούνται., οι κατευθυντικές κεραιές (sector directional) που εκπέμπουν ή λαμβάνουν αποδοτικότερα προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση και οι παν-κατευθυντικές (omni directional) οι οποίες εκπέμπουν ή λαμβάνουν εξίσου αποδοτικά προς όλες τις κατευθύνσεις. Για να υπάρξει πλήρη κάλυψη του οριζόντιου χώρου (360°) μέσω κατευθυντικών κεραιών χρησιμοποιούνται δύο κύριοι σχηματισμοί. Ο πρώτος σχηματισμός περιλαμβάνει 3 κατευθυντικές κεραιές (3-sectors) όπου κάθε μία ξεχωριστά εκπέμπει και λαμβάνει υπό γωνία 120° και ο δεύτερος σχηματισμός ο οποίος περιλαμβάνει 6 κεραιές οι οποίες εκπέμπουν και λαμβάνουν υπό γωνία 60° (6-sector configuration) .



Εικόνα 2. α) Παν-κατευθυντική κεραία, β) κατευθυντική σε τρεις τομείς, γ) κατευθυντική σε έξι τομείς.

Χωρική διαφορικότητα κεραιών

Η χωρική διαφορικότητα των κεραιών είναι μία τεχνική η οποία εφαρμόζεται στις κεραιές λήψης, εξαιτίας της πολυοδικής μετάδοσης των σημάτων από τη κεραία εκπομπής προς τη κεραία λήψης και αναφέρεται στη χρήση παραπάνω κεραιών στους σταθμούς βάσης και στις κινητές μονάδες. Η πολυοδική μετάδοση των σημάτων εμφανίζεται κατά τη μετάδοση των σημάτων προς τη κεραία λήψης, το σήμα ανακλάται από διάφορα εμπόδια που συναντά στη διαδρομή του, όπως δέντρα και κτήρια. Με βάση τη τεχνική της χωρικής διαφορικότητας γίνεται τοποθέτηση δύο κεραιών λήψης από τις οποίες τα σήματα τα οποία λαμβάνονται σε κάθε μία, συγκρίνονται και τέλος επιλέγεται αυτό με την καλύτερη ποιότητα. Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) μπορεί να αυξηθεί μέσω σύγχρονων τεχνικών επεξεργασίας σήματος και προηγμένων ηλεκτρονικών λαμβάνοντας υπόψη ότι ο θόρυβος των λαμβανόμενων σημάτων στις δύο κεραιές του διαφορικού συστήματος έχει τυχαίες μεταβολές, ενώ το σήμα επικοινωνίας έχει τις ίδιες μεταβολές και στις δύο (ή περισσότερες) κεραιές του συστήματος.

Με χωρική διαφορικότητα στις κεραιές λήψης λειτουργούν οι σταθμοί βάσεις όπως επίσης και πολλές κινητές μονάδες συνδρομητών λειτουργούν με δύο κεραιές λήψης κάτι το οποίο είναι απαραίτητο σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως μεγάλα αστικά κέντρα καθώς υπάρχουν πολλά εμπόδια που εμποδίζουν τη διάδοση των σημάτων.

Συνδυασμοί κεραιών

Υπάρχουν τρεις συνδυασμοί κεραιών που χρησιμοποιούνται στα κυψελοειδή συστήματα:

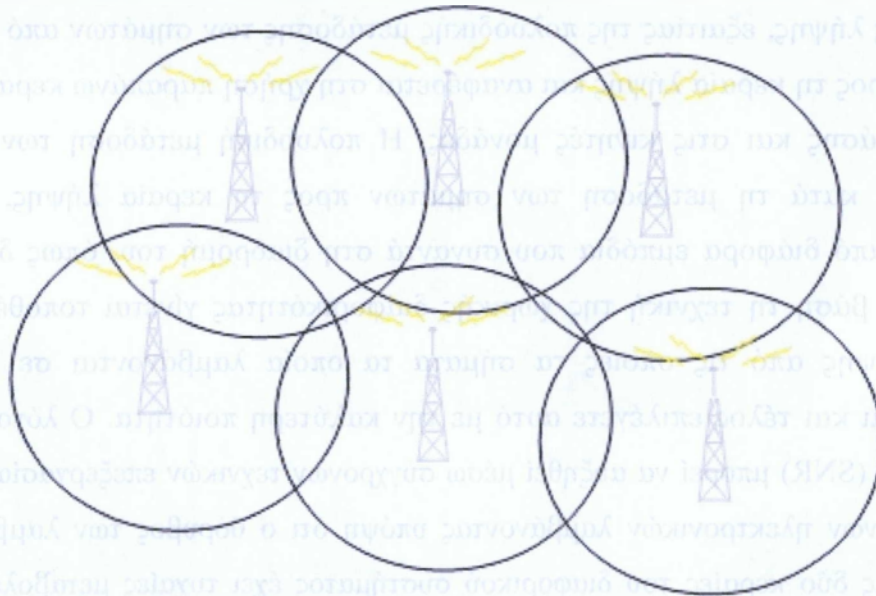
Παν-κατευθυντική εκπομπής/ Παν-κατευθυντική λήψης (O/O)

Παν-κατευθυντική εκπομπής/ Κατευθυντική λήψης (O/S)

Κατευθυντική εκπομπής/ Κατευθυντική λήψης (S/S)

2.3. ΣΧΗΜΑ ΚΥΨΕΛΗΣ

Το ουσιαστικό σχήμα μιας κυψέλης που περιέχει παν-κατευθυντικές κεραιές με ομοιόμορφο λοβό εκπομπής προς όλες τις κατευθύνσεις, είναι κυκλικό. Αυτό βέβαια αποτελεί πρόβλημα στη σχεδίαση καθώς όλοι οι Σταθμοί Βάσης εκπέμπουν με την ίδια ισχύ, που σημαίνει πως έχουν την ίδια εμβέλεια με αποτέλεσμα να δημιουργούνται περιοχές αλληλοεπικάλυψης όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3. Περιοχές αλληλοεπικάλυψης.

Έτσι αντί αυτή της σχεδίασης οι κυψέλες σχεδιάζονται με μορφή κανονικού εξαγώνου, καθώς αποτελεί την καλύτερη προσέγγιση της κυκλικής σχεδίασης αφού δεν αφήνει κενά ή αλληλεπικαλυπτόμενες περιοχές και βοηθά σημαντικά στην απλοποίηση των διαφόρων υπολογισμών. Έτσι από σχεδιαστική άποψη η εξαγωνική γεωμετρία είναι η πλέον ενδεδειγμένη και που χρησιμοποιείται στη πράξη.

2.4. ΕΙΔΗ ΚΥΨΕΛΩΝ

Ανάλογα με το μέγεθος τους οι κυψέλες μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

- **Κυψέλες μέγιστης κάλυψης (overlay cells):** Η ακτίνα τους εκτείνεται σε απόσταση μερικών χιλιάδων χιλιομέτρων και συναντώνται σε δορυφορικά συστήματα κινητών δικτύων.
- **Υπέρ-κυψέλες (Hyper-cells):** Έχουν ακτίνα 20 Km και σχεδιάζονται για περιοχές με μικρή πυκνότητα πληθυσμού, κυρίως αγροτικές περιοχές.
- **Μακρό-κυψέλες (Macro-cells):** Έχουν ακτίνα από 1-20 Km και χρησιμοποιούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως τα δίκτυα πόλεων.
- **Μικρο-κυψέλες (Micro-cells):** Έχουν ακτίνα από 100m - 1 Km και παρέχουν κάλυψη σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
- **Πικο-κυψέλες (Pico-cells):** Έχουν ακτίνα μικρότερη των 100m και παρέχουν κάλυψη σε εσωτερικών χώρων, κτηρίων, πλοίων, κτλ.

2.5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΨΕΛΗΣ

2.5.1. ΡΑΔΙΟ-ΚΑΝΑΛΙΑ (RADIO-CHANNELS)

Σ' ένα κυψελοειδές σύστημα κινητής τηλεφωνίας η επικοινωνία μεταξύ κινητής μονάδας και σταθμού βάσης πραγματοποιείται με χρήση ράδιο-καναλιών φωνής και σηματοδοσίας. Τα πρώτα μεταφέρουν σήματα φωνής ή δεδομένων (data) μιας τηλεπικοινωνιακής συνδιάλεξης του συνδρομητή. Τα δεύτερα μεταφέρουν δεδομένα σηματοδοσίας απαραίτητα για την αποκατάσταση, έλεγχο και διακοπή της κλήσης καθώς και ομαλής λειτουργίας του συστήματος. Επειδή οι επικοινωνίες στα κυψελοειδή σύστημα κινητής τηλεφωνίας είναι αμφίδρομες, κάθε κανάλι είναι ουσιαστικά διπλό: ένα μέρος για την μεταφορά της πληροφορίας από τον σταθμό βάσης προς την κινητή μονάδα (κατεύθυνση προώθησης- forward direction) και το άλλο για την μεταφορά πληροφορίας από την κινητή μονάδα προς τον σταθμό βάσης (ανάστροφη κατεύθυνση-reverse direction). Για παράδειγμα, στο σύστημα GSM διατίθεται φάσμα στη ζώνη των 890-915 MHz για την ανάστροφη κατεύθυνση και 935-960 MHz για την κατεύθυνση προώθησης. Έτσι σε κάθε κανάλι επικοινωνίας η κατεύθυνση προώθησης με την ανάστροφη κατεύθυνση έχουν διαφορά συχνότητας 45 MHz.

2.5.2 ΚΑΝΑΛΙΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ

Η επιτυχής ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ σταθμού βάσης και κινητής μονάδας προϋποθέτει τη χρήση ράδιο-καναλιών που ονομάζονται κανάλια σηματοδοσίας (signalling channels) ή κανάλια ελέγχου (control channels).

Όπως αναφέραμε παραπάνω τα κινητά τηλέφωνα είναι σχεδιασμένα να μεταδίδουν πληροφορία σε μια συχνότητα και να δέχονται σε μια άλλη. Έτσι και κάθε κανάλι σηματοδοσίας αποτελείται από ζεύγος συχνοτήτων και διακρίνεται σε:

- Κανάλι προώθησης ελέγχου σηματοδοσίας- Forward Control Channel (FOCC) και
- Κανάλι αναστροφής ελέγχου - Reverse Control Channel (RECC).

Στην περίπτωση ψηφιακού κυψελοειδούς συστήματος κινητής τηλεφωνίας τα κανάλια σηματοδοσίας μεταφέρουν bits που ομαδοποιούνται σε λέξεις (bytes). Κάθε byte στην κατεύθυνση προώθησης αποτελείται στο GSM σύστημα, για παράδειγμα, από 40 bits και στην ανάστροφη κατεύθυνση από 48 bits.

2.5.3. ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η χωρητικότητα ενός κυψελοειδούς συστήματος κινητής τηλεφωνίας μπορεί γενικά να περιγραφεί είτε από τον αριθμό των διαθέσιμων για επικοινωνία ραδιοκαναλιών, είτε, ισοδύναμα, από τον αριθμό των συνδρομητών που το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει. Για την τελευταία περίπτωση λαμβάνουμε υπόψη ότι κάθε κλήση έχει μια μέση διάρκεια χρόνου και ότι δεν θα επιχειρήσουν όλοι οι συνδρομητές να μιλήσουν στο κινητό τους τηλέφωνο ταυτόχρονα. Ειδικότερα, η χωρητικότητα ενός συστήματος εξαρτάται από:

- Τον συνολικό αριθμό των ραδιοκαναλιών,
- Το μέγεθος της κάθε κυψέλης,
- Τη συχνότητα στο χώρο με την οποία επαναχρησιμοποιούμε τις συχνότητες λειτουργίας του συστήματος ή, ισοδύναμα, την απόσταση για την επαναχρησιμοποίηση μιας συχνότητας στο χώρο της γεωγραφικής κάλυψης του κυψελοειδούς συστήματος.

Ο συνολικός αριθμός των καναλιών φωνής που μπορεί να είναι διαθέσιμος στο κυψελοειδές σύστημα εξαρτάται από το συνολικό φάσμα που η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών μια χώρας έχει διαθέσει στο συγκεκριμένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και από το εύρος ζώνης του κάθε καναλιού. Μόλις γίνουν γνωστά τα δεδομένα αυτά ένα ολοκληρωμένο σχήμα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (frequency reuse pattern) αναπτύσσεται από τους μηχανικούς του δικτύου σύμφωνα με το οποίο θα επιτευχθεί μία

βέλτιστη αξιοποίηση των καναλιών στην προσπάθεια κάλυψης όλης της γεωγραφικής περιοχής στην οποία δραστηριοποιείται εμπορικά η εταιρεία κινητής τηλεφωνίας. Αυτό είναι στενά συνδεδεμένο με το μέγεθος της κυψέλης.

2.5.4. ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Η μικρότερη απόσταση στην οποία επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση μιας συχνότητας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Τον αριθμό των κυψελών που γειτνιάζουν άμεσα με μια κυψέλη.
- Τη μορφολογία του εδάφους και του περιβάλλοντος χώρου γενικότερα.
- Το ύψος της κεραίας του σταθμού βάσης.
- Την εκπεμπόμενη ισχύ σε κάθε κυψέλη.

2.6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΥΨΕΛΗΣ

Οι βασικές λειτουργίες μιας κυψέλης διακρίνονται σε:

- Λειτουργίες αποκατάστασης μιας κλήσης.
- Εξασφάλιση της συνέχειας της κλήσης.
- Βέλτιστη κατανομή του τηλεπικοινωνιακού φορτίου στις κυψέλες μιας περιοχής.

Οι τηλεφωνικές κλήσεις που εκδηλώνονται σε μια κυψέλη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Κλήσεις ενός συνδρομητή του Κυψελοειδούς συστήματος κινητής τηλεφωνίας προς έναν συνδρομητή του σταθερού PSTN δικτύου.
- Κλήσεις ενός συνδρομητή του σταθερού PSTN δικτύου προς έναν συνδρομητή του Κυψελοειδούς συστήματος κινητής τηλεφωνίας δικτύου.
- Κλήσεις ενός συνδρομητή του Κυψελοειδούς συστήματος κινητής τηλεφωνίας προς έναν συνδρομητή του Κυψελοειδούς συστήματος κινητής τηλεφωνίας δικτύου.

2.6.1. ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΥΨΕΛΗΣ (CELL SPLITTING)

Στην προσπάθεια ικανοποίησης αυξημένου όγκου τηλεπικοινωνιακής κίνησης σε ώρες αιχμής, για παράδειγμα στο κέντρο μιας πόλης, μία λιγότερο δαπανηρή αλλά εφικτή προσέγγιση είναι η αξιοποίηση της ιδέας της διάσπασης της κυψέλης (cell splitting). Αντί να ξεκινήσει κανείς από την αρχή τη λειτουργία του κυψελοειδούς συστήματος κινητής

τηλεφωνίας με ένα μεγάλο αριθμό πολύ μικρών κυψελών, καλύτερη λύση αποδεικνύεται ότι είναι να ξεκινήσει με λιγότερες και μεγαλύτερες κυψέλες, εφόσον ο όγκος της τηλεφωνικής κίνησης είναι σχετικά χαμηλός. Όταν όμως κάποια ώρα της ημέρας αυξηθεί η τηλεπικοινωνιακή κίνηση (ώρες αιχμής) και η υπάρχουσα δομή δεν μπορεί να εξυπηρετήσει την κίνηση που εκδηλώνεται στην συγκεκριμένη κυψέλη, τότε αυτή να μπορεί να διαιρεθεί σε μικρότερες κυψέλες (ελαττώνοντας την ισχύ των σταθμών βάσης). Καλύπτοντας έτσι την περιοχή της αρχικής κυψέλης με έναν αριθμό μικρότερων κυψελών, ένα καινούργιο σχήμα επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων μπορεί να γεννηθεί στην αρχική κυψέλη, αυξάνοντας τελικά τον αριθμό των καναλιών που μπορούν να διατεθούν.

2.6.2. ΜΕΤΑΓΩΓΗ (HANDOVER)

Επειδή στη γενική περίπτωση ο συνδρομητής ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας μπορεί να βρίσκεται σε κίνηση, είναι πιθανό να διασχίσει το όριο μιας κυψέλης και να εισέλθει στην επόμενη χωρίς να έχει ολοκληρωθεί η κλήση. Είναι λοιπόν απαραίτητη η ανάπτυξη ενός μηχανισμού για τη μεταφορά-μεταγωγή (handover) μια κλήσης από μια κυψέλη σε άλλη σε τέτοιες περιπτώσεις χωρίς διακοπή της επικοινωνίας. Αυτό που σε γενικές γραμμές συμβαίνει είναι ότι καθώς το σήμα στον σταθμό βάσης της κυψέλης που βρίσκεται ο συνδρομητής εξασθενεί κάτω από κάποιο προκαθορισμένο όριο, το κέντρο ελέγχου του συστήματος που είναι το ψηφιακό κέντρο μεταγωγής (MSC) «διατάσσει» τους σταθμούς βάσης των γειτονικών κυψελών να μετρήσουν την ένταση του σήματος που λαμβάνουν από τον κινούμενο συνδρομητή. Η κυψέλη (σταθμός βάσης) στην οποία το σήμα του συνδρομητή λαμβάνεται ισχυρότερα αναλαμβάνει για την συνέχεια τη διεκπεραίωση της κλήσης του συνδρομητή. Η όλη διαδικασία κρατά κλάσματα του δευτερολέπτου και δεν γίνεται αντιληπτή από τον συνδρομητή αν πρόκειται για φωνητική κλήση. Για επικοινωνίες δεδομένων όμως μπορεί να υπάρξουν προβλήματα. Ο ακριβής μηχανισμός και οι λεπτομέρειες της διαδικασίας μεταγωγής εξαρτάται από το συγκεκριμένο κυψελοειδές σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Τέτοιες περιπτώσεις θα εξετάσουμε αναλυτικότερα σε παρακάτω κεφάλαια. Σημειώνουμε ότι επειδή διαφορετικές κυψέλες λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες κατά τη διαδικασία του handover θα πρέπει να γίνει και αλλαγή συχνότητας.

Πέρα από την χαμηλή ένταση του σήματος της κινητής μονάδας και άλλοι παράγοντες μπορούν να αποτελέσουν αιτία για μεταγωγή της κινητής μονάδας σε γειτονική κυψέλη. Τέτοιοι παράγοντες είναι η απόσταση της κινητής μονάδας από τον

σταθμό βάσης (πολλές φορές επιλέγεται ο πιο κοντινός σταθμός βάσης για την εξυπηρέτηση της κινητής μονάδας για την ελάττωση των παρεμβολών) και ο λόγος του σήματος προς το σήμα παρεμβολών. Όταν αυτός σε συγκεκριμένη κυψέλη είναι απαγορευτικά μεγάλος η κινητή μονάδα μεταγεται σε γειτονική κυψέλη.

Για την πραγματοποίηση της μεταγωγής, τουλάχιστον στα αρχικά κυψελοειδή συστήματα, κεντρικό ρόλο διαδραματίζει το ψηφιακό κέντρο μεταγωγής (MSC). Αυτό τελικά αποφασίζει ποια κυψέλη θα δεχθεί την κινητή μονάδα αφού βέβαια συνεκτιμήσει την κατάσταση των γειτονικών κυψελών, π.χ. κάποια κυψέλη μπορεί να μην έχει διαθέσιμα ελεύθερα κανάλια φωνής. Το MSC μετρά σε τακτά χρονικά διαστήματα την ένταση του σήματος της κινητής μονάδας και όταν αυτό πέσει κάτω από κάποιο όριο (κατώφλι) αρχίζει τότε η διαδικασία της μεταγωγής. Το MSC διατάσσει τον σταθμό βάσης της κυψέλης που εξυπηρετεί την κινητή μονάδα, αλλά και τους σταθμούς βάσης των γειτονικών κυψελών να μετρήσουν το σήμα της κινητής μονάδας και δέχεται τα αποτελέσματα. Για τη λήψη της τελικής απόφασης το MSC συνεκτιμά δύο παράγοντες: την ισχύ των σημάτων και την διαθεσιμότητα των ελεύθερων καναλιών φωνής σε κάθε κυψέλη. Εφόσον αποφασίσει για τη νέα κυψέλη εξυπηρέτησης τη ειδοποιεί με μήνυμα αποκατάστασης κλήσης. Η παλιά κυψέλη ειδοποιείται με μήνυμα μεταγωγής. Η κινητή μονάδα ειδοποιείται από τον σταθμό βάσης με μήνυμα έναρξης μεταγωγής καθώς και με το νέο κανάλι που θα συντονισθεί. Η μεταγωγή ολοκληρώνεται με τον επιτυχή συντονισμό της κινητής μονάδας στο νέο κανάλι.

Η λειτουργία της μεταγωγής όπως την περιγράψαμε παραπάνω δημιουργεί πρόβλημα στις μικρο-κυψέλες λόγω των μικρών σχετικά διαστάσεών τους. Όταν η κινητή μονάδα κινείται με μεγάλες σχετικά ταχύτητες, σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα παρουσιάζεται μεγάλη μεταβολή της έντασης του σήματος που λαμβάνει. Αυτό απαιτεί συχνότερη παρακολούθηση της έντασης του σήματος της κινητής μονάδας, γεγονός που οδηγεί σε υπερφόρτωση του δικτύου. Ως μέση λύση επιλέγεται η παρακολούθηση της έντασης της κινητής μονάδας όταν αυτή πέσει κάτω από ένα όριο που ορίζεται κατάλληλα. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για την κατάλληλη επιλογή του ορίου, γιατί αν το όριο είναι αρκετά υψηλό δεν θα γίνει μεταγωγή έγκαιρα και η κινητή μονάδα θα βρεθεί σε γειτονική κυψέλη με άμεσο τον κίνδυνο αυξημένης παρεμβολής σε διπλανές κυψέλες.

Μια εναλλακτική μέθοδος, στην προσπάθεια ελάττωσης του φορτίου των δεδομένων που αναφέρεται στη μεταγωγή αποτελεί και το να ανατεθεί στην κινητή μονάδα η ευθύνη της μέτρησης της έντασης του σήματος και της απόφασης για μεταγωγή. Στην μέθοδο αυτή οι αντίστοιχες κινητές μονάδες μετρούν περιοδικά την ένταση του σήματος που λαμβάνουν

και αποφασίζουν αντίστοιχα το αν θα ζητήσουν από το MSC μεταγωγή. Αυτές επίσης με κατάλληλο σήμα που αποστέλλουν στο MSC καθορίζουν και την στιγμή έναρξης της μεταγωγής. Το MSC έτσι δεν παρακολουθεί διαρκώς της κατάσταση του σήματος κάθε κινητής μονάδας και απαλλάσσεται από επιπλέον έργο.

Το μειονέκτημα βέβαια αυτής της προσέγγισης είναι ότι τώρα οι κινητές μονάδες πρέπει να εφοδιασθούν με περισσότερες λειτουργικές δυνατότητες πράγμα που έχει άμεσο αντίκτυπο στο μέγεθος τους και στο κόστος κατασκευής. Στα αναλογικά μάλιστα συστήματα όπου κάθε κανάλι αντιπροσωπεύει και διαφορετική συχνότητα η κατάσταση είναι πιο περίπλοκη μιας και η κινητή μονάδα πρέπει να εφοδιαστεί με διάφορους ταλαντωτές για να εκτελεί μετρήσεις σε διάφορες συχνότητες. Τα πράγματα είναι πιο εύκολα στο GSM όπου έχουμε μία συχνότητα και η πολυπλεξία καναλιών γίνεται σε χρονοθυρίδες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

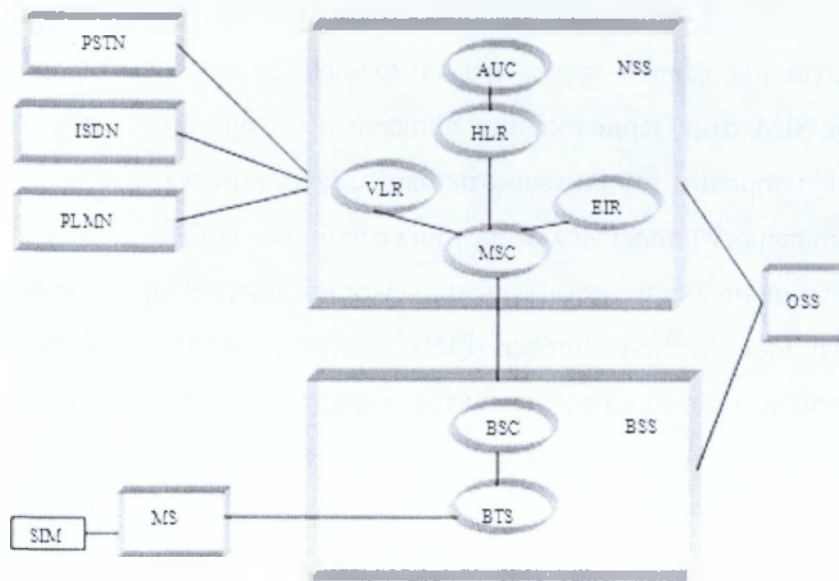
ΔΙΚΤΥΟ GSM

3.1. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GSM

Η δομή του δικτύου GSM μπορεί να αναλυθεί σε τέσσερα κύρια μέρη:

- Την Κινητή Μονάδα (ΚΜ) - Mobile Station (MS),
- Τον Σταθμό Βάσης (ΣΒ) - Base Station Subsystem (BSS),
- Το Σύστημα Δικτύου και Κόμβου Μεταγωγής - Network and Switching Subsystem (NSS),
- Το Σύστημα Λειτουργιών και Υποστήριξης - Operation and Support Subsystem (OSS).

Σαν σύγχρονο κυψελοειδές σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών το δίκτυο GSM μπορεί να διασυνδεθεί με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN) ή το δίκτυο ISDN, καθώς και με άλλα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (Public Land Mobile Networks -PLMN). Η αρχιτεκτονική του συστήματος GSM φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα :



Εικόνα 4. Αρχιτεκτονική δικτύου GSM.

3.1.1. ΚΙΝΗΤΗ ΜΟΝΑΔΑ (MOBILE – STATION, MS)

Η κινητή μονάδα αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία:

- Την κινητή συσκευή ή τερματική συσκευή,
- Τη Βαθμίδα Ταυτότητας Συνδρομητή - Subscriber Identity Module (SIM).

3.1.1.1. ΤΕΡΜΑΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τερματικών συσκευών που διακρίνονται μεταξύ τους κυρίως από την ισχύ εκπομπής/λήψης και τις εφαρμογές που υλοποιούν και διακρίνονται σε:

- Σταθερά τερματικά, είναι αυτά που είναι εγκατεστημένα μόνιμα σε αυτοκίνητα. Η μέγιστη ισχύς εκπομπής τους είναι περίπου 20 W.
- Μεταφερόμενα τερματικά, τα οποία επίσης μπορούν να εγκατασταθούν σε οχήματα. Η μέγιστη επιτρεπτή εκπεμπόμενη ισχύς τους είναι 8 W.
- Τερματικά χειρός, τα οποία είναι και τα πιο διαδεδομένα χάρη στο μικρό τους μέγεθος και βάρος. Τα τερματικά αυτά εκπέμπουν ισχύ που οι χαμηλότερη τιμή τους μπορεί να φθάσει και μέχρι τα 0.25 W.

3.1.1.2. ΒΑΘΜΙΔΑ ΤΑΥΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ (ΚΑΡΤΑ SIM)

Η κάρτα SIM είναι μια έξυπνη κάρτα που ταυτοποιεί τον συνδρομητή. Με το να εισαγάγει την κάρτα SIM στην τερματική του συσκευή ο συνδρομητής μπορεί να έχει πρόσβαση σ' όλες τις υπηρεσίες του δικτύου στις οποίες έχει εγγραφεί. Χωρίς την κάρτα SIM η τερματική συσκευή δεν μπορεί να λειτουργήσει στο δίκτυο GSM.

Η SIM προστατεύεται για λόγους ασφαλείας από έναν τετραψήφιο Προσωπικό Αριθμό Ταυτότητας (Personal Identification Number -PIN). Για να μπορέσει η κάρτα SIM να προβεί σε ταυτοποίηση του συνδρομητή στο δίκτυο, περιέχει διάφορες παραμέτρους του συνδρομητή όπως τον Διεθνή Αριθμό Ταυτότητας του Κινητού Συνδρομητή (International Mobile Subscriber Identity - IMSI).

Μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης της κάρτας SIM είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες τερματικές συσκευές, δίνοντας μεγάλη ευκινησία στον συνδρομητή του GSM δικτύου. Μπορούμε να πούμε πως το μόνο στοιχείο το οποίο προσωποποιεί την τερματική συσκευή είναι η κάρτα SIM. Έτσι λοιπόν ο συνδρομητής μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις υπηρεσίες που έχει εγγραφεί σε όποια τερματική συσκευή επιθυμεί χρησιμοποιώντας την ίδια προσωπική του κάρτα SIM.

3.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ (BSS)

Το Σύστημα Σταθμού Βάσης - Base Station Subsystem (BSS) συνδέει την κινητή μονάδα με το Σύστημα Δικτύου και Κόμβου Μεταγωγής (NSS). Είναι επιφορτισμένο με την εκπομπή και λήψη των ράδιο-σημάτων. Το BSS μπορεί να χωρισθεί σε δύο τμήματα:

- Ο Σταθμός Πομποδέκτη Βάσης ή απλά Σταθμός Βάσης - Base Transceiver Station (BTS) ή Base Station.
- Ο Ελεγκτής Σταθμού Βάσης -Base Station Controller (BSC).

3.1.2.1 Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗ ΒΑΣΗΣ (BTS)

Το σύστημα BTS αντιστοιχεί στον πομποδέκτη και την κεραία που χρησιμοποιείται σε κάθε κυψέλη του δικτύου. Το BTS συνήθως τοποθετείται στο κέντρο της κυψέλης και η εκπεμπόμενη ισχύς του καθορίζει και το μέγεθος της κυψέλης. Κάθε BTS έχει από έναν μέχρι δέκα έξι πομποδέκτες ανάλογα με την πυκνότητα των κινητών συνδρομητών της κυψέλης.

3.1.2.2. Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ (BSC)

Το BSC ελέγχει μία ομάδα από BTS και διαχειρίζεται το ράδιο-φάσμα που τους αντιστοιχεί. Το BSC είναι κυρίως επιφορτισμένο με τις λειτουργίες της μεταγωγής (handover), μεταπήδησης συχνοτήτων (frequency hopping), και έλεγχο των επιπέδων εκπομπής ισχύος των ράδιο-συχνοτήτων στο BTS.

3.1.3. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ (NSS)

Κύριος ρόλος τους είναι η διαχείριση των επικοινωνιών ανάμεσα στους συνδρομητές του κυψελοειδούς δικτύου καθώς και με άλλους συνδρομητές γενικότερα, όπως κινητούς συνδρομητές, συνδρομητές PSTN κλπ. Επίσης περιλαμβάνουν βάσεις δεδομένων που είναι απαραίτητες για την αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με τους συνδρομητές τους ώστε να μπορούν να διαχειριστούν με επιτυχία την μετακίνησή τους. Παρακάτω θα περιγράψουμε σύντομα τα διάφορα τμήματα του NSS.

3.1.3.1. MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER (MSC)

Το Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Υπηρεσιών-Mobile services Switching Center (MSC) είναι του κύριο στοιχείο του NSS. Το MSC διεκπεραιώνει όλες τις λειτουργίες μεταγωγής του δικτύου. Επίσης παρέχει διασύνδεση με άλλα δίκτυα.

3.1.3.2. GATEWAY MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER (GMSC)

Η Πύλη Μεταγωγής Κινητών υπηρεσιών - Gateway Mobile services Switching Center (GMSC) είναι ουσιαστικά ένας κόμβος (ψηφιακό κέντρο) που διασυνδέει δύο κέντρα διαφορετικών δικτύων. Το GMSC είναι ουσιαστικά η διεπαφή για τη διασύνδεση του κυψελοειδούς δικτύου με το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας PSTN ή δίκτυο GSM άλλης εταιρείας. Είναι επιφορτισμένο με τη δρομολόγηση των κλήσεων από το σταθερό δίκτυο στον συνδρομητή του GSM και αντίστροφα. Το GMSC συνήθως υλοποιείται μηχανικά από το ίδιο hardware με αυτό του MSC. Απλώς είναι ενισχυμένο με επί πλέον λογισμικό (π.χ. για έκδοση λογαριασμών μεταξύ GSM και PSTN δικτύου κλπ.)

3.1.3.3. HOME LOCATION REGISTER (HLR)

Η Οικεία Βάση Δεδομένων-Home Location Register (HLR) είναι μία από τις σπουδαιότερες βάσεις δεδομένων του δικτύου, η οποία αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες για τους συνδρομητές που ανήκουν στην περιοχή που εξυπηρετεί το αντίστοιχο MSC.

Επίσης περιέχει την τρέχουσα θέση αυτών των συνδρομητών, καθώς και κατάλογο των υπηρεσιών στις οποίες έχουν εγγραφεί. Η θέση των συνδρομητών είναι καταχωρημένη στον HLR με τη μορφή της διεύθυνσης στο αντίστοιχο πεδίο της σηματοδοσίας No7 του VLR (περιγράφεται παρακάτω) που εξυπηρετεί τον συνδρομητή.

3.1.3.4. VISITOR LOCATION REGISTER (VLR)

Το VLR περιέχει τις απαραίτητες εκείνες πληροφορίες από το αντίστοιχο HLR στο οποίο ανήκει ο κινητός συνδρομητής που επισκέπτεται το χώρο ευθύνης του MSC, ώστε να του παραχθούν οι υπηρεσίες που του αναλογούν. Όταν ένας συνδρομητής επισκέπτεται το χώρο ευθύνης ενός MSC, τότε ο VLR αυτού του MSC ζητά πληροφορίες για το νέο επισκέπτη-συνδρομητή από το αντίστοιχο HLR που είναι καταγεγραμμένος ο συνδρομητής. Το VLR θα έχει καταγεγραμμένες στις μνήμες του αρκετές πληροφορίες για τον συνδρομητή, ώστε να μην χρειάζεται κάθε φορά που ο συνδρομητής ζητά κάποια υπηρεσία (π.χ. σύνδεση, εισερχόμενη κλήση κλπ.) να ρωτά το οικείο του HLR.

Το VLR υλοποιείται πάντα μαζί με το MSC. Έτσι η περιοχή ευθύνης ενός MSC ταυτίζεται επίσης με την περιοχή ευθύνης του αντίστοιχου VLR.

3.1.3.5. AUTHENTICATION CENTER (AuC)

Το κέντρο πιστοποίησης (AuC) είναι απαραίτητο για λόγους ασφάλειας. Παρέχει τις παραμέτρους εκείνες που είναι απαραίτητες για λειτουργίες πιστοποίησης και κρυπτογράφησης. Οι παράμετροι αυτοί βοηθούν στην επιβεβαίωση της ταυτότητας του συνδρομητή.

3.1.3.6. EQUIPMENT IDENTITY REGISTER (EIR)

Η Βάση δεδομένων καταχώρησης της ταυτότητας συσκευής (EIR) επίσης χρησιμοποιείται για λόγους ασφαλείας. Είναι μία βάση δεδομένων που περιέχει στοιχεία ταυτότητας των κινητών συσκευών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα περιέχει έναν κατάλογο με όλες τις έγκυρες συσκευές. Κάθε κινητή συσκευή καθορίζεται από το Διεθνή Αριθμό Κινητής Συσκευής - International Mobile Equipment Identity (IMEI). Το EIR έχει τη δυνατότητα να απαγορεύει κλήσεις από και προς τις κλεμμένες ή μη πιστοποιημένες συσκευές (π.χ. συσκευές που δεν υπακούουν στις πιστοποιημένες τιμές για την ισχύ εκπομπής ραδιοσυχνότητας).

3.1.3.7. GSM INTERWORKING UNIT (GIWU)

Η μονάδα GIWU ουσιαστικά παρέχει διασύνδεση του δικτύου GSM με διάφορα άλλα δίκτυα επικοινωνίας δεδομένων. Κατά τη διάρκεια τέτοιων επικοινωνιών η μετάδοση φωνής και δεδομένων μπορεί να εναλλάσσεται.

3.1.4. ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το Σύστημα λειτουργιών και Υποστήριξης - Operations and Support Subsystem (OSS) διασυνδέεται με τα διάφορα τμήματα του NSS και του BSC για να μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί το δίκτυο GSM. Επίσης είναι επιφορτισμένο να ελέγχει το φορτίο κίνησης του BSS.

Ο διαρκώς αυξανόμενος αριθμός των Σταθμών Βάσης, λόγω της ανάπτυξης των κυψελοειδών δικτύων, προκάλεσε κάποιες από τις λειτουργίες συντήρησης να μεταφερθούν από το OSS στο ίδιο το BTS. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να ελαττωθεί σημαντικά το κόστος συντήρησης του συστήματος.

3.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ GSM

Υπάρχουν πέντε κύριες λειτουργίες που χαρακτηρίζουν το δίκτυο GSM, αυτές είναι:

- Μετάδοση (Transmission).
- Διαχείριση Ράδιο-φάσματος (Radio Resources management-- RR).
- Διαχείριση Κινητικότητας (Mobility Management - MM).
- Διαχείριση επικοινωνιών (Communication Management -CM).
- Λειτουργία, Διοίκηση και Συντήρηση (Operation, Administration and Maintenance - OAM).

3.2.1. ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Οι λειτουργίες της μετάδοσης περιλαμβάνουν δύο υπό-λειτουργίες:

- Η πρώτη συνδέεται με τα μέσα που απαιτούνται για τη μετάδοση πληροφοριών που αφορούν το συνδρομητή.
- Η δεύτερη σχετίζεται με τα μέσα που χρειάζονται για τη μετάδοση πληροφοριών σηματοδοσίας.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι δεν συνδέονται όλα τα τμήματα του GSM με λειτουργίες μετάδοσης. Για παράδειγμα η κινητή μονάδα, το BTS και το BSC ανάμεσα στα άλλα έχουν άμεση σχέση με τη λειτουργία της μετάδοσης. Από την άλλη μεριά βάσεις δεδομένων όπως οι HLR, VLR, ή το EIR σχετίζονται με τη μετάδοση πληροφοριών σηματοδοσίας (signalling information) σε άλλα τμήματα του δικτύου GSM.

3.2.2. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΑΔΙΟ-ΦΑΣΜΑΤΟΣ (RADIO RESOURCES MANAGEMENT – RR)

Ο ρόλος της λειτουργίας της διαχείρισης του ράδιο-φάσματος είναι να αποκαταστήσει ή να διακόψει τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις ανάμεσα στη κινητή μονάδα και στο MSC. Τα στοιχεία του GSM που συνδέονται άμεσα με τη λειτουργία RR είναι η κινητή μονάδα και ο σταθμός βάσης. Επειδή οι λειτουργίες RR είναι επιφορτισμένες με τη διατήρηση της ζεύξης, ακόμη και όταν ο συνδρομητής κινείται και εισέρχεται από τη μία κυψέλη σε άλλη, και το MSC, που είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή (handover), μπορεί να θεωρηθεί ότι επίσης συμμετέχει στις λειτουργίες RR.

Οι λειτουργίες RR είναι επίσης υπεύθυνες και για τη διαχείριση αυτού καθ' εαυτού του φάσματος των συχνοτήτων και για την αντίδραση του δικτύου σε ενδεχόμενη μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος των ραδιοεπικοινωνιών γενικότερα. Μερικές από τις κύριες διαδικασίες που οι λειτουργίες RR είναι επίσης υπεύθυνες είναι:

- Εκχώρηση ράδιο-καναλιών, αλλαγή και απελευθέρωση (διακοπή).
- Μεταγωγή (Handover).
- Μεταπήδηση συχνοτήτων (Frequency hopping).
- Έλεγχος επιπέδων εκπομπής ισχύος.
- Ασυνεχής μετάδοση και λήψη.
- Συγχρονισμός.

3.2.2.1. ΜΕΤΑΓΩΓΗ (HANDOVER)

Η μετακίνηση του συνδρομητή μπορεί να δημιουργήσει την ανάγκη για αλλαγή κυψέλης που τον εξυπηρετεί, όταν η ποιότητα της επικοινωνίας ελαττωθεί σημαντικά. Η διαδικασία αυτή της αλλαγής κυψέλης ονομάζεται, όπως έχουμε δει στα προηγούμενα, μεταγωγή (handover). Τέσσερις διαφορετικοί τύποι μεταγωγής μπορούν να καταχωρηθούν:

- Μεταγωγή καναλιών στην ίδια κυψέλη.
- Μεταγωγή σε κυψέλες που ελέγχονται από το ίδιο BSC.
- Μεταγωγή σε κυψέλες που ελέγχονται μεν από το ίδιο MSC αλλά ανήκουν σε διαφορετικά BSCs.
- Μεταγωγή σε κυψέλες που ανήκουν σε διαφορετικά MSCs.

Οι μεταγωγές ελέγχονται κυρίως από το MSC. Παρόλα αυτά βέβαια για να αποφύγουμε περιττές ανταλλαγές σημάτων σηματοδοσίας, οι πρώτοι δύο τύποι μεταγωγών ελέγχονται από το αντίστοιχο BSC (στην περίπτωση αυτή το MSC απλώς ενημερώνεται για τη μεταγωγή στο τέλος).

Η κινητή μονάδα είναι πάντα ο ενεργός παίκτης στην διαδικασία της μεταγωγής. Για την εκπλήρωση της μεταγωγής η κινητή μονάδα ελέγχει συνεχώς την ένταση του σήματος που λαμβάνει από τον σταθμό βάσης της κυψέλης που ανήκει καθώς και από τις γειτονικές κυψέλες. Ο κατάλογος των κυψελών που μπορεί να παρακολουθεί η κινητή μονάδα δίνονται σ' αυτήν από τον σταθμό βάσης. Οι μετρήσεις στην ένταση του σήματος που εκτελεί η κινητή μονάδα της επιτρέπουν να αποφασίσει ποια είναι η καλύτερη κυψέλη για την εξυπηρέτησή της ώστε να διατηρεί συνεχώς ικανοποιητικό επίπεδο επικοινωνίας.

Δύο κύριοι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται στο GSM για τη μεταγωγή:

- Ο αλγόριθμος της «ελάχιστης αποδεκτής επίδοσης». Όταν η ποιότητα της μετάδοσης ελαττωθεί (δηλ. η ένταση του σήματος πέσει σε αρκετά χαμηλά επίπεδα), το επίπεδο ισχύος της κινητής μονάδας αυξάνει. Αυτό γίνεται μέχρις ότου η αύξηση της ισχύος εκπομπής της κινητής μονάδας παύει να έχει θετική επίπτωση στην ποιότητα του σήματος. Όταν αυτό συμβαίνει λαμβάνει χώρα μεταγωγή.
- Ο αλγόριθμος «προϋπολογισμού ισχύος». Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτόν επιχειρείται μεταγωγή άμεσα, χωρίς αυξήσεις στα επίπεδα εκπομπής της ισχύος της κινητής μονάδας. Αυτό γίνεται για να διατηρείται πάντα το καλό επίπεδο στην ποιότητα της τηλεπικοινωνίας.

3.2.3. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η λειτουργία της διαχείρισης κινητικότητας (Mobility Management - MM) έχει να κάνει με όλα τα θέματα που προκύπτουν λόγω της μετακίνησης του συνδρομητή. Ιδίως σχετίζεται με τη διαχείριση της θέσης του κινητού συνδρομητή, την πιστοποίησή του και την ασφάλεια της επικοινωνίας του.

3.2.3.1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΘΕΣΗΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ

Όταν ο συνδρομητής ανοίξει την συσκευή του για λειτουργία, τότε αμέσως λαμβάνει χώρα η διαδικασία ενημέρωσης της θέσης του στο δίκτυο με το να αποστείλει προς το δίκτυο τον αριθμό ταυτότητά του IMSI. Η πρώτη διαδικασία ενημέρωσης της θέσης του συνδρομητή καλείται «διαδικασία επισύναψης του IMSI».

Η κινητή μονάδα επίσης προβαίνει σε ενημέρωση της τρέχουσας θέσης της όταν μετακινείται σε κάποια νέα υπέρ-κυψέλη, ή σε κάποιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (PLMN) άλλης εταιρείας. Το μήνυμα με την ενημερωμένη θέση του κινητού συνδρομητή αποστέλλεται στο νέο MSC/VLR που έχει τώρα την ευθύνη του συνδρομητή, και αυτό με τη σειρά του το αποστέλλει τελικά στο HLR που έχει την ευθύνη καταχώρησης των στοιχείων του συνδρομητή. Εάν τώρα η κινητή μονάδα εξακολουθεί να κινείται και εισέλθει στο χώρο ευθύνης ενός νέου MSC/VLR, τότε το HLR του συνδρομητή μόλις ενημερωθεί για τη νέα θέση του συνδρομητή, ακυρώνει την καταγραφή με το προηγούμενο MSC. Έτσι το HLR διατηρεί πάντα μόνο μία καταγραφή με την πλέον πρόσφατη ενημέρωση για τη θέση του συνδρομητή.

Η ενημέρωση της θέσης του συνδρομητή γίνεται επίσης περιοδικά. Εάν μετά την συγκεκριμένη χρονική περίοδο η κινητή μονάδα δεν ενημερώσει το δίκτυο για την θέση της, τότε ξεγράφεται από αυτό (θεωρείται ως ανενεργή). Όταν ο συνδρομητής κλείσει την ισχύ της συσκευής του, εκτελείται η «διαδικασία αποσύνδεσης του IMSI», ώστε να ειδοποιηθεί το δίκτυο ότι η κινητή μονάδα δεν είναι πλέον συνδεδεμένη σ' αυτό.

3.2.3.2. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η διαδικασία πιστοποίησης περιλαμβάνει την κάρτα SIM και το Κέντρο Πιστοποίησης (AuC). Ένα μυστικό κλειδί, αποκλειστικό για τον κάθε συνδρομητή είναι αποθηκευμένο στην κάρτα SIM και στο AuC, και ένας αλγόριθμος κρυπτογράφησης (ciphering algorithm) που καλείται A3 χρησιμοποιείται για να πιστοποιήσει την αυθεντικότητα του

συνδρομητή. Η κινητή μονάδα και το Κέντρο Πιστοποίησης υπολογίζουν ένα μήνυμα SRES (Signed Result) χρησιμοποιώντας το κρυπτογραφικό κλειδί, τον αλγόριθμο A3 και έναν τυχαίο αριθμό που παράγεται από το AuC. Αν τα δύο μηνύματα που υπολογίστηκαν είναι τα ίδια, ο συνδρομητής πιστοποιείται για επικοινωνία στο δίκτυο. Επίσης ελέγχονται αμέσως μετά και οι διάφορες υπηρεσίες στις οποίες έχει πρόσβαση ο συνδρομητής.

Μια άλλη διαδικασία ασφάλειας είναι να ελεγχθεί η ταυτότητα της συσκευής του συνδρομητή. Εάν ο αριθμός IMEI της κινητής μονάδας πιστοποιηθεί επιτυχώς από το EIR, τότε η συγκεκριμένη κινητή μονάδα επιτρέπεται να χρησιμοποιήσει το δίκτυο GSM και να συνδεθεί σ' αυτό.

Για να επιβεβαιωθεί η εμπιστευτικότητα του συνδρομητή, ο συνδρομητής καταχωρείται με μια Προσωρινή Ταυτότητα Κινητού Συνδρομητή - Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI), αμέσως μετά την πρώτη επιτυχή καταχώρηση της θέσης του από το δίκτυο.

3.2.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Η λειτουργία της διαχείρισης της επικοινωνίας (Communication Management—CM) είναι υπεύθυνη για:

- Έλεγχο κλήσεων.
- Διαχείριση Πρόσθετων Υπηρεσιών (Supplementary Services).
- Διαχείριση Σύντομων Μηνυμάτων (Short Message Services ---SMS).

3.2.5. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ, ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η διαδικασία της Λειτουργίας Διοίκησης και Συντήρησης (Operation Administration and Maintenance - OAM) επιτρέπει τον διαχειριστή του συστήματος να παρακολουθεί και να ελέγχει το σύστημα, καθώς και να τροποποιεί και τις παραμέτρους λειτουργίας (configuration) του συστήματος. Στο σύστημα OAM ανήκουν και οι λειτουργίες των OSS, αλλά και των BSS και NSS όπως περιγράφουμε παρακάτω:

- Τα στοιχεία των BSS και NSS παρέχουν στον διαχειριστή όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται. Αυτή η πληροφορία κατόπιν περνά στο OSS, το οποίο έχει και την ευθύνη να τις αναλύσει ώστε να ελέγξει τη λειτουργία και την κατάσταση του δικτύου.
- Οι λειτουργίες αυτό-ελέγχου (self test tasks), που συνήθως είναι ενσωματωμένες στα ίδια τα BSS και NSS, συνεισφέρουν και αυτές στις λειτουργίες του OAM.

- Το BSC, το οποίο όπως αναφέραμε ελέγχει διάφορα BTSs, εκτελεί λειτουργίες του OAM. Οι λειτουργίες αυτές μάλιστα εκτελούνται εκτός OSS.

3.3. Η ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΕΠΑΦΗ ΤΟΥ GSM

Η ασύρματη (radio) διεπαφή είναι η διεπαφή μεταξύ της ΚΜ και της σταθερής υποδομής του δικτύου (ΣΒ). Είναι μια από τις πλέον σπουδαιότερες διεπαφές του GSM και εναλλακτικά μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί το φυσικό επίπεδο (physical layer) στη διασύνδεση ΚΜ-ΣΒ.

Μια από τις κύριες επιδιώξεις του GSM συστήματος είναι η υποστήριξη της λειτουργίας της περιαγωγής (roaming), ώστε να είναι εφικτή λοιπόν η πλήρης ελευθερία κινήσεων του συνδρομητή. Έτσι, για να επιτευχθεί πλήρης συμβατότητα ανάμεσα στις διάφορες ΚΜ της αγοράς και τα δίκτυα GSM διαφόρων εταιρειών κατασκευής και λειτουργίας (operators), η ασύρματη διεπαφή πρέπει να ορισθεί πλήρως και να πιστοποιηθεί (standardized) για όλους τους εμπλεκόμενους στη βιομηχανία των κινητών τηλεπικοινωνιών.

Η αποτελεσματικότητα στην αξιοποίηση του φάσματος των συχνοτήτων εξαρτάται άμεσα από την ασύρματη διεπαφή και τη μετάδοση του σήματος και έχει άμεσες επιπτώσεις στη χωρητικότητα του συστήματος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ασύρματης διεπαφής περιγράφονται παρακάτω.

3.3.1. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Δύο ζώνες συχνοτήτων των 25 MHz η κάθε μια, έχουν διατεθεί για το GSM σύστημα. Μεταξύ των δύο αυτών ζωνών υπάρχει ένα κενό παράθυρο των 20 MHz και συγκεκριμένα:

- Η ζώνη από 890-915 MHz έχει διατεθεί για την ανάστροφη (uplink) κατεύθυνση, δηλαδή για μετάδοση από την κινητή μονάδα προς τον σταθμό βάσης.
- Η ζώνη από 935-960 MHz έχει διατεθεί για την κατεύθυνση προώθησης (downlink), δηλ. για μετάδοση από τον σταθμό βάσης προς την κινητή μονάδα.

Απλά αναφέρουμε ότι δεν είναι εφικτή η αξιοποίηση όλου του φάσματος των 25 MHz σ' όλες τις χώρες που έχουν GSM δίκτυα, γιατί προηγούμενα κυψελοειδή αναλογικά συστήματα της πρώτης γενιάς χρησιμοποιούν ήδη ένα μέρος του φάσματος των 25MHz, ενώ σε κάποιες ενδεχομένως να υπάρχουν περιορισμοί από ήδη ανεπτυγμένες στρατιωτικές εφαρμογές.

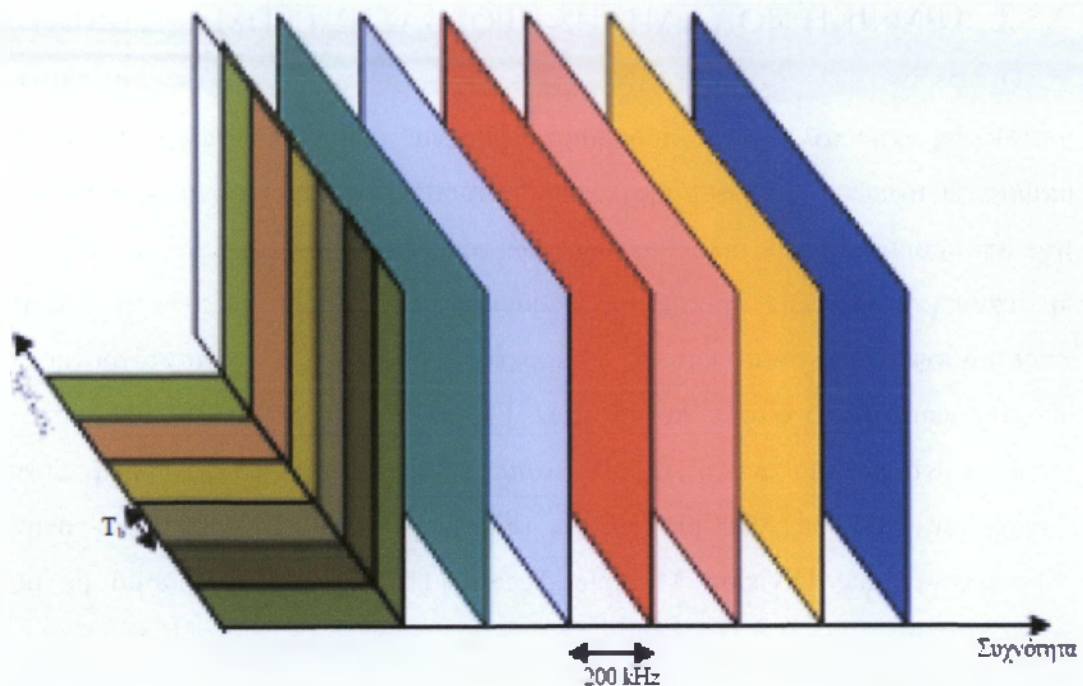
3.3.2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (FDMA - TDMA)

Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης σ' ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο γενικότερα καθορίζει το πώς διάφοροι χρήστες του δικτύου έχουν ταυτόχρονη πρόσβαση στο δίκτυο για την υλοποίηση των τηλεπικοινωνιακών τους αναγκών. Στο GSM δίκτυο συγκεκριμένα η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης καθορίζει το πώς διάφορες κινητές μονάδες, που ενδεχομένως βρίσκονται και σε διαφορετικές κυψέλες, έχουν ταυτόχρονη επικοινωνία διαμοιραζόμενες το φάσμα συχνοτήτων. Για το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης στο GSM έχει υιοθετηθεί μια μείξη της Πολλαπλής Πρόσβασης στη Περιοχή Συχνοτήτων - Frequency Division Multiple Access (FDMA), Πολλαπλή Πρόσβαση στην Περιοχή Χρόνου -- Time Division Multiple Access (TDMA), σε συνδυασμό με μεταπήδηση συχνοτήτων.

3.3.2.1. FDMA – TDMA

Στην γενική χρήση της τεχνικής FDMA μία συχνότητα διατίθεται σε κάθε χρήστη. Έτσι λοιπόν καθώς αυξάνει όλο και περισσότερο ο αριθμός των χρηστών σ' ένα σύστημα FDMA, πρέπει ανάλογα να αυξάνει και ο αριθμός των διαθέσιμων συχνοτήτων. Το γεγονός ότι είναι περιορισμένο το φάσμα το συχνοτήτων που διατίθεται, σε συνδυασμό με το ότι ο χρήστης δεν θα απελευθερώσει τη συχνότητα παρά μόνο όταν τελειώσει τη συνομιλία του, εξηγεί γιατί ο αριθμός των ταυτόχρονων χρηστών ενός συστήματος FDMA γρήγορα φθάνει στο όριο.

Από την άλλη μεριά, στο σύστημα πρόσβασης TDMA οι χρήστες μοιράζονται την ίδια συχνότητα, αλλά κάθε χρήστης έχει πρόσβαση σ' αυτήν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (time slot ή burst-ριπή). Δηλαδή η τεχνική FDMA εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, αλλά τώρα κάθε συχνότητα επί πλέον διαιρείται σε χρονοθυρίδες (time slots) ή ριπές οι οποίες και διατίθενται στους χρήστες. Αυτός ο συνδυασμός της TDMA στο πλαίσιο της FDMA που έχουμε στο GSM φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 5.



Εικόνα 5. Οι διάφορες συχνότητες στην τεχνική FDMA απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα και απέχουν 200kHz μεταξύ τους, ενώ στην περιοχή χρόνου οι χρονοθυρίδες (time slots) που διατίθενται στους διάφορους χρήστες (TDMA) έχουν διάρκεια T_b και φαίνονται επίσης με διαφορετικά χρώματα. Η διαίρεση στην περιοχή χρόνου δείχνεται για την απλότητα του σχήματος μόνο στην πρώτη συχνότητα αλλά το ίδιο ισχύει και για τις άλλες.

Στο GSM η κάθε ζώνη των 25 MHz διαιρείται σε 124 φέρουσες συχνότητες στο σχήμα του FDMA, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 200 kHz. Κανονικά η ζώνη των 25 MHz μπορεί να μας δώσει 125 φέρουσες συχνότητες αλλά η πρώτη φέρουσα χρησιμοποιείται ως ζώνη φύλαξης (guard band) ανάμεσα στο GSM και σε άλλες ασύρματες υπηρεσίες που λειτουργούν σε χαμηλότερες συχνότητες. Το πρώτο ζευγάρι των φέρουσων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι οι συχνότητες 890,2 MHz και 935,2 MHz, έχοντας απόσταση μεταξύ τους 45 MHz. Κάθε κυψέλη του δικτύου GSM μπορεί να έχει από 1 μέχρι 15 ζευγάρια συχνοτήτων και κάθε φέρουσα συχνότητα πολυπλέκεται στο χρόνο σε 8 χρονοθυρίδες (time slots) ή ριπές (bursts). Η χρονοθυρίδα ή ριπή είναι ουσιαστικά η μονάδα του χρόνου στο TDMA σχήμα και διαρκεί (όπως θα δούμε αναλυτικότερα παρακάτω) 0,577 ms περίπου. 8 χρονοθυρίδες στη σειρά σχηματίζουν ένα πλαίσιο TDMA που έχει διάρκεια 4,615 ms.

3.3.3. ΔΟΜΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ

Οι φέρουσες συχνότητες (carriers) μαζί με τις αντίστοιχες χρονοθυρίδες τους αποτελούν τα φυσικά κανάλια του GSM δικτύου. Το ράδιο-σύστημα στηρίζεται σ' ένα αριθμό λογικών καναλιών, κάθε ένα από τα οποία έχει συγκεκριμένη λειτουργία και πρέπει με κάποιον τρόπο να αντιστοιχηθεί σε ένα από τα φυσικά κανάλια. Υπάρχουν δύο κατηγορίες λογικών καναλιών:

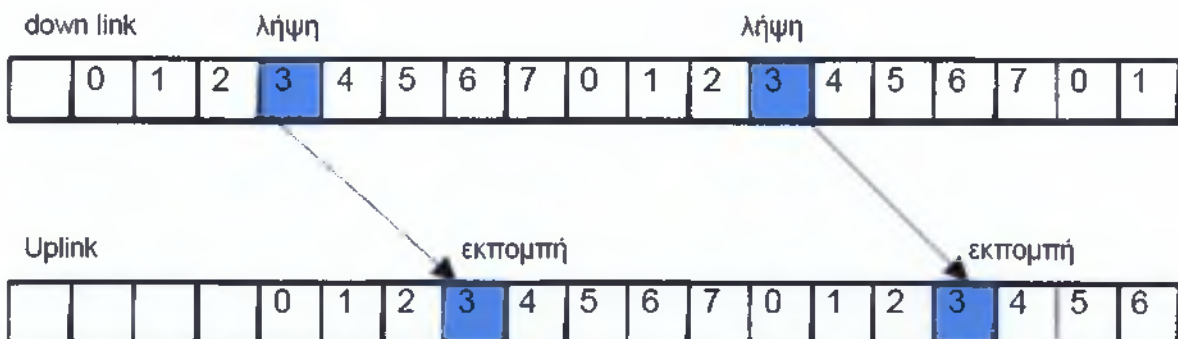
- Κανάλια Τηλεπικοινωνιακής Κίνησης (Traffic Channels -TCH), για μεταφορά φωνής ή δεδομένων.
- Κανάλια Σηματοδοσίας (ή ελέγχου) - Signalling or Control Channels (CCH), για μεταφορά μηνυμάτων διαχείρισης του δικτύου και μερικά κανάλια για λειτουργίες συντήρησης.

3.3.3.1 ΚΑΝΑΛΙΑ ΚΙΝΗΣΗΣ (TRAFFIC CHANNELS – TCH)

Διακρίνονται σε:

- κανάλια κανονικής ταχύτητας (full rate TCH),
- κανάλια μισής ταχύτητας (half rate TCH).

Τα κανάλια κίνησης για εκπομπή και λήψη (uplink και downlink) διαχωρίζονται μεταξύ τους με 3 χρονοθυρίδες διαφορά (εικόνα 6). Αυτό γίνεται για να μην είναι υποχρεωμένη η κινητή μονάδα να εκπέμπει και να λαμβάνει την ίδια χρονική στιγμή, πράγμα που απλοποιεί σημαντικά τα ηλεκτρονικά της συστήματα.



Εικόνα 6. Στην κινητή μονάδα έχει διατεθεί το κανάλι που αντιστοιχεί στη ριπή 3. Η εκπομπή και λήψη γίνεται από το ίδιο κανάλι αλλά με διαφορά 3 ριτών.

3.3.3.2 ΚΑΝΑΛΙΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ (CONTROL CHANNELS - CCH)

Διακρίνονται σε:

- **Broadcast Channels (BCH)**

Χρησιμοποιούνται από τον σταθμό βάσης για να μεταφέρουν στην κινητή μονάδα τις πληροφορίες εκείνες που χρειάζεται ώστε να συντονισθεί σωστά με το δίκτυο.

Τρεις διαφορετικοί τύποι BCH καναλιών μπορούν να περιγραφούν:

1. Broadcast Control Channel (BCCH): Μεταφέρουν στην ΚΜ τις παραμέτρους εκείνες που χρειάζεται να ανιχνεύσει σωστά και να προσπελάσει το δίκτυο.
2. Synchronization Channel (SCH): Μεταφέρουν στην ΚΜ ακολουθία από bits (training sequence) απαραίτητα να αποδιαμορφώσει την πληροφορία που μεταδίδεται από τον ΣΒ.
3. Frequency Correction Channel (FCCH): Παρέχει στη κινητή μονάδα τη συχνότητα μεταφοράς του δικτύου ώστε να συντονισθεί σωστά με αυτό.

- **Common Control Channel (CCCH)**

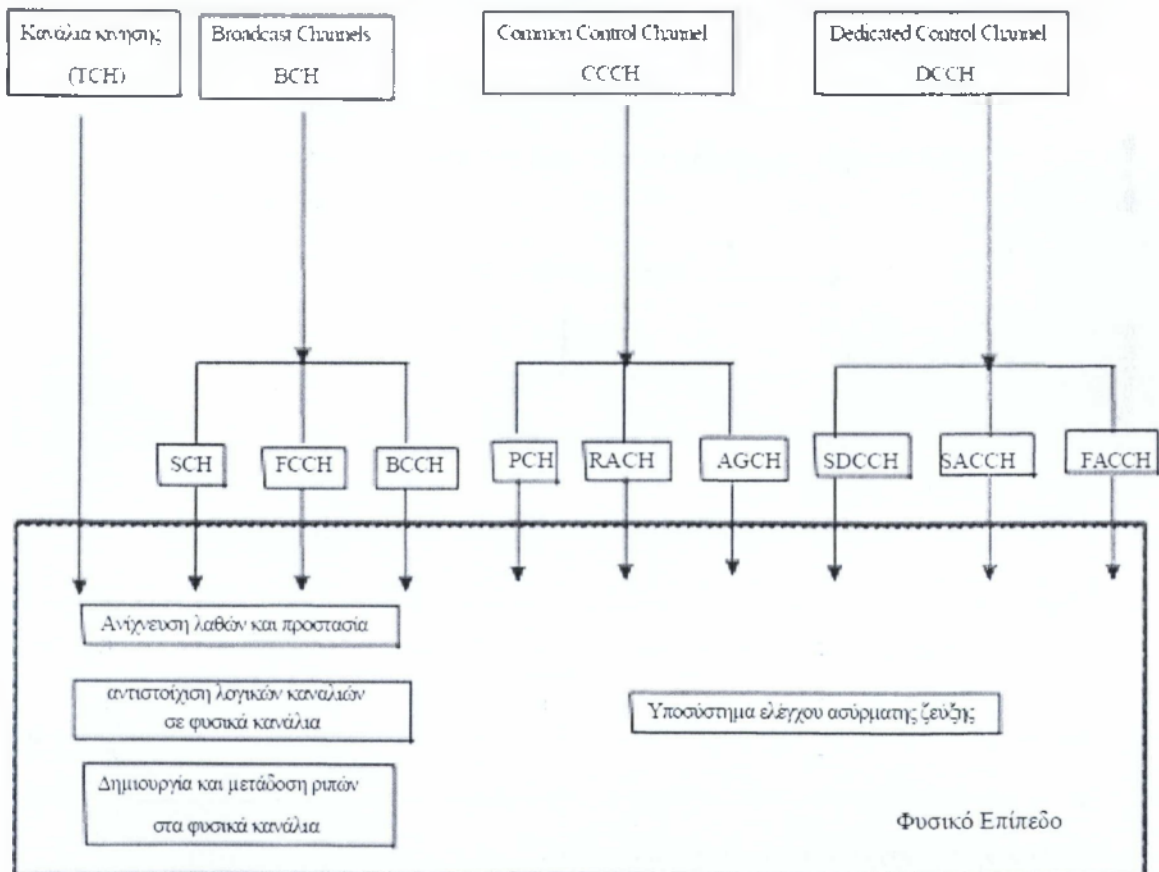
Τα CCCH κανάλια ελέγχου βοηθούν στην αποκατάσταση της κλήσης από την ΚΜ ή από κάποιον συνδρομητή άλλου δικτύου. Μπορούν να ορισθούν τρεις διαφορετικοί τύποι CCCH καναλιών:

1. Το Paging Channel (PCH). Χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει την ΚΜ για εισερχόμενη κλήση.
2. Το Random Access Channel (RACH) ή κανάλι τυχαίας πρόσβασης στην ελληνική του μετάφραση. Χρησιμοποιείται από την ΚΜ να αιτηθεί πρόσβαση στο δίκτυο.
3. Το Access Grant Channel (AGCH) ή κανάλι αποδοχής πρόσβασης. Χρησιμοποιείται από το ΣΒ για ειδοποιήσει την ΚΜ ποιο κανάλι φωνής πρέπει να χρησιμοποιήσει για την κλήση της. Το κανάλι αυτό ουσιαστικά είναι η απάντηση του ΣΒ στο κανάλι RACH που χρησιμοποίησε η ΚΜ.

- **Dedicated Control Channel (DCCH)**

Τα DCCH κανάλια χρησιμοποιούνται για ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ διαφόρων ΚΜ, ή μεταξύ μιας ΚΜ και του δικτύου. Δύο διαφορετικοί τύποι DCCH καναλιών μπορούν να ορισθούν:

1. Το Standalone Dedicated Control Channel (SDCCH), το οποίο χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή μηνυμάτων σηματοδότησης στην κατεύθυνση προώθησης (downlink) και στην ανάστροφη (uplink) κατεύθυνση.
 2. Το Slow Associated Control Channel (SACCH). Χρησιμοποιείται για τη συντήρηση και τον έλεγχο των καναλιών.
- **Associated Control Channels**
 Διακρίνουμε το Fast Associated Control Channel (FACCH), το οποίο αντικαθιστά όλα ή μέρος από ένα κανάλι κίνησης (TCH) όταν επείγουσα πληροφορία σηματοδότησης πρέπει να μεταδοθεί. Το FACCH μεταφέρει την ίδια πληροφορία με το SDCCH κανάλι.

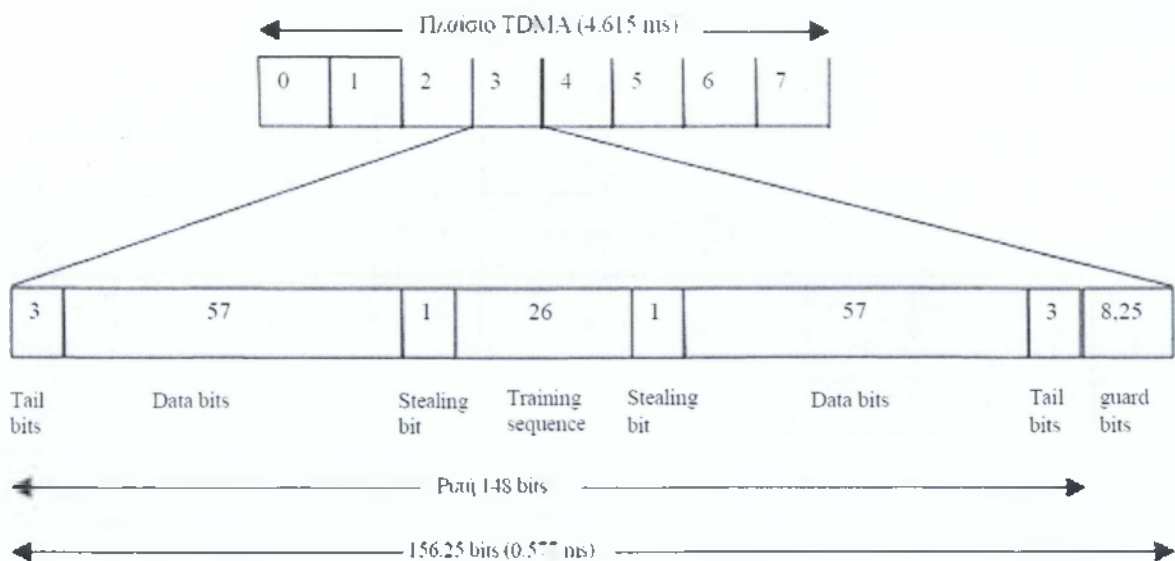


Εικόνα 7. Αντιστοίχιση λογικών καναλιών σε φυσικά κανάλια στο GSM.

3.3.4. ΔΟΜΗ ΡΙΠΩΝ (BURST STRUCTURE)

Η ριπή (ή χρονοθυρίδα -time slot) είναι η μονάδα του χρόνου στο σύστημα TDMA. Στο GSM μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερις τύπους ριπών:

- Κανονική ριπή (normal burst). Χρησιμοποιείται για να μεταφέρει πληροφορίες φωνής ή δεδομένων. Διαρκεί $120/(26 \times 8)$ ms που είναι περίπου 0,577 ms, έχει μήκος 156.25 bits (148 bits+8.25 guard bits).
- Ριπή διόρθωσης-συχνότητας (frequency-correction burst). Χρησιμοποιείται από το κανάλι FCCH, έχει το ίδιο μήκος με την κανονική ριπή αλλά διαφορετική δομή.
- Ριπή συγχρονισμού (synchronization burst). Χρησιμοποιείται από το κανάλι SCH, έχει και αυτή το ίδιο μήκος με την κανονική ριπή αλλά διαφορετική δομή.
- Ριπή τυχαίας πρόσβασης (random access burst). Χρησιμοποιείται από το κανάλι RACH και έχει μικρότερο μήκος από την κανονική ριπή.



Εικόνα 8. Δομή κανονικής ριπής στο σύστημα GSM.

Στην εικόνα 8 βλέπουμε τη δομή μιας κανονικής ριπής η οποία αποτελείται από 156.25 bits από τα οποία:

- Τα κωδικοποιημένα data bits αντιστοιχούν σε δύο ομάδες των 57 bits έκαστη (σύνολο 114 bits).

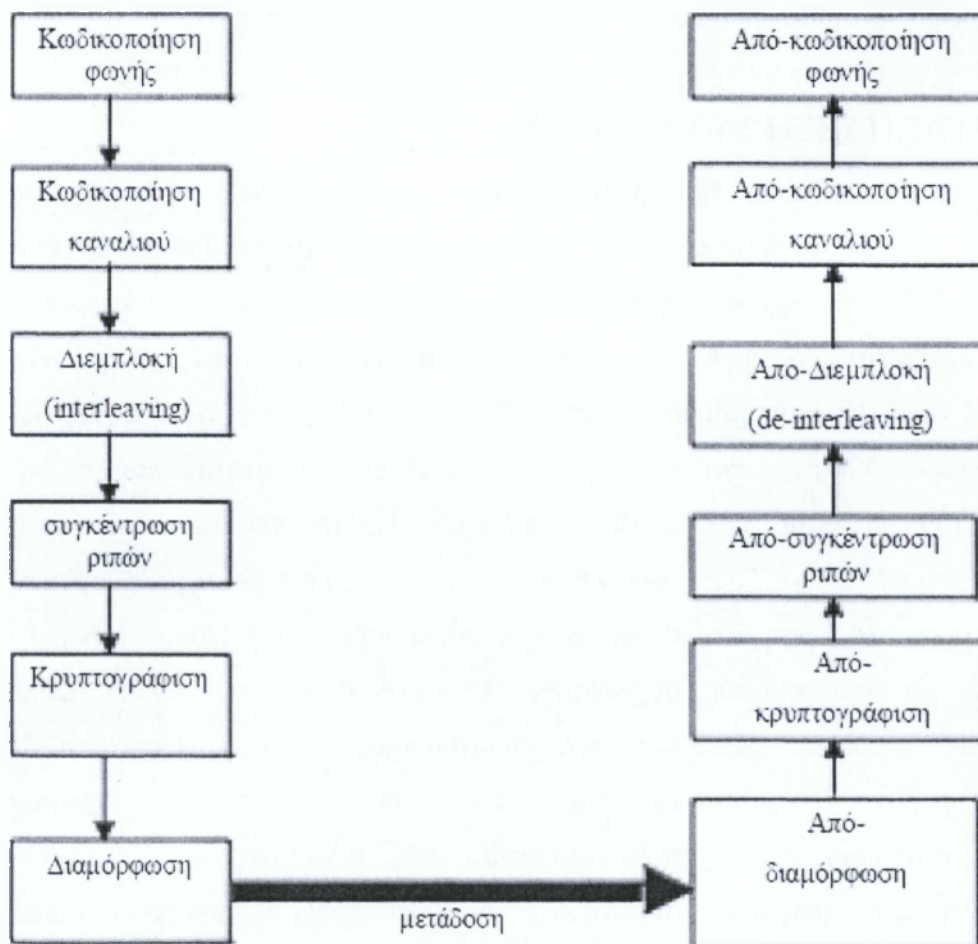
- 8.25 bits που ονομάζονται και guard bits ουσιαστικά δεν μεταφέρουν πληροφορία αλλά χρησιμεύουν για να αποφεύγεται πιθανή αλληλοεπικάλυψη δύο κινητών μονάδων που επιχειρούν να καταλάβουν την ίδια χρονοθυρίδα την ίδια στιγμή και για να δοθεί ο χρόνος που απαιτείται για ομαλή ενεργοποίηση (switch on/off) του πομπού.
- Μία ομάδα των 26 bits στη μέση της ριπής που ονομάζονται training bits για να συγχρονίζεται και να εκτιμά τα χαρακτηριστικά της ασύρματης διάδοσης του σήματος και να αποφεύγει τα αρνητικά φαινόμενα που συνοδεύουν την πολυοδική διάδοση των κυμάτων που συναντήσαμε σε προηγούμενα κεφάλαια.
- Τα tail bits (bits ουράς) είναι μια ομάδα από 3 bits στα δύο άκρα της ριπής και είναι πάντα μηδέν.
- Δύο stealing bits, από ένα στα δύο άκρα της training sequence χρησιμοποιούνται για να δείξουν ότι η συγκεκριμένη ριπή που πριν είχε αποδοθεί σε κανάλι κίνησης έχει αρπαγεί (κλαπεί) τώρα από κανάλι σηματοδοσίας για να μεταφερθεί επείγουσα πληροφορία σηματοδοσίας.

3.3.5. ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Οι συνθήκες διάδοσης των ράδιο-καναλιών και επομένως αυτές της ταχείας εξασθένισης εξαρτώνται από τη ράδιο συχνότητα του καναλιού. Για να μπορέσει το σύστημα του GSM να αποφύγει σημαντικές διαφορές στην ποιότητα των διαφόρων ράδιο-καναλιών, εισάγεται μια αργή σχετικά μεταπήδηση στις συχνότητές τους (frequency hopping). Η αργή μεταπήδηση συχνότητας οδηγεί σε αλλαγή της συχνότητας με κάθε TDMA πλαίσιο. Υπάρχει και η γρήγορη μεταπήδηση συχνότητας που αλλάζει τη συχνότητα του καναλιού πολλές φορές σε κάθε TDMA πλαίσιο, αλλά αυτή δεν χρησιμοποιείται στο GSM. Το επί πλέον θετικό σημείο της μεταπήδησης συχνοτήτων είναι ότι οδηγεί στην ελάττωση των συγκαταλικών παρεμβολών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλγορίθμων για μεταπήδηση συχνοτήτων. Ο αλγόριθμος που τελικά επιλέγεται αποστέλλεται στο δίκτυο μέσω καναλιών σηματοδοσίας εκπομπής (Broadcast Control Channels). Παρόλο που η μεταπήδηση συχνοτήτων μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμη για το σύστημα, ο σταθμός βάσης δεν είναι υποχρεωμένος να την υποστηρίζει οπωσδήποτε. Από την άλλη μεριά όμως η κινητή μονάδα είναι υποχρεωμένη να αποδεχθεί μεταπήδηση συχνοτήτων για τα ράδιο-κανάλια όταν ο σταθμός βάσης αποφασίσει να την ενεργοποιήσει.

3.3.6. ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΑ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΑ

Στην περίπτωση που πρέπει η ανθρώπινη συνομιλία να μεταδοθεί ανάμεσα σε δύο συνδρομητές του GSM δικτύου, η πηγή πληροφορίας είναι ο συνομιλητής, η δε πληροφορία (φωνή) πρέπει πρώτα να κωδικοποιηθεί κατάλληλα πριν μετατραπεί σε σήμα κατάλληλα διαμορφωμένων ηλεκτρομαγνητικών σημάτων για διάδοση από την κεραία της κινητής μονάδας ή του σταθμού βάσης αντίστοιχα. Τα διάφορα στάδια που πρέπει να υλοποιηθούν ώστε να μεταβούμε από την συνηθισμένη ανθρώπινη φωνή στα ραδιοκύματα για μετάδοση φαίνονται διαγραμματικά στην εικόνα 9. Περιττό να τονίσουμε ότι αν η πληροφορία αναφέρεται σε δεδομένα (data) και όχι σε φωνή, το στάδιο της κωδικοποίησης φωνής στην παραπάνω εικόνα παραλείπεται.



Εικόνα 9. Τα στάδια από το σήμα φωνής στα ραδιοκύματα.

3.3.6.1. ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΝΗΣ

Είναι γεγονός ότι η μετάδοση φωνής αποτελεί για την ώρα την πιο σημαντική υπηρεσία για μία εταιρεία κινητής τηλεφωνίας, όσον αφορά τα έσοδα που αποφέρει. Ο κωδικοποιητής/αποκωδικοποιητής (codec) ομιλίας του GSM, ο οποίος θα μετασχηματίσει το αναλογικό σήμα (φωνή) σε μια ψηφιακή αναπαράσταση πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια:

- Καλή ποιότητα φωνής, τουλάχιστον στα ίδια επίπεδα με αυτά των κυψελοειδών συστημάτων πρώτης γενιάς.
- Ελάττωση των όποιων πλεονασμών στους ήχους της φωνής. Αυτό είναι βασικό με δεδομένη την περιορισμένη χωρητικότητα των ράδιο-καναλιών.
- Ο codec της ομιλίας δεν πρέπει να είναι πολύ σύνθετος, καθώς η πολυπλοκότητα ισοδυναμεί με υψηλό κόστος.

Η τελική επιλογή για τον codec ομιλίας του GSM είναι RPE-LTP (Regular Pulse Excitation Long-Term Prediction, Κανονική Διέγερση Παλμών - Μακροπρόθεσμη Πρόβλεψη). Μετά την κβάντωση του αναλογικού σήματος φωνής σε ψηφιακό με τη γνωστή διαδικασία της δειγματοληψίας, ο κώδικας αυτός χρησιμοποιεί την πληροφορία από προηγούμενα δείγματα (samples) για να προβλέψει το τρέχον δείγμα. Εδώ βοηθά το γεγονός ότι στα δείγματα της ανθρώπινης ομιλίας η πληροφορία αυτή δεν μεταβάλλεται πολύ γρήγορα από δείγμα σε δείγμα. Το σήμα της φωνής διαιρείται σε τμήματα (blocks) των 20 ms το καθένα. Αυτά τα blocks περνούν έπειτα στον codec ομιλίας, ο οποίος έχει ρυθμό 13 kbps, ώστε να εξαχθούν blocks των 260 bits.

3.3.6.2. ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

Η κωδικοποίηση καναλιού προσθέτει πλεονάζοντα bits στην αρχική πληροφορία, ώστε να ανιχνεύσει και να διορθώσει κατά το δυνατόν σφάλματα που συνέβησαν κατά τη μετάδοση.

Κωδικοποίηση καναλιού για τα κανάλια ομιλίας του GSM

Πριν την εφαρμογή της κωδικοποίησης καναλιού, τα 260 bits ενός καναλιού ομιλίας GSM διαιρούνται σε τρεις διαφορετικές κλάσεις ανάλογα με τη λειτουργία και τη σημασία τους. Η πιο σημαντική κλάση είναι η κλάση I_3 η οποία περιέχει 50 bits. Επόμενη σε

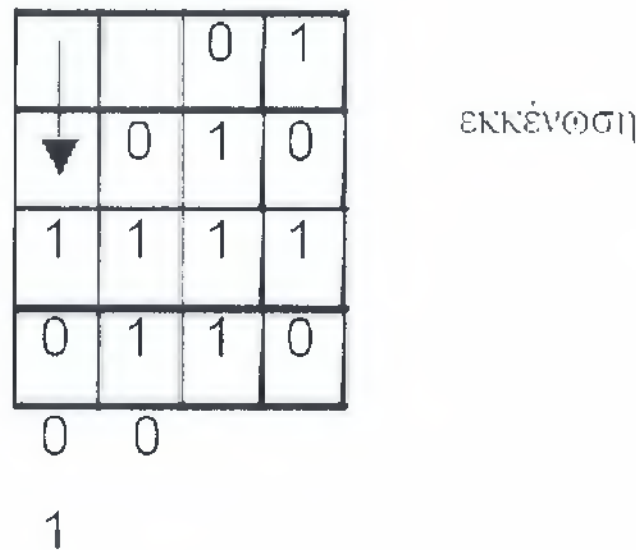
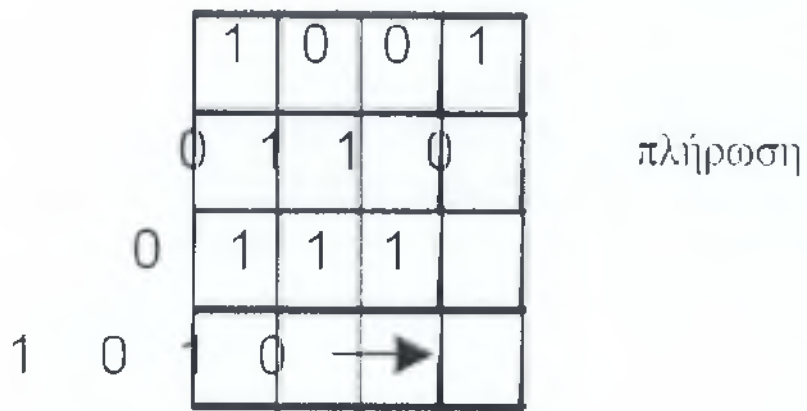
σημασία είναι η κλάση I_a , η οποία περιέχει 132 bits. Η λιγότερο σημαντική είναι η κλάση I_b , η οποία περιέχει τα υπόλοιπα 78 bits. Οι διάφορες κλάσεις κωδικοποιούνται διαφορετικά. Πρώτα εφαρμόζεται block κωδικοποίηση για τα bits I_a . Στα 50 bits της κλάσης I_a προστίθενται τρία bits ισοτιμίας (parity bits). Τα 53 bits που προκύπτουν προστίθενται στα bits της κλάσης I_b , και σε αυτό το block των 185 bits (50+3+132) προστίθενται τέσσερα μηδενικά bits. Κατόπιν εφαρμόζεται ένας συνελκτικός κώδικας με $r = 1/2$ και $K = 5$ και παράγεται ένα block εξόδου 378 bits. Στο block εξόδου του συνελκτικού κωδικοποιητή, προστίθενται τα bits της κλάσης I_b , χωρίς καμία προστασία, και τελικά προκύπτει ένα block εξόδου 456 bits.

Κωδικοποίηση καναλιού για τα κανάλια ελέγχου του GSM

Στο GSM, η πληροφορία σηματοδότησης περιέχεται σε 184 bits. Σαράντα bits ισοτιμίας, τα οποία λαμβάνονται με τη χρήση ενός fire code, και τέσσερα μηδενικά bits προστίθενται στα 184 bits πριν την εφαρμογή του συνελκτικού κώδικα ($r = 1/2$ and $K = 5$). Η έξοδος του συνελκτικού κώδικα είναι ένα block 456 bits, το οποίο δεν χρειάζεται να μαρκαριστεί.

3.3.6.3. ΔΙΕΜΠΛΟΚΗ (INTERLEAVING)

Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία κωδίκων στις τηλεπικοινωνίες, οι κώδικες block λειτουργούν καλύτερα όταν τα σφάλματα είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα στα block. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε τηλεπικοινωνιακά κανάλια που παρουσιάζουν λευκό (Γκαουσιανό) θόρυβο, όπως αυτά των χερσαίων, σταθερών τηλεπικοινωνιακών ζευξέων. Στα περιβάλλοντα όμως των κινητών επικοινωνιών και της ασύρματης διεπαφής των ζευξέων, τα σφάλματα παρουσιάζονται κατά ριπές, μια και αυτός είναι ο τρόπος εκπομπής στο TDMA. Για παράδειγμα όταν το σήμα εξασθενήσει λόγω του φαινομένου της πολυοδικής ταχείας εξασθένησης που είδαμε νωρίτερα, θα χαθεί ολόκληρη ριπή από bit. Η διεργασία της διεμπλοκής (interleaving) αναδιατάσσει μια ομάδα bits με έναν συγκεκριμένο τρόπο. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κώδικες FEC, ώστε, όπως είπαμε, να βελτιώσει την απόδοση των μηχανισμών διόρθωσης σφάλματος. Η διεμπλοκή διασκορπίζει τα σφάλματα, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα απώλειας ολόκληρων ριπών κατά τη μετάδοση. Ένας τρόπος για την υλοποίηση της διεμπλοκής είναι να διαβάζονται τα bits ως γραμμές ενός πίνακα. Όταν γεμίσει ο πίνακας, μετά από κάποιο χρόνο, ξαναδιαβάζονται τα bits ως στήλες τώρα του πίνακα και έτσι το αποτέλεσμα είναι να ανακατανέμονται τα δεδομένα.



Εικόνα 10. Παράδειγμα διεμπλοκής με την πλήρωση και εκκένωση ενός πίνακα.

Η γενική αρχή πάντως είναι ότι όταν τα σφάλματα είναι λιγότερο συγκεντρωμένα, είναι ευκολότερο να διορθωθούν.

3.3.7. ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις χρονισμού που κάνουν οι σταθμοί βάσης, κάνουν επίσης μετρήσεις για το επίπεδο ισχύος των διαφόρων κινητών σταθμών. Αυτά τα επίπεδα ισχύος ρυθμίζονται ώστε η ισχύς να είναι περίπου η ίδια για κάθε ριπή.

Ο σταθμός βάσης επίσης ελέγχει το επίπεδο ισχύος του. Ο κινητός σταθμός μετράει την ισχύ και την ποιότητα του σήματος μεταξύ του ίδιου και του σταθμού βάσης. Αν ο κινητός σταθμός δεν λαμβάνει το σήμα σωστά, ο σταθμός βάσης αλλάζει το επίπεδο ισχύος του.

3.3.8. ΑΣΥΝΕΧΗΣ ΛΗΨΗ

Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εξοικονόμηση της ισχύος του κινητού σταθμού. Το κανάλι paging διαιρείται σε δύο υποκανάλια που αντιστοιχούν σε ξεχωριστούς κινητούς σταθμούς. Κάθε κινητός σταθμός θα ακούει έπειτα μόνο το δικό του υποκανάλι και θα μένει σε κατάσταση αναμονής κατά τη διάρκεια που αντιστοιχεί στα άλλα υποκανάλια του καναλιού paging.

3.3.9. ΠΟΛΥΟΔΙΚΗ ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ

Στις ζώνες συχνοτήτων GSM, τα ραδιοκύματα ανακλώνται σε κτίρια, αυτοκίνητα, λόφοι, κτλ. Έτσι, δεν λαμβάνεται μόνο το «σωστό» σήμα (το σήμα εξόδου του εκπομπού) από την κεραία, αλλά και πολλά ανακλώμενα σήματα, με διαφορετικές φάσεις.

Ο εξισορροπητής είναι επιφορτισμένος με την εξαγωγή του «σωστού» σήματος από το λαμβανόμενο σήμα. Εκτιμά την κρουστική απόκριση του καναλιού του συστήματος GSM και μετά κατασκευάζει ένα «αντίστροφο» φίλτρο. Ο δέκτης γνωρίζει ποια ακολουθία εκπαίδευσης πρέπει να περιμένει. Συγκρίνοντας τη λαμβανόμενη ακολουθία εκπαίδευσης με την αναμενόμενη ακολουθία εκπαίδευσης, ο εξισορροπητής θα υπολογίσει τους συντελεστές της κρουστικής απόκρισης του καναλιού. Για να εξαχθεί το «σωστό» σήμα, το λαμβανόμενο σήμα περνιέται από το αντίστροφο φίλτρο.

3.4. ΟΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ GSM

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι όλες οι υπηρεσίες του GSM δικτύου δεν δόθηκαν σε χρήση μαζί με το ξεκίνημα της εφαρμογής της τεχνολογίας GSM αλλά σταδιακά. Το GSM Μνημόνιο Κατανόησης (Memorandum of Understanding -MoU) καθορίζει τέσσερις κατηγορίες για την εισαγωγή των διαφόρων υπηρεσιών του GSM:

- E1: εισαγωγή στο ξεκίνημα της τεχνικής GSM.
- E2: εισαγωγή στο τέλος του 1991.
- E_h: εισαγωγή με τη διάθεση καναλιών μειωμένης ταχύτητας (half rate).
- A: οι υπηρεσίες αυτές είναι προαιρετικές.

Τρεις κατηγορίες υπηρεσιών μπορούν να διακριθούν:

- Τηλε-υπηρεσίες (teleservices).
- Υπηρεσίες κυκλωμάτων (bearer services).
- Συμπληρωματικές υπηρεσίες (supplementary services).

3.4.1. ΤΗΛΕ-ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- Τηλεφωνία (E1 και Eh).
- Fax group 3 (E1).
- Επείγουσες κλήσεις (E1 και Eh).
- Teletex.
- Υπηρεσίες Συντόμων Μηνυμάτων, SMS, (E1, Eh, A). Στην υπηρεσία αυτή ένα μήνυμα μέγιστου μεγέθους 160 αλφαριθμητικών χαρακτήρων μπορεί να σταλεί από και προς την κινητή μονάδα. Εάν η κινητή μονάδα είναι ανενεργή (power off) το μήνυμα αποθηκεύεται. Με το SMS Cell Broadcast (SMS-CB) ένα μήνυμα έχοντας μέγιστο μήκος 93 χαρακτήρων μπορεί να εκπεμφθεί προς όλες τις κινητές μονάδες μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής.
- Fax mail. Με την υπηρεσία αυτή ο συνδρομητής μπορεί να λαμβάνει fax σε οποιαδήποτε συσκευή fax.
- Voice mail (φωνητικό ταχυδρομείο). Αντιστοιχεί σε αυτόματο τηλεφωνητή.

3.4.2. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Οι υπηρεσίες κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων (data) του συνδρομητή. Μερικές από τις υπηρεσίες αυτές αναφέρονται παρακάτω:

- Ασύγχρονα και σύγχρονα δεδομένα 300-9600 bps (E1).
- Εναλλασσόμενη φωνή και δεδομένα (data) 300-9600 bps (E1).
- Ασύγχρονη PAD (packet-switched, packet assembler/disassembler) πρόσβαση 300-9600 bps (E1).
- Αποκλειστικά Σύγχρονη Πρόσβαση Πακέτων Δεδομένων 2400-9600 bps (E2).

3.4.3. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- Προώθηση κλήσεως -Call Forwarding (E1). Ο συνδρομητής μπορεί να προωθήσει μια εισερχόμενη κλήση σε οποιονδήποτε άλλον αριθμό κλήσεως εφόσον το κινητό του τηλέφωνο είναι κατειλημμένο (Call Forwarding Busy -CFB), ή δεν απαντά (Call Forwarding No Reply - CFNRy). Η προώθηση κλήσεως μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί και χωρίς συνθήκες (Call Forwarding Unconditionally - CFU).
- Φραγή κλήσεων (Call Barring). Υπάρχουν διάφοροι τύποι φραγής κλήσεων:
 1. Φραγή όλων των εξερχόμενων κλήσεων -Barring of All Outgoing Calls, BAOC (E1).

2. Φραγή των εξερχόμενων Διεθνών Κλήσεων -Barring of Outgoing International Calls, BOIC (E1).
 3. Φραγή όλων των Εξερχόμενων Διεθνών Κλήσεων εκτός αυτών που κατευθύνονται στη Χώρα που ανήκει το GSM δίκτυο του συνδρομητή, Barring of Outgoing International Calls except those directed to Home Country, BOIC-exHC (E1).
 4. Φραγή όλων των εισερχόμενων κλήσεων, Barring of All Incoming Calls, BAIC (E1).
 5. Φραγή εισερχομένων κλήσεων όταν ο συνδρομητής είναι σε πειραγωγή, Barring of incoming calls when roaming, (A).
- Συγκράτηση Κλήσης, Call Hold (E2). Θέτει μια ενεργή κλήση σε συγκράτηση.
 - Αναμονή κλήσης, Call waiting, CW (E2). Πληροφορεί τον συνδρομητή κατά τη διάρκεια μιας συνομιλίας του ότι έχει εισερχόμενη κλήση. Ο συνδρομητής μπορεί να απαντήσει, να απορρίψει ή να αγνοήσει την εισερχόμενη κλήση.
 - Συμβουλή χρέωσης, Advice of Charge, AoC (E2). Παρέχει στον συνδρομητή online πληροφορίες για το λογαριασμό χρέωσής του.
 - Υπηρεσία πολυμερών κλήσεων, multiparty service (E2). Παρέχει τη δυνατότητα συζήτησης πολλών συνδρομητών ταυτόχρονα.
 - Υπηρεσία κλειστών ομάδων συνδρομητών, Closed User Group, CUG (A). Παρέχει σε μια κλειστή ομάδα συνδρομητών τη δυνατότητα περιορισμένης πρόσβασης σε κλήσεις. Μόνο τα μέλη αυτής της ομάδας μπορούν να καλούν από το συγκεκριμένο κινητό τηλέφωνο συγκεκριμένους αριθμούς.
 - Αναγνώριση κλήσεως, Calling Line Identification Presentation, CLIP (A). Παρέχει στον καλούμενο συνδρομητή τον αριθμό κλήσεως του καλούντος.
 - Απόκρυψη Αριθμού Καλούντος, Calling Line Identification Restriction, CLIR (A). Δίνει τη δυνατότητα στον καλούντα να αποκρύψει το τηλεφωνικό του νούμερο από τον καλούμενο.
 - Παρουσίαση Αναγνώρισης Συνδεδεμένης Γραμμής, Connected Line Identification Presentation, CoLP (A). Παρέχει τη δυνατότητα στον καλούντα συνδρομητή να πληροφορηθεί σε ποιόν αριθμό η κλήση του εκτρέπεται, στην περίπτωση που ο καλούμενος έχει ενεργοποιήσει την εκτροπή κλήσεως.

- Περιορισμός Αναγνώρισης Συνδεδεμένης Γραμμής, Connected Line Identification Restriction, CoLR (A). Παρέχει τη δυνατότητα στον καλούμενο συνδρομητή να μην μεταδίδει στον καλούντα σε ποιόν αριθμό η κλήση του εκτρέπεται. Αυτό στην περίπτωση που ο καλούμενος έχει ενεργοποιήσει την εκτροπή κλήσεως.
- Φραγή καθορισμένη από το δίκτυο, operator determined barring (A). Πρόκειται για φραγές σε διάφορες υπηρεσίες και κλήσεις που έτσι έχουν καθορισθεί από το ίδιο το δίκτυο και όχι από τον συνδρομητή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΙΚΤΥΟ UMTS

4.1. ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS

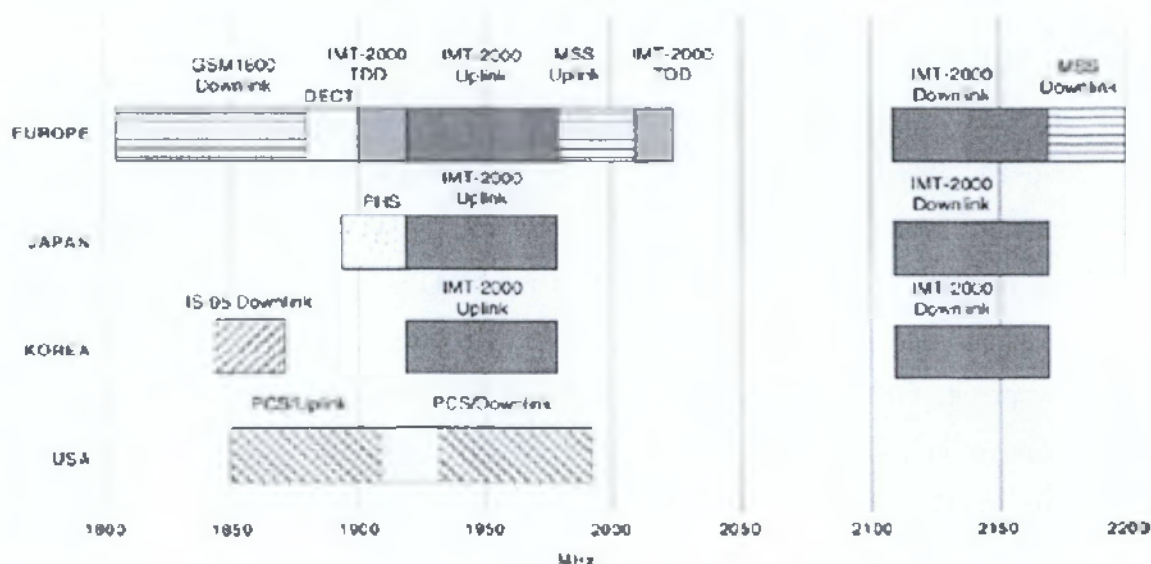
Το UMTS αποτελεί το πανευρωπαϊκό πρότυπο για τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς και ανήκει στο σχέδιο IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), το οποίο έχει προτείνει η ITU (International Telecommunications Union) για την παγκόσμια παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς. Ο σχεδιασμός του δικτύου UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) αποσκοπεί στον συγκερασμό των πλεονεκτημάτων των νέων τεχνολογιών και των ευκολιών που προσφέρει η κινητή τηλεφωνία, όπου δεν μας ενδιαφέρει πλέον μόνο το κομμάτι της τηλεφωνίας (ως επικοινωνία φωνής) αλλά και αυτό των εφαρμογών πολυμέσων. Έτσι, για τα συστήματα τηλεπικοινωνιών 3ης γενιάς έχει τεθεί ως πρωταρχικός στόχος η αύξηση των δυνατοτήτων και της λειτουργικότητας των κινητών τερματικών του χρήστη, από τα οποία υπάρχει πλέον η απαίτηση μεταξύ άλλων να παρέχουν πλούσιες σε ήχο και εικόνα εφαρμογές πολυμέσων. Για την συνολική δόμηση του UMTS δικτύου έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά στοιχεία από το Δίκτυο Κορμού (Core Network – CN) του GSM όπου παρέχονται υπηρεσίες GPRS – General Packet Radio Services. Με αυτή τη θεώρηση οι σημερινοί πάροχοι κινητών επικοινωνιών αφενός προστατεύουν τις επενδύσεις τους στα συστήματα 2ης γενιάς που συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται και αφετέρου είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στο κόστος της μετάβασης προς την επόμενη γενιά συστημάτων.

4.2. ΤΟ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ

Το UMTS υποστηρίζει δύο βασικές μεθόδους λειτουργίας οι οποίες ονομάζονται Frequency Division Duplex (FDD) και Time Division Duplex (TDD). Το εύρος ζώνης συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για κάθε μία λειτουργία στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία είναι:

- για την λειτουργία FDD:
 1. την περιοχή συχνοτήτων από 1920 – 1980 MHz για την άνω ζεύξη (uplink),
 2. την περιοχή συχνοτήτων από 2110 – 2170 MHz για την κάτω ζεύξη (downlink).
- για την λειτουργία TDD:
 1. την περιοχή συχνοτήτων από 1900 – 1920 MHz για την άνω και κάτω ζεύξη (uplink και downlink),
 2. την περιοχή συχνοτήτων από 2010 – 2025 MHz για την άνω και κάτω ζεύξη (uplink και downlink).

Οι συχνότητες που αποδόθηκαν για τα συστήματα 3^{ης} γενιάς είναι διαφορετικές για κάθε περιοχή, λόγω των συχνοτήτων που είχαν ήδη καταλάβει τα συστήματα 2^{ης} γενιάς. Στην εικόνα 11, φαίνονται οι αντίστοιχες ζώνες συχνοτήτων στις ΗΠΑ, την Ευρώπη, την Ιαπωνία και την Κορέα.



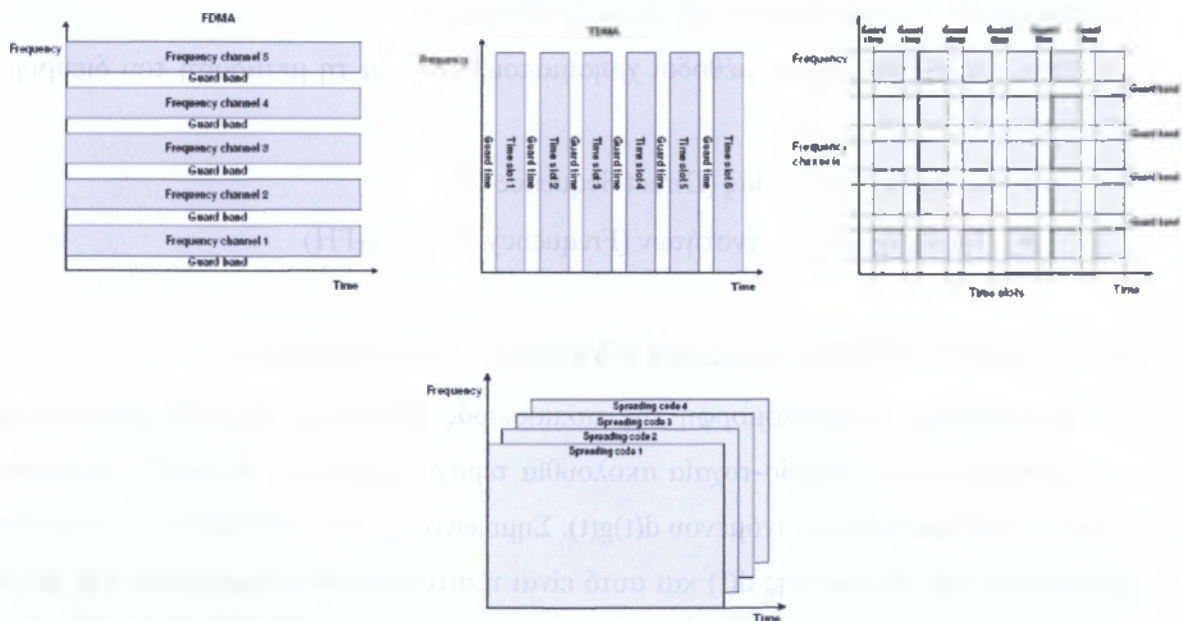
Εικόνα 11. Κατανομή φάσματος για τις κυριότερες περιοχές του πλανήτη.

Οι διάφοροι φορείς και κατασκευαστές παγκοσμίως χρησιμοποιούν από κοινού κάποιο βασικό εύρος της ζώνης του φάσματος και ιδιαίτερα τη περιοχή 1900 – 2025 MHz (για

επίγειο δορυφορικό δίκτυο) καθώς και τη περιοχή 2110 – 2200 MHz (για επίγειο και δορυφορικό δίκτυο).

4.3. CDMA

Το Επίγειο Δίκτυο Ραδιοπρόσβασης UMTS (UTRAN – UMTS) πρέπει να υποστηρίζει λειτουργία για υψηλές απαιτήσεις φάσματος και ταυτόχρονα για ποικίλα χαρακτηριστικά σύνδεσης που θα κυμαίνονται από συνθήκες εσωτερικών χώρων με μικρή κινητικότητα των χρηστών έως εξωτερικούς χώρους όπου οι χρήστες θα κινούνται με την ταχύτητα των οχημάτων τους στους αυτοκινητόδρομους. Τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι σχεδιαστές των συστημάτων κινητών επικοινωνιών είναι οι διακυμάνσεις λόγω διάδοσης πολλαπλών δρόμων (multipath fading) και η παρεμβολή από άλλους χρήστες σε ένα περιβάλλον επαναχρησιμοποίησης καναλιών. Αποδοτικά σε τέτοιου είδους συνθήκες είναι τα λεγόμενα συστήματα διάχυτου φάσματος (spread spectrum), λόγω του διαχωρισμού στη συχνότητα (frequency diversity) που εισάγει το ευρύ φάσμα. Τέτοιο σύστημα είναι και το CDMA (Code Division Multiple Access) όπου χρησιμοποιείται όλο το διατιθέμενο φάσμα για κάθε συνδιάλεξη, σε αντίθεση με τα συστήματα TDMA και τα FDMA, όπου το διατιθέμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων διαιρείται σε στενές περιοχές συχνοτήτων και κάθε κανάλι χρησιμοποιείται από μία ή περισσότερες συνδιαλέξεις.



Εικόνα 12. Κατανομή των καναλιών στα πεδία Συχνοτήτων και Χρόνου για τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης FDMA, TDMA και CDMA.

Η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access) ξεκίνησε την εφαρμογή της πρώτα σε στρατιωτικά συστήματα λόγω της καλής εξασφάλισης του απόρρητου των τηλεπικοινωνιών που προσφέρει και της ανοχής της σε συνθήκες υψηλών παρεμβολών. Τα τελευταία χρόνια η επιτυχημένη συμπεριφορά αυτής της τεχνικής σε εφαρμογές πολλαπλών χρηστών και η καλή της φασματική απόδοση την έχουν καταστήσει καλή επιλογή στα κυβελοειδή συστήματα κινητών επικοινωνιών.

Το πλέον χαρακτηριστικό της τεχνικής CDMA είναι ότι μεταδίδει σήματα στενής ζώνης (narrow band signals) κάνοντας χρήση φάσματος ευρείας ζώνης. Το σήμα στενής ζώνης ουσιαστικά απλώνεται σ' ένα ευρυζωνικό σήμα με τη χρήση ενός κώδικα μοναδικό για τον κάθε χρήστη. Με την μέθοδο αυτή το τηλεπικοινωνιακό κανάλι δεν ορίζεται με βάση τη συχνότητα (π.χ. FDM) ή κάποια χρονοθυρίδα (π.χ. TDM) αλλά με βάση κάποιον μοναδικό κώδικα. Τα σήματα των διαφόρων χρηστών εκπέμπονται στη συνέχεια από την κεραία του σταθμού βάσης στην ίδια ζώνη συχνότητας την ίδια χρονική στιγμή. Οι κώδικες των διαφόρων χρηστών επιλέγονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται στον δέκτη το ελάχιστο της πιθανής παρεμβολής τους. Η χρήση ορθογώνιου ψευδοτυχαίου (pseudo-noise PN) κώδικα ικανοποιεί αυτήν την απαίτηση.

Ο δέκτης πρέπει να γνωρίζει τον κώδικα του κάθε χρήστη και με τη χρήση συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (auto-correlation function) μπορεί να συγχρονισθεί με τον κώδικα του χρήστη και να αναπαράγει το αρχικό σήμα πληροφορίας. Τα σήματα των άλλων χρηστών συνεισφέρουν στην όλη διαδικασία μόνο ως θόρυβος.

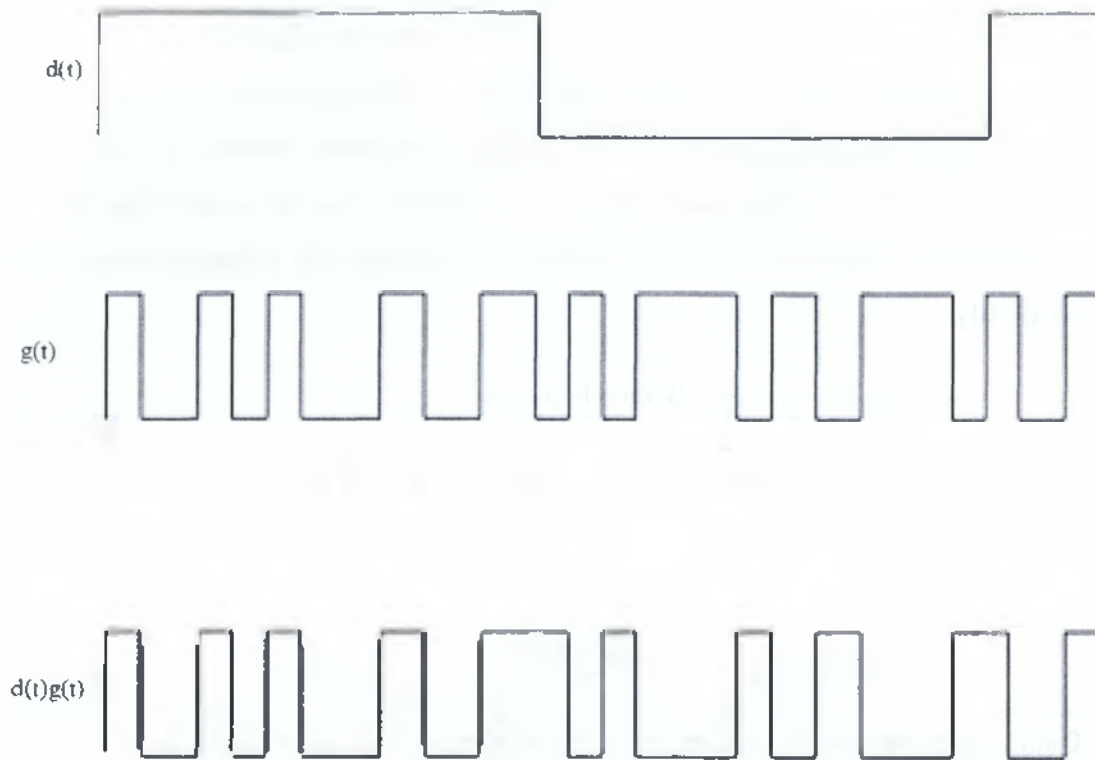
Στην πράξη δύο κυρίως μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του διευρυμένου φάσματος:

- Ευθείας ακολουθίας (Direct Sequence-DS)
- Μεταπήδησης συχνοτήτων (Frequency Hopping-FH)

4.3.1. ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ ΕΥΘΕΙΑΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ

Αν $d(t)$ είναι η κυματομορφή της παλμοσειράς δεδομένων (data πληροφορίας προς μετάδοση) και $g(t)$ η ψευδο-τυχαία ακολουθία τεμαχισμού (όπως αποκαλείται) παράγεται τότε η κυματομορφή του γινόμενου $d(t)g(t)$. Σημειώνουμε ότι το bit rate της $g(t)$ είναι πολύ μεγαλύτερο του bit rate της $d(t)$ και αυτό είναι η αιτία για τον «τεμαχισμό» της $d(t)$ όταν παράγεται το γινόμενο $d(t)g(t)$ (σχήμα 16). Το αποτέλεσμα είναι το φάσμα της ακολουθίας γινομένου να είναι ανάλογα διευρυμένο σε σχέση με αυτό του αρχικού συρμού $d(t)$. Η

ακολουθία του γινομένου κατόπιν χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση κατά φάση του φέροντος, ήτοι το σχηματισμό του σήματος $d(t)g(t)\cos\omega t$ πριν την εκπομπή.



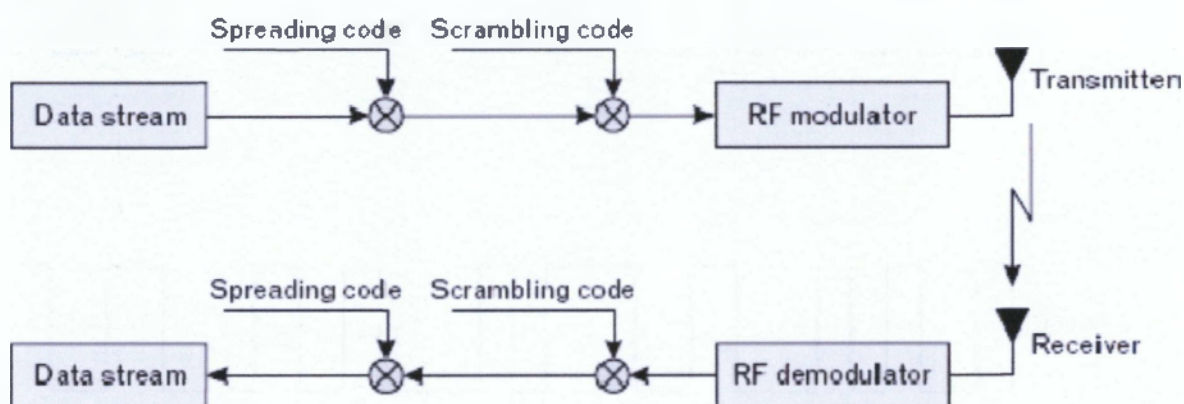
Εικόνα 13. τα δεδομένα του χρήστη είναι η κυματομορφή $d(t)$, η κυματομορφή του ψευδοτυχαίου θορύβου $g(t)$ και η κυματομορφή διευρυνμένου φάσματος $d(t)g(t)$. Παρατηρούμε ότι κάθε μετάβαση στο $d(t)$ συμπίπτει με μια μετάβαση στο $g(t)$ (τα μέτωπά τους είναι ευθυγραμμισμένα).

4.3.2. ΔΙΕΥΡΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Στην περίπτωση αυτή ο πομπός και ο δέκτης αλλάζουν συχνότητες μετάδοσης συγχρονισμένα και με γρήγορες εναλλαγές. Οι μεταβολές συχνότητας καθορίζονται από κάποιον κώδικα που ελέγχει έναν synthesizer συχνοτήτων. Το αποτέλεσμα είναι η σημαντική διεύρυνση του εύρους ζώνης σε σχέση με το αρχικό σήμα. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι οι συγκαναλικές παρεμβολές να επηρεάζουν ένα μικρό μέρος του σήματος πληροφορίας. Ο λόγος είναι ότι παρεμβολές έχουμε όταν δύο χρήστες χρησιμοποιούν ταυτόχρονα την ίδια συχνότητα, αλλά αυτό, όταν συμβαίνει, συμβαίνει για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

4.4. ΚΩΔΙΚΕΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΠΛΕΞΗΣ (SPREADING AND SCRAMBLING CODES)

Σε ένα πομπό DS-CDMA (Direct Sequence), το σήμα της πληροφορίας διαμορφώνεται από έναν κώδικα διάχυσης (spreading code) (για να μετατραπεί σε ευρείας ζώνης σήμα) και στο δέκτη συσχετίζεται με ένα αντίγραφο του ίδιου κώδικα. Η διαδικασία του spreading αποτελείται από δύο φάσεις, το spreading και το scrambling, και οι δύο χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους κωδικών με διαφορετικά χαρακτηριστικά ο καθένας (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Οι κώδικες διάχυσης και περίπλεξης κατά την εκπομπή και λήψη μιας ροής δεδομένων.

Η φάση του spreading είναι επίσης γνωστή ως channelization. Το Channelization αυξάνει το εύρος ζώνης του σήματος και οι κώδικες που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την φάση είναι ορθογώνιοι. Το UTRAN χρησιμοποιεί ορθογώνιους κώδικες μεταβλητού παράγοντα διάχυσης (spreading factor) (Orthogonal Variable Spreading Factor – OVSF). Σε ένα ιδανικό ορθογώνιο σύστημα, η διασταυρούμενη-συσχέτιση (cross-correlation) μεταξύ των σημάτων πληροφορίας και των σημάτων παρεμβολής είναι μηδέν. Εντούτοις, σε ένα πραγματικό σύστημα υπάρχουν πάντα συνιστώσες πολυόδευσης του ίδιου σήματος, οι οποίες διαταράσσουν την ορθογωνιότητα. Επιπλέον, ο αριθμός των κωδικών αυτών είναι πεπερασμένος και έτσι αυτοί επαναχρησιμοποιούνται σε κάθε κυψέλη.

Επομένως, ο ίδιος κώδικας μπορεί να διατεθεί σε διαφορετικούς χρήστες σε γειτονικές κυψέλες. Μία κινητή μονάδα δεν μπορεί κανονικά να γνωρίζει ποιο από τα downlink σήματα προορίζεται για αυτόν χωρίς κάποιου είδους βοήθεια. Επίσης, επειδή οι κινητές μονάδες δεν είναι συγχρονισμένες χρονικά, οι uplink μεταδόσεις είναι ασύγχρονες και μη ορθογώνιες.

Από τα παραπάνω, συνάγεται το συμπέρασμα ότι επιπλέον με το channelization χρειάζεται και κάποιου άλλου είδους τεχνική για να εξασφαλίσει την επικοινωνία μεταξύ των κινητών μονάδων και των σταθμών βάσης. Η λύση λέγεται κώδικες περίπλεξης (scrambling κώδικες). Το scrambling υλοποιείται στον πομπό μετά το spreading. Κατά τη διαδικασία του scrambling, η ακολουθία του κώδικα (chip code) πολλαπλασιάζεται με μια ψευδοτυχαία ακολουθία από bits (δηλ. τον κώδικα scrambling). Στην downlink κατεύθυνση κάθε σταθμός βάσης έχει έναν μοναδικό κώδικα scrambling ενώ στο uplink αυτός είναι διαφορετικός για κάθε κινητή μονάδα. Οι scrambling κώδικες είναι κώδικες που παράγονται με καλές ιδιότητες αυτό-συσχέτισης (autocorrelation). Οι λειτουργίες αυτό-συσχέτισης και διασταυρούμενη-συσχέτισης συνδέονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε δεν είναι γενικά δυνατό να επιτευχθούν καλές τιμές αυτό-συσχέτισης και διασταυρούμενη-συσχέτισης συγχρόνως. Ένας κώδικας scrambling μπορεί να είναι είτε μια βραχεία είτε μια εκτενής ακολουθία από bits. Οι βραχείς κώδικες scrambling εκτείνονται πάνω από μια περίοδο συμβόλου, ενώ οι μακριοί κώδικες εκτείνονται κατά τη διάρκεια αρκετών περιόδων συμβόλου.

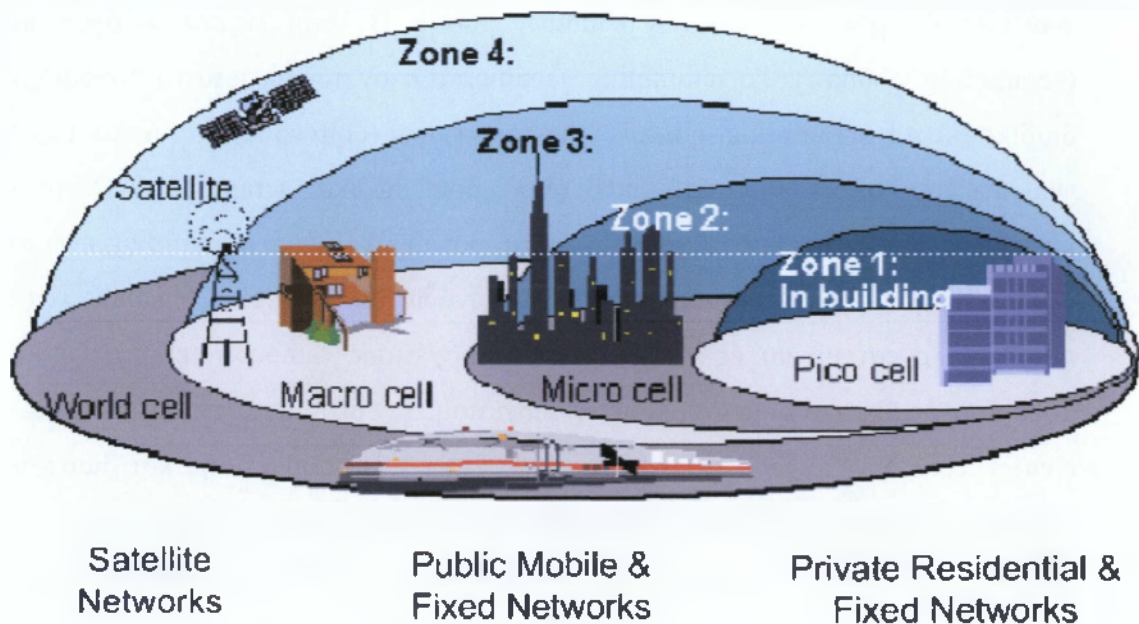
4.5. ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΥΨΕΛΩΝ

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων 3ης γενιάς είναι ότι βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε μικροκυτταρική (micro-cellular) και πικοκυτταρική (picocellular) δομή. Μάλιστα, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν πολλούς τύπους κυττάρων ανάλογα με την στιγμιαία τους θέση.

Στο UMTS υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές ιεραρχικές δομές κυψελών:

- το **picocell**, το οποίο καλύπτει μόνο μικρές περιοχές όπως ένα δωμάτιο γραφείου
- το **microcell**, το οποίο έχει ακτίνα κάλυψης με ελάχιστη τιμή 100 m και μέγιστη τιμή 1 Km. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών των κινητών μονάδων που βρίσκονται και κινούνται στις κεντρικές περιοχές των πόλεων,
- το **macrocell**, το οποίο μπορεί να καλύψει μια περιοχή ακτίνας αρκετών χιλιομέτρων και χρησιμοποιείται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων που κινούνται σε οδούς εκτός πόλεων καθώς και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές,
- το **global cell** (ή **overlay cell**), το οποίο καλύπτεται από τους δορυφόρους και είναι διαθέσιμο σε οποιαδήποτε τοποθεσία σε όλο τον κόσμο.

Με αυτή την ιεραρχική δομή κυψελών, το UMTS μπορεί να παρέχει τις υπηρεσίες του στους χρήστες που βρίσκονται σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές πάνω στον πλανήτη.



Εικόνα 15. Περιβάλλον παγκόσμιας ραδιοκάλυψης μέσω του UMTS.

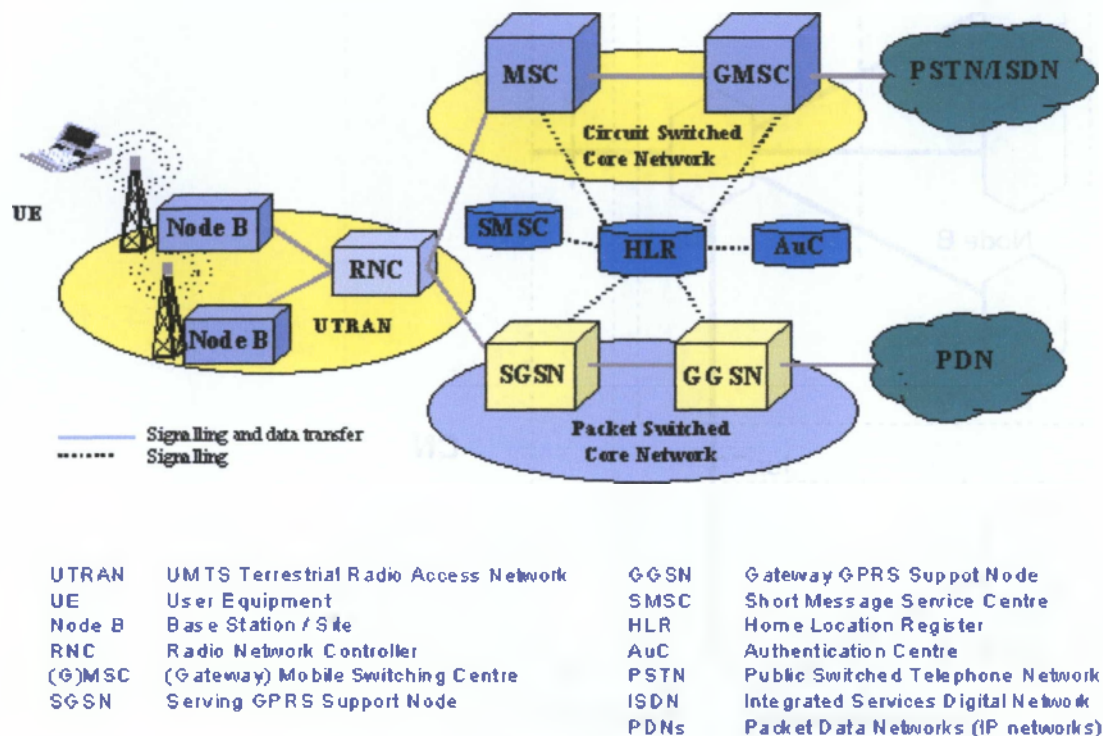
4.6. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ UMTS

Το σύστημα UMTS αποτελείται από διάφορα δομικά στοιχεία, κάθε ένα από τα οποία επιτελεί μια καθορισμένη λειτουργία. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε υποδίκτυα, όπως είναι για παράδειγμα το UMTS επίγειο δίκτυο ραδιοπρόσβασης (UTRAN) που χειρίζεται όλη τη ραδιολειτουργία του συστήματος, το δίκτυο κορμού (CN) που υλοποιεί την μεταγωγή - δρομολόγηση των κλήσεων και την διασύνδεση με άλλα εξωτερικά δίκτυα και ο εξοπλισμός του χρήστη (UE) που αποτελεί το φυσικό μέσο διασύνδεσης του χρήστη με το δίκτυο. Η γενική αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS φαίνεται στην εικόνα 16.

Το υποδίκτυο χρηστών (user sub-network) αποτελείται από δύο στοιχεία, την USIM (UMTS Subscriber Identity Module) δηλαδή την μονάδα πιστοποίησης του συνδρομητή στο UMTS και τον κινητό εξοπλισμό ME (Mobile Equipment). Η USIM περιέχει μια έξυπνη κάρτα που φυλάσσει στοιχεία για την ταυτότητα των συνδρομητών και αποθηκεύει τα κλειδιά επικύρωσης και κρυπτογράφησης, κατ' αναλογία με την SIM στα συστήματα GSM.

Το δίκτυο UMTS είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε τα επιμέρους υποδίκτυα να μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα. Το γεγονός αυτό αποτελεί απαραίτητο στοιχείο

για την διαλειτουργικότητα με τα υπόλοιπα δίκτυα 3^{ης} γενιάς καθώς και για την εξασφάλιση της συμβατότητας ανάμεσα σε ετερογενή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (π.χ. διασύνδεση μεταξύ UMTS και GSM).



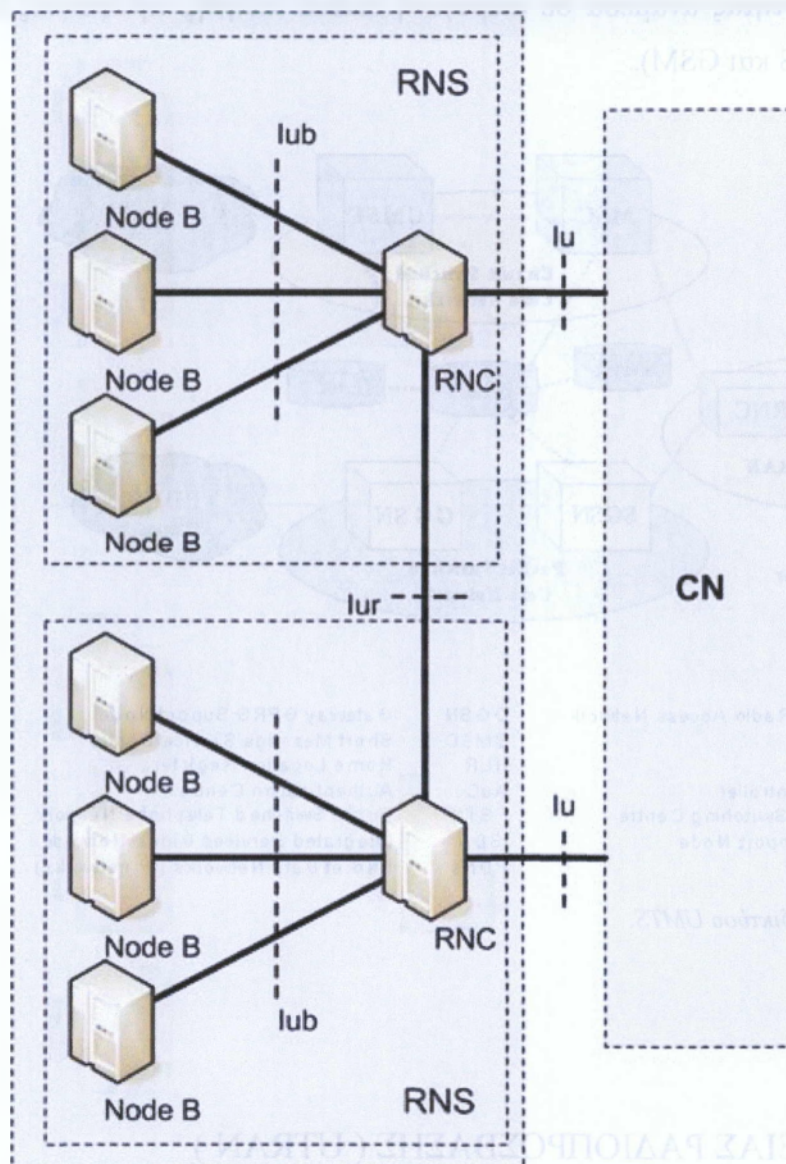
Εικόνα 16. Αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS.

4.6.1. ΔΙΚΤΥΟ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΡΑΔΙΟΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (UTRAN)

Το UTRAN ή δίκτυο ραδιοπρόσβασης WCDMA (WCDMA RAN) αποτελείται από ένα σύνολο υποσυστημάτων ασύρματης πρόσβασης RNS (Radio Network Subsystem), κατ' αναλογία με τα BSS στα συστήματα GSM. Πρόκειται για τα σημεία πρόσβασης των τελικών χρηστών προς το δίκτυο και είναι υπεύθυνα για την εγκατάσταση και τον τερματισμό των διαύλων τους οποίους χρησιμοποιούν τα κινητά τερματικά για να αλληλεπιδράσουν με το δίκτυο. Διαχειρίζονται δηλαδή τους ασύρματους πόρους του δικτύου και συνδέονται με το Δίκτυο Κορμού μέσω της διεπαφής Iu (εικόνα 17.).

Περιλαμβάνουν δε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τις μεταδόσεις και τις συνδέσεις όπως είναι οι αναμεταδότες, ελεγκτές κ.ο.κ.

UTRAN



Εικόνα 17. Δομή του UTRAN.

Η σχέση που έχει κάθε χρήστης που συνδέεται στο δίκτυο με το υποσύστημα RNS που τον εξυπηρετεί είναι ένα προς ένα, και ο σχετικός RNS ονομάζεται Serving RNS (SRNS). Αυτός είναι ο μόνος αρμόδιος για την εγκατάσταση και τον τερματισμό των συνδέσεων του χρήστη. Ωστόσο, συχνά είναι δυνατόν κάποιο άλλο RNS να προσφέρει τους πόρους που διαχειρίζεται στο κινητό τερματικό του χρήστη, σε περίπτωση που αυτός εισέλθει σε κυψέλη που εξυπηρετείται από το συγκεκριμένο υποσύστημα, το οποίο στην περίπτωση αυτή ονομάζεται Drift RNS (DRNS).

Τα κύρια δομικά στοιχεία του UTRAN είναι ο ελεγκτής του δικτύου ραδιοπρόσβασης RNC (Radio Network Controller) και ο κόμβος B (Node B) ή RBS (Radio Base Station).

Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσότερων κελιών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω των διεπαφών Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B λειτουργεί στο επίπεδο φυσικού μέσου και δικτύου (μοντέλο OSI) και μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις πάνω στην ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσμων προς τα UEs και δίνει αναφορές στον RNC.

Ο RNC ασκεί τον κεντρικό έλεγχο στα στοιχεία RNS, διαχειρίζεται την ανταλλαγή των πρωτοκόλλων και είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση και λειτουργία ολόκληρου του δικτύου RNS. Επίσης, είναι επιφορτισμένος με τις διαδικασίες για την μεταγωγή των κλήσεων (handover) με την απαιτούμενη σηματοδότηση από τον εξοπλισμό του χρήστη UE και υποστηρίζει την macro diversity μεταξύ διαφορετικών κόμβων B. Οι RNC συνδέονται μεταξύ τους διαμέσου της λογικής διεπαφής Iur και ο τελικός από αυτούς αποτελεί το ένα άκρο μιας φυσικής πρόσβασης ή ενός δικτύου μεταφοράς που καταλήγει στο δίκτυο κορμού.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο RNC ελέγχει τους ραδιοπόρους του συστήματος και αποτελεί το σημείο εξυπηρέτησης όλου του ου WCDMA που προωθεί τις υπηρεσίες προς το δίκτυο κορμού.

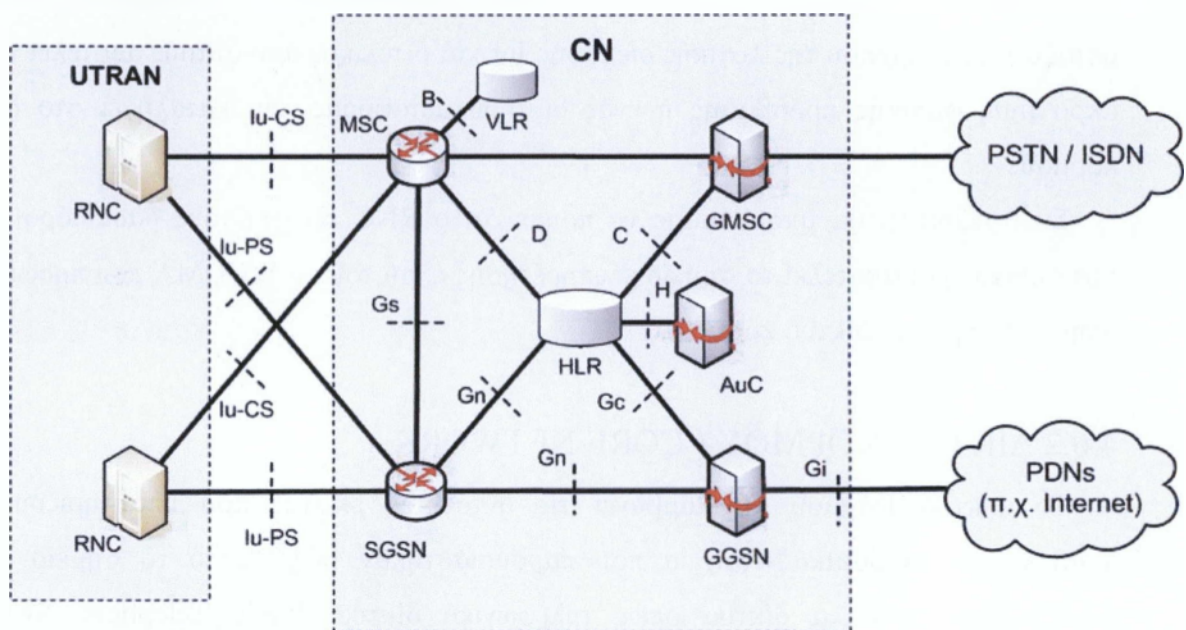
4.6.2 ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ (CORE NETWORK)

Το Δίκτυο Κορμού περιλαμβάνει τις οντότητες εκείνες που υποστηρίζουν και διασυνδέουν τα δομικά στοιχεία που παρουσιάστηκαν μέχρι αυτό το σημείο. Είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα όπως τηλεφωνικά δίκτυα Public Telephone Switched Network (PSTN), δίκτυα δεδομένων Public Data Networks (PDNs) όπως το Internet καθώς και με άλλα κινητά δίκτυα. Είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών καθώς και για άλλες πολλές βασικές λειτουργίες. Διαιρείται σε δύο πεδία:

- Το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) : περιλαμβάνει τις οντότητες που υποστηρίζουν υπηρεσίες προσανατολισμένες σε σύνδεση, κάτι που σημαίνει ότι οι πόροι του δικτύου δεσμεύονται κατά την εκκίνηση της σύνδεσης και της υπηρεσίας και απελευθερώνονται με το πέρας αυτής. Τέτοιες οντότητες είναι οι κόμβοι MSC, GMSC και VLR.
- Το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS): περιλαμβάνει τις οντότητες που υποστηρίζουν υπηρεσίες που χρησιμοποιούν PS τύπο σύνδεσης, που δεν είναι δηλαδή προσανατολισμένες σε σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι ανεξάρτητα πακέτα

μεταφέρουν τμηματικά τις πληροφορίες και τα δεδομένα του χρήστη. Κάθε πακέτο μπορεί να δρομολογηθεί ανεξάρτητα από το άλλο και να χρησιμοποιήσει διαφορετικούς πόρους του συστήματος, ανάλογα με την κίνηση σε κάθε κόμβο κ.ο.κ. Τέτοιοι κόμβοι είναι οι GGSN και SGSN, ή γενικότερα οντότητες που υποστηρίζουν το GPRS.

Υπάρχουν βέβαια και κάποιες οντότητες κοινές, ανεξαρτήτως τμήματος, όπως είναι οι κόμβοι HSS (Home Subscriber Server), HLR (Home Location Register) και AuC (Authentication Centre).



Εικόνα 18. Η δομή του Δικτύου Κορμού

4.7. Η ΡΑΔΙΟΕΠΑΦΗ ΑΕΡΑ W-CDMA

Η W-CDMA περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες τεχνικές για πρόσβαση στο ραδιοδίκτυο και χρησιμοποιείται στα κυψελοειδή συστήματα τρίτης γενιάς. Τα 3G συστήματα για να υποστηρίξουν τις ευρείας ζώνης υπηρεσίες, επιθυμούν την τηλεοπτικής και υψηλής ποιότητας μετάδοση, εφάμιλλη με αυτήν που εφαρμόζεται στα σταθερά δίκτυα. Στα συστήματα W-CDMA, η δομή των πρωτοκόλλων δικτύων είναι παρόμοια με αυτή του GSM και έτσι η τεχνολογία GSM μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε W-CDMA τεχνολογία 3ης γενιάς σύμφωνα με την υλοποίηση EDGE.

Με τη βοήθεια της W-CDMA έγινε εφικτή η υποστήριξη πολλαπλών χρηστών με ένα και μόνο σημείο πρόσβασης (π.χ. κεραία κινητής τηλεφωνίας). Το κύριο πλεονέκτημα της

WCDMA είναι ότι ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές που αναπόφευκτα δημιουργούνται μεταξύ των ταυτόχρονων εκπομπών.

Η W-CDMA χρησιμοποιεί την ευρείας ζώνης, άμεσης-ακολουθίας τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με επιμερισμό κωδικού (DS – CDMA). Αυτό σημαίνει ότι τα bits πληροφορίας του χρήστη διαχέονται κατά μήκος μίας ευρείας ζώνης συχνοτήτων. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται με πολλαπλασιασμό των δεδομένων του χρήστη με μια ακολουθία από σχεδόν τυχαία bits (γνωστά ως chips), τα οποία προέρχονται από τους CDMA κώδικες διάχυσης (spreading codes). Η τεχνική αυτή βασίζεται στο CDMA, μόνο που σε αντίθεση με αυτό, χρησιμοποιεί περισσότερες από μια συχνότητες για τη διαχείριση της συνολικής κίνησης. Μολονότι απαιτείται μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων για τη λειτουργία του, καθιστά εφικτή, με τις τεχνικές που χρησιμοποιεί, τη μετάδοση πληροφοριών σε ταχύτητες που φθάνουν θεωρητικά τα 2 Mbps.

Η W-CDMA υποστηρίζει δύο βασικούς τρόπους λειτουργίας: τον FDD (Frequency Division Duplex) και τον TDD (Time Division Duplex). Στον τρόπο FDD, δύο ξεχωριστές συχνότητες φέροντος των 5 MHz χρησιμοποιούνται, η μία στο uplink και η άλλη στο downlink, ενώ στον TDD μία μόνο φέρουσα των 5 MHz χρησιμοποιείται και για το uplink και για το downlink.

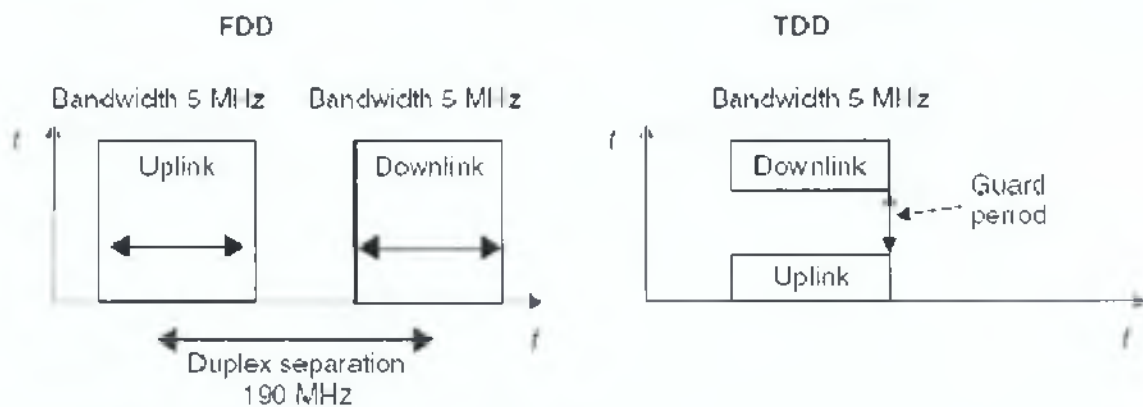
4.7.1. ΤΡΟΠΟΙ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΜΕΡΙΣΜΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (FDD) ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΥ (TDD)

Στις κινητές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί τρόποι αμφίδρομης μετάδοσης: η FDD (Frequency Division Duplex), η TDD (Time Division Duplex) και η SDD (Space Division Duplex). Από αυτές, οι δύο βασικότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες είναι η FDD και η TDD.

Η FDD είναι η πιο κοινή μέθοδος αμφίδρομης μετάδοσης στα κυψελοειδή συστήματα. Χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, στο GSM, καθώς επίσης και σε τερματικά WCDMA που λειτουργούν στις ζώνες συχνοτήτων UMTS. Η βασική αρχή λειτουργίας της FDD είναι ότι διατίθενται δύο ξεχωριστές ζώνες συχνοτήτων για μεταδόσεις μία για την άνω ζεύξη και μία για την κάτω ζεύξη. Στο FDD η πρόσβαση στους ραδιοπόρους του συστήματος επιτυγχάνεται με ένα υβριδικό μοντέλο όπου γίνεται συνδυασμός τεχνικών επιμερισμού κώδικα CDMA και επιμερισμού συχνότητας FDMA . Τα επιμέρους σήματα

των συνδρομητών, διαχωρίζονται με διαφορετικούς spreading κώδικες. Ο ρυθμός μεταφοράς, προσδιορίζεται από τον spreading factor και από τις multicode μεταδόσεις.

Στο TDD τρόπο λειτουργίας η ίδια φέρουσα χρησιμοποιείται και για την άνω ζεύξη και για την κάτω ζεύξη, ωστόσο η κατεύθυνση της μετάδοσης εναλλάσσεται στο χρόνο. Η πρόσβαση στους πόρους του συστήματος υλοποιείται μέσα από ένα συνδυασμό τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης CDMA και TDMA. Το TDMA frame έχει διάρκεια 10 ms και επιμερίζεται σε 15 χρονοθυρίδες (time slots) κάθε μία από τις οποίες μπορεί να υλοποιηθεί με 16 CDMA κανάλια και επομένως μέχρι 16 χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στην ίδια χρονοθυρίδα σε αντίθεση π.χ. με το GSM όπου μόνο ένας χρήστης έχει πρόσβαση σε μία χρονοθυρίδα. Αυτό είναι δυνατόν αφού κάθε χρήστης διαχωρίζεται με ένα μοναδικό ορθογώνιο channelization κώδικα. Ο ρυθμός δεδομένων ενός χρήστη εξαρτάται από τον spreading factor που εκχωρείται. Ο ρυθμός δεδομένων στις χρονοθυρίδες μπορεί να μεταβληθεί ανεξάρτητα στο upstream και στο downstream. Η μεταβολή στους ρυθμούς μεταφοράς, μπορεί να επιτευχθεί στο TDD mode είτε με μεταβλητό κώδικα (multicode, multislot) ή με αλλαγή του spreading factor.



Εικόνα 19. Βασικές αρχές λειτουργίας των FDD ΚΑΙ TDD.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για την χρησιμοποίηση TDD τρόπων λειτουργίας στο UMTS.

- Ο πρώτος έγκειται στην διάθεση του ραδιοφάσματος. Το ραδιοφάσμα, σύμφωνα με τις συστάσεις της IMT – 2000 είναι ασύμμετρο κάτι το οποίο σημαίνει ότι ο FDD δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει ολόκληρο το φάσμα. Επομένως, το συμμετρικό κομμάτι δεσμεύεται για τα FDD συστήματα που λειτουργούν με συμμετρικές ζώνες συχνοτήτων για τις DL και UL

μεταδόσεις, ενώ το ασύμμετρο τμήμα του φάσματος χρησιμοποιείται από τα TDD συστήματα.

- Δεύτερον, πολλές από τις υπηρεσίες που παρέχουν τα 3G δίκτυα απαιτούν ασύμμετρη μεταφορά δεδομένων μεταξύ DL και UL, όπου σχεδόν πάντα, το DL απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το UL. Στο UL στέλνονται μόνο εντολές ελέγχου ενώ το DL μεταφέρει εκατοντάδες Kbits από δεδομένα χρηστών ανά δευτερόλεπτο προς τον συνδρομητή. Κλασικό παράδειγμα αυτής της περίπτωσης είναι το Web – Surfing.
- Ο τρίτος λόγος είναι η ευκολία στον έλεγχο της ισχύος. Όπως είδαμε, και για τις DL και τις UL μεταδόσεις χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα και επομένως τα χαρακτηριστικά της ταχείας διάλειτουργίας είναι τα ίδια και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ο TDD πομπός μπορεί να προβλέψει τις συνθήκες διάλειτουργίας με βάση τα λαμβανόμενα σήματα και επομένως δεν χρησιμοποιείται έλεγχος κλειστού βρόχου αλλά έλεγχος ισχύος ανοιχτού βρόχου που αποτελεί και απλούστερη περίπτωση.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του TDD mode συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- **Χρήση ασύζευκτης ζώνης συχνοτήτων:** Ο TDD mode μπορεί να υλοποιηθεί με μία μονή ζώνη συχνοτήτων που να εξυπηρετεί ταυτόχρονα και το UL και το DL, ενώ ο FDD mode απαιτεί πάντοτε ζεύγος από ζώνες συχνοτήτων.
- **Ασυνεχής μετάδοση:** Η εναλλαγή μεταξύ των κατευθύνσεων μετάδοσης απαιτεί χρόνο ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο της λανθασμένης μετάδοσης. Για τον λόγο αυτό, διατίθεται ένα μικρό χρονικό διάστημα ανάμεσα στις χρονοθυρίδες το οποίο επιτρέπει την ανεπηρέαστη μετάδοση ανάμεσα στο DL και το UL.
- **Παρεμβολή ανάμεσα στο DL και το UL:** Λόγω ότι και οι δύο κατευθύνσεις μετάδοσης χρησιμοποιούν την ίδια φέρουσα συχνότητα, τα σήματα θα παρεμβάλλονται το ένα στο άλλο. Για τον λόγο αυτό, οι επιμέρους σταθμοί βάσης είναι συγχρονισμένοι ο ένας με τον άλλο σε επίπεδο πλαισίου για να αποφευχθεί η παρεμβολή.
- **Αντίστροφο κανάλι:** Η ταχεία διάλειτουργία εξαρτάται από την συχνότητα και επομένως στα FDD συστήματα είναι ασυσχέτιστη ανάμεσα στο UL και το DL. Λόγω όμως ότι στον TDD τρόπο λειτουργίας χρησιμοποιείται η ίδια φέρουσα συχνότητα, η ταχεία διάλειτουργία είναι ίδια και στο DL και το UL. Ανάλογα με το λαμβανόμενο σήμα, ο πομποδέκτης TDD μπορεί να εκτιμήσει την ταχεία διάλειτουργία η οποία θα επηρεάσει την μετάδοση.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο FDD χρησιμοποιείται για να παρέχει κάλυψη σε μια ευρεία περιοχή, ενώ η χρήση του TDD περιορίζεται μόνο στο να συμπληρώνει τον FDD εντός εσωτερικών-κλειστών χώρων. Οι TDD κυψέλες αποτελούν χαρακτηριστικό των κλειστών χώρων, όπου μπορούν να παρέχουν υψηλούς ρυθμούς δεδομένων στο DL.

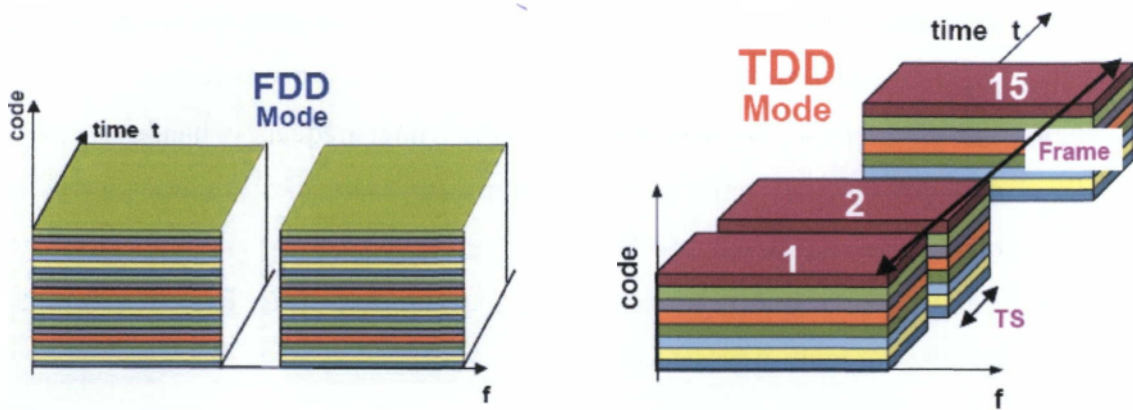
Κοινές ιδιότητες στα UTRAN TDD / FDD

- Εύρος ζώνης B = 5 MHz (μαζί με τα διαστήματα ασφαλείας),
- Ρυθμός των chips = 3.84 Mcchip/s,
- Μέθοδος διαμόρφωσης: QPSK,
- Επαναχρησιμοποίηση Συχνοτήτων= 1 (πχ. Η ίδια συχνότητα σε γειτονικά cells),
- Δομή χρόνου (πλαίσιο & χρονοθυρίδες),
- Spreading κώδικες: Μεταβλητού ρυθμού ορθογώνιοι κώδικες.

Διαφορές στα UTRAN TDD / FDD

Μερικές από τις σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των UTRAN FDD και UTRAN TDD είναι οι ακόλουθες:

- Το FDD χρησιμοποιεί καθαρό W-CDMA (DS-CDMA) για την πολύπλεξη. Η πληροφορία που μεταφέρεται είναι συνεχώς διασκορπισμένη στο bandwidth. Η μικρότερη διάρκεια μετάδοσης εξαρτάται από το πλαίσιο (10 msec). Το TDD χρησιμοποιεί έναν υβριδικό συνδυασμό του TDMA και του W-CDMA (DS-CDMA) σαν πολλαπλή πρόσβαση. Όπως συμβαίνει και στο GSM, η μετάδοση γίνεται με απλά bursts.
- Το TDMA πλαίσιο (10 msec) περιλαμβάνει 15 χρονοθυρίδες που περιέχουν bursts από διαφορετικούς χρήστες (CDMA components).
- Το FDD χρησιμοποιεί spreading factors με τιμές από 4 έως 256 στο UL και από 4 έως 512 στο DL. Το TDD χρησιμοποιεί spreading factors με τιμές 1 και 16. Το FDD συχνά χρησιμοποιεί soft handover ενώ το TDD hard handover.



Εικόνα 20. Τρόποι λειτουργίας FDD και TDD

4.7.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΕΠΑΦΗΣ W-CDMA

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά της ραδιοεπαφής WCDMA παρατίθενται παρακάτω:

- Υποστήριξη μετάδοσης υψηλού ρυθμού δεδομένων, 384 Kbps για κάλυψη σε ευρεία περιοχή ενώ για τοπική κάλυψη έως 2 Mbps.
- Ευελιξία στην παροχή υπηρεσιών: υποστήριξη μεταβλητού ρυθμού υπηρεσιών σε κάθε σύνδεση.
- Μέθοδοι λειτουργίας με τεχνικές αμφιδρόμησης της συχνότητας (FDD) και του χρόνου (TDD).
- Δυνατότητα προσαρμογής σε μελλοντικά αναβαθμισμένες τεχνολογίες (π.χ. προσαρμοζόμενες κεραιές, προηγμένες δομές δεκτών και ποικιλία συσκευών αποστολής σημάτων) για την βελτίωση της ραδιοκάλυψης.
- Η υποστήριξη διασυχνοτικής μεταγωγής (inter-frequency handover) μεταξύ διαφορετικών συστημάτων (inter-system) και επομένως συμβατότητα με προγενέστερα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, π.χ. GSM.
- Αποδοτική πρόσβαση πακέτων.

Η ραδιοεπαφή WCDMA προσφέρει πολύ σημαντική βελτίωση (υψηλό bit rate, 384 kbps σε ανοικτές περιοχές και 2 Mbps τοπικά) σε σύγκριση με το 2G στενού εύρους CDMA.

Συνοπτικά, το W-CMDA μπορεί να προσφέρει:

- Βελτίωση στην κάλυψη και την χωρητικότητα, διεύρυνση του φάσματος και σαφή ανίχνευση της άνω ζεύξης (uplink detection με 5MHz bandwidth).
- Υποστήριξη για διασυχνοτική μεταγωγή (inter-frequency handover), που είναι απαραίτητη για μεγάλης χωρητικότητας, ιεραρχικές δομές (large-capacity hierarchical cell structures - HCS).
- Υποστήριξη τεχνολογιών επαύξησης της χωρητικότητας, όπως προσαρμοζόμενες κεραίες και multi-user detection.

Το Wideband CDMA αποτελεί μια σημαντική πρόοδο των τεχνολογιών TDMA και FDMA που λειτουργούν στο GSM. Προσφέρει μεταφορά δεδομένων της τάξης των 384kbits/s για κάλυψη ευρείας περιοχής και 2Mbit/s για τοπική. Όπως και στο CDMA, κάθε σήμα του χρήστη κωδικοποιείται ξεχωριστά. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα ένα και μόνο κανάλι συχνότητας χωρίς να παρεμβάλλεται ο ένας στον άλλο. Έτσι, προσφέρεται περίπου 25 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης, συγκριτικά με το GSM. Στο πλήρως ψηφιακό σύστημα CDMA και W-CDMA τα δεδομένα που πρόκειται να αποσταλούν «σπάνε» σε πολύ μικρά «πακέτα», σε καθένα από τα οποία προσδίδεται ένας κωδικός. Από πλευράς ορολογίας, υπάρχει ο όρος chip. Το chip είναι η μικρότερη μονάδα υψηλού ποσοστού κωδικοποιημένης ακολουθίας. Όταν λοιπόν στέλνεται ένα σήμα, έχει προηγουμένως χωριστεί σε μικρότερα κομμάτια στα οποία τους έχει δοθεί ένας μοναδικός κωδικός, κι ύστερα στέλνονται στις ραδιοσυχνότητες του δικτύου. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό διακίνησης των chips, τόσο μεγαλύτερο το εύρος του σήματος που καταλήγει. Το εύρος σε κάθε συχνότητα μπορεί να φτάσει τα 3.84 Mcips/s και έτσι το εύρος ζώνης της κάθε συχνότητας μπορεί να επεκταθεί μέχρι τα 5 MHz στο W-CDMA, συγκριτικά με τα 200 KHz στα συστήματα 2ης γενιάς. Όσο μεγαλύτερο είναι λοιπόν το εύρος ζώνης, τόσο πιο πολλά οφέλη απόδοσης έχει και τόσο μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων μπορεί να υποστηρίξει.

4.8. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που εφαρμόζονται για την διάχυση του φάσματος του σήματος πληροφορίας. Οι πιο σημαντικές είναι αυτές που αναφέρονται παρακάτω:

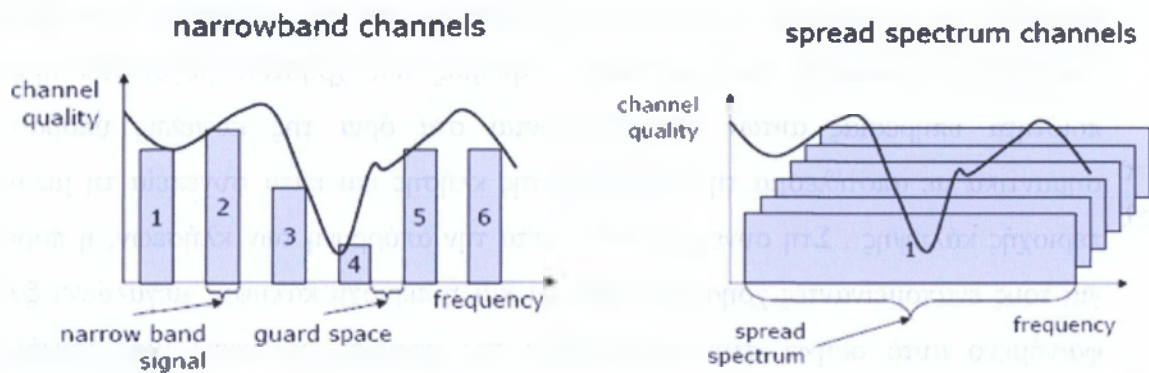
- Άμεσης – Ακολουθίας Πολλαπλή Πρόσβαση με Επιμερισμό Κώδικα (DS – CDMA)

- Η διάχυση με αναπήδηση συχνότητας (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS). Frequency – Hopping CDMA
- Time – Hopping CDMA
- Multicarrier CDMA

4.8.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ

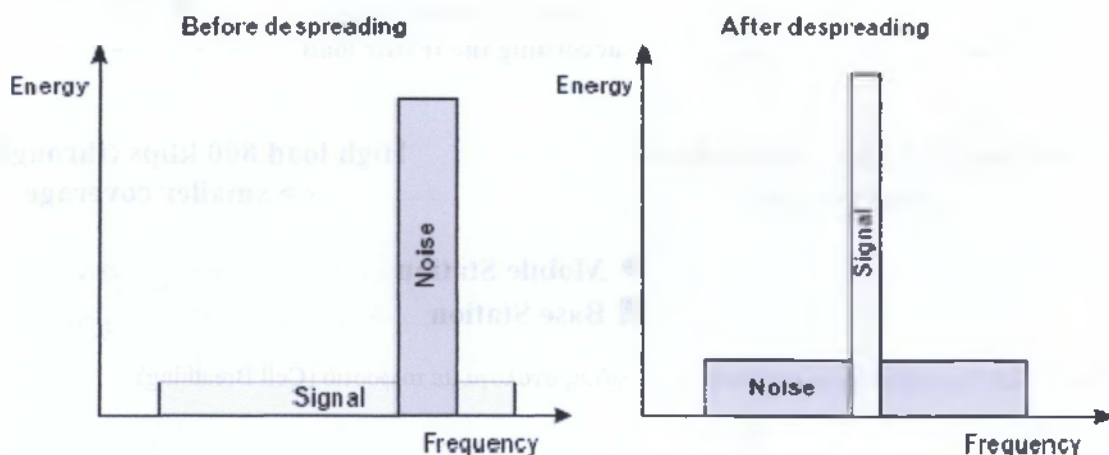
Τα σήματα διάχυτου φάσματος παρουσιάζουν κάποιες πολύ σπουδαίες ιδιότητες. Αυτές είναι:

- Η ευρείας ζώνη διάδοση είναι λιγότερο επιρρεπής στην παρεμβολή και την σκίαση (Εικόνα 21).



Εικόνα 21. Η ευαισθησία στις παρεμβολές και την σκίαση είναι μικρότερη στην ευρείας ζώνη διάδοση

- Η πυκνότητα ισχύος του φάσματος είναι χαμηλή και η μετάδοση δεν επηρεάζεται από τον θόρυβο υποβάθρου (background noise).
- Ανθεκτικότητα σε στενής ζώνης παρεμβολή (Εικόνα 22).

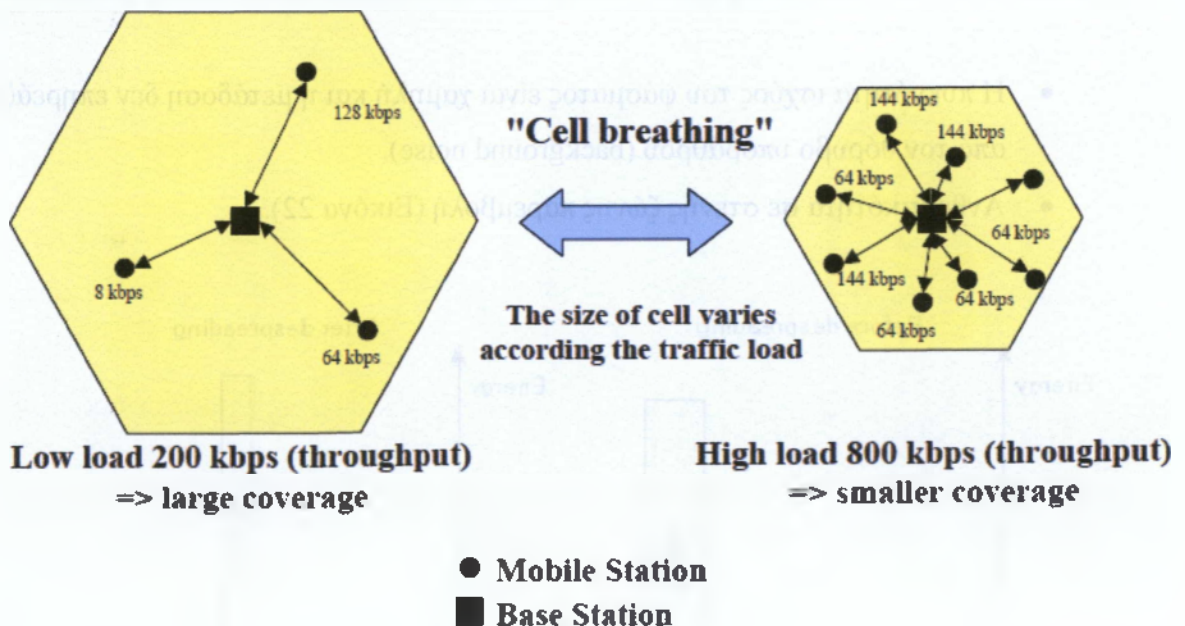


Εικόνα 22. Ανθεκτικότητα σε στενής ζώνης παρεμβολή

- Το CDMA είναι πολύ αποδοτικό στην διαχείριση του φάσματος, εφόσον επαναχρησιμοποιείται σε κάθε κυψέλη ο ίδιος φορέας.
- Θεωρητικά δεν υπάρχει ανώτατο όριο για τους χρήστες που μπορεί να εξυπηρετήσει το σύστημα κάθε στιγμή. Βέβαια, το όριο τίθεται από τις παρεμβολές των χρηστών που κάποια στιγμή θα γίνουν απαγορευτικές.
- Τέλος, υπάρχει δυνατότητα για soft handover.

4.9. CELL BREATHING

Η κάλυψη του W-CDMA εξαρτάται από το φορτίο στις κυψέλες. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των ενεργών χρηστών αυξάνεται η στάθμη της παρεμβολής μαζί με το φορτίο της κυψέλης, με αποτέλεσμα να μειώνεται η χωρητικότητα του συστήματος και η περιοχή κάλυψης της κυψέλης. Όταν δηλαδή ο αριθμός των χρηστών μεγαλώνει αρκετά, η ποιότητα υπηρεσίας αυτών που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης υποβαθμίζεται σημαντικά με αποτέλεσμα την απόρριψη της κλήσης και κατά συνεπεία τη μείωση της περιοχής κάλυψης. Στη συνέχεια όμως, μετά την απόρριψη των κλήσεων, η παρεμβολή για τους εναπομείναντες χρήστες μειώνεται και η περιοχή κάλυψης μεγαλώνει ξανά. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στην αυξομείωση της περιοχής κάλυψης μιας κυψέλης και περιγράφεται από τον όρο "cell breathing".



Εικόνα 23. Η μεταβολή του μεγέθους της κυψέλης ανάλογα με το φορτίο (Cell Breathing)

Στη downlink κατεύθυνση όλες οι συνδέσεις χρησιμοποιούν από κοινού τον ίδιο ενισχυτή ισχύος. Στη περίπτωση που για ένα μικρό χρονικό διάστημα ο τηλεπικοινωνιακός φόρτος μειωθεί είναι πάρα πολύ πιθανό κάποια κινητή μονάδα να συνδεθεί στο σταθμό βάσης έτος της περίπτωσης που όλες οι κινητές μονάδες βρίσκονται πολύ μακριά από το σταθμό βάσης. Στην αντίθετη περίπτωση που η κυκλοφορία είναι υψηλή, έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ραδιοκάλυψη και η κινητή μονάδα να συνδέεται με τον σταθμό βάσης μόνο αν είναι πολύ κοντά σε αυτόν. Αυτό οφείλεται στην ευαισθησία του δέκτη, που εξαρτάται από τον λόγο « φορέα προς θόρυβο ».

Η κυψέλη είναι σχεδιασμένη για μία συγκεκριμένη χωρητικότητα. Η διαχείριση της πηγής πληροφοριών με έλεγχο της στάθμης παρεμβολής και του τηλεπικοινωνιακού φόρτου μπορεί να εγγυηθεί τη συνολική ποιότητα υπηρεσιών του συστήματος (QoS) επιτρέποντας την είσοδο ή εμποδίζοντας να εισέλθουν στο σύστημα νέοι χρήστες.

4.10. ΤΑΞΕΙΣ QoS (QUALITY OF SERVICE) ΣΤΟ UMTS

Με τον όρο Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service) αναφερόμαστε γενικά στη δυνατότητα του δικτύου να προσφέρει καλύτερες υπηρεσίες προς τους χρήστες, δηλαδή υπηρεσίες με εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, αυξημένα χαρακτηριστικά για την ελαχιστοποίηση της απώλειας των δεδομένων, μικρή διακύμανση καθυστέρησης (jitter) και ελεγχόμενη καθυστέρηση. Η Ποιότητα Υπηρεσίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε κάθε σύγχρονο δίκτυο. Από την μεριά του χρήστη, είναι προφανές ότι αυτός επιθυμεί από το δίκτυο όχι απλά να τον εξυπηρετεί, αλλά να τον εξυπηρετεί ανάλογα με τις δικές του ανάγκες και απαιτήσεις.

Για να επιτευχθεί μία ευέλικτη κατηγοριοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών, έχουν δημιουργηθεί ορισμένες κλάσεις QoS, οι οποίες βασίζονται στα χαρακτηριστικά των εφαρμογών και των υπηρεσιών αυτών.

Στο UMTS οι υπηρεσίες διαχωρίζονται σε τέσσερις τάξεις, οι οποίες είναι οι εξής :

- conversational
- streaming
- interactive
- background

Κάθε κατηγορία ορίζει πόσο ευαίσθητη στην καθυστέρηση είναι η κάθε εφαρμογή που ανήκει σε κάποια τάξη. Οι εφαρμογές της τάξης Conversational, όπως είναι η φωνή, είναι πιο ευαίσθητες στην καθυστέρηση σε σχέση με εφαρμογές της τάξης Background. Οι τάξεις Conversational και Streaming είναι και οι δύο υπεύθυνες για τη μεταφορά realtime πληροφορίας, αλλά πιο ευαίσθητη στην καθυστέρηση είναι η Conversational.

Αντίθετα, οι τάξεις Interactive και Background έχουν ως κύριο σκοπό την ακεραιότητα των δεδομένων. Ως λιγότερο ευαίσθητες στην καθυστέρηση, κατέχουν ένα καλύτερο BER (Bit Error Rate) και χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές Internet, όπως είναι η πλοήγηση στο Web, το E-mail, το FTP, κ.α. Αυτές που έχουν υψηλότερη προτεραιότητα είναι οι εφαρμογές της τάξης Interactive. Οι τάξεις αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες εφαρμογών, οι οποίες είναι:

- εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Conversational & Streaming),
- εφαρμογές μη πραγματικού χρόνου (Interactive & Background).

4.10.1. ΤΑΞΗ CONVERSATIONAL

Η τάξη αυτή εντοπίζεται σήμερα στην απλή τηλεφωνία. Εκτός όμως της τηλεφωνίας υπάρχει ακόμα μία εφαρμογή που έχει τη μορφή του Voice over IP (VoIP) ή ακόμα της βίντεο-συνδιάσκεψης. Λόγω ότι από τη φύση τους τέτοιες εφαρμογές είναι εφαρμογές πραγματικού χρόνου, οι χρόνοι μετάδοσης θα πρέπει να είναι μικροί. Εάν δε συμβαίνει αυτό θα υπάρχει η δυνατότητα μίας πραγματικής συνομιλίας. Επίσης, οι διάφορες ροές δεδομένων θα πρέπει να είναι χρονικά συσχετισμένες και συγχρονισμένες. Οι μεγάλοι χρόνοι καθυστέρησης αποφεύγονται σε αυτήν την τάξη, καθώς κάτι τέτοιο οδηγεί σε μεγάλη υποβάθμιση της ποιότητας, κάτι το οποίο δεν ικανοποιεί τους χρήστες. Συνοψίζοντας, οι κύριοι στόχοι της τάξης αυτής είναι η διασφάλιση του χρονικού συσχετισμού μεταξύ των ροών δεδομένων και η εγγύηση της χαμηλής καθυστέρησης.

4.10.2. ΤΑΞΗ STREAMING

Η τάξη αυτή αντιστοιχεί σε ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου, όπως είναι οι ροές ήχου και βίντεο. Για παράδειγμα αναφέρεται σε εφαρμογές όπως η αναπαραγωγή μουσικής μέσω δικτύου ή η παρακολούθηση ταινίας. Η ροή των δεδομένων έχει κατεύθυνση από τον εξυπηρετητή προς τον χρήστη που έχει ζητήσει την αντίστοιχη υπηρεσία. Έτσι η επικοινωνία είναι σχεδόν μονόδρομη καθώς έχουμε πολύ μικρή αλληλεπίδραση μεταξύ του εξυπηρετητή και του χρήστη. Ουσιαστικά ο εξυπηρετητής στέλνει τα δεδομένα και ο

χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέγει την υπηρεσία που επιθυμεί, να την σταματά προσωρινά (pause) και να την αναπαραγάγει. Με αυτό τον τρόπο δεν έχουμε μεγάλη ζήτηση για χαμηλή καθυστέρηση, αν και είναι πάντοτε επιθυμητή. Για μία εφαρμογή όπως είναι η παρακολούθηση μίας ταινίας, μία ροή μπορεί να συμπεριλαμβάνει διάφορα στοιχεία, καθώς είναι δυνατή η χρήση διαφορετικών υποροών ώστε να μεταφερθούν ξεχωριστά ο ήχος, η εικόνα και οι υπότιτλοι. Για να γίνει όμως η ορθή αναπαραγωγή στον τελικό παραλήπτη, πρέπει να υπάρξει συγχρονισμός όλων αυτών των στοιχείων και έτσι δημιουργείται η ανάγκη για χρονική συσχέτιση μεταξύ των ροών. Συμπερασματικά λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι ο κύριος σκοπός αυτής της τάξης είναι η εξασφάλιση της χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μίας ροής.

4.10.3. ΤΑΞΗ INTERACTIVE

Στην τάξη αυτή ανήκουν όλες εκείνες οι εφαρμογές που απαιτούν αλληλεπίδραση μεταξύ του εξυπηρετητή και του χρήστη, όπως είναι η πλοήγηση στο Web και διάφορες on-line συναλλαγές. Επίσης περιλαμβάνει και εφαρμογές όπου υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ μηχανών, όπως για παράδειγμα η διαρκής ανανέωση στοιχείων από τη βάση δεδομένων ενός άλλου μηχανήματος. Οι κύριες ενέργειες βασίζονται στις ερωταποκρίσεις και έτσι οι χρόνοι μετάδοσης θα πρέπει να είναι σύντομοι. Όταν γίνεται μία αίτηση ένα χρονόμετρο τίθεται σε λειτουργία και περιμένει την απάντηση. Έτσι όσο μικρότερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο καλύτερη είναι η προσφερόμενη ποιότητα. Επίσης αυτή η τάξη διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων. Συνοψίζοντας, τα κύρια χαρακτηριστικά της τάξης αυτής είναι η εγγύηση μικρών χρόνων μεταξύ της ερώτησης και της απόκρισης και η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων.

4.10.4. ΤΑΞΗ BACKGROUND

Σε αυτήν την τάξη ανήκουν εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων όπως είναι το e-mail, το FTP, το SMS, το MMS κλπ. Η μοναδική απαίτηση της τάξης αυτής είναι η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων, αφού όλες οι άλλες παράμετροι έρχονται σε δεύτερη μοίρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΣΗ GSM – UMTS ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

5.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ GSM – UMTS

Η βασικότερη διαφορά του UMTS και του GSM είναι η τεχνολογία ραδιοπρόσβασης. Στο UMTS χρησιμοποιείται το WCDMA ενώ στο GSM έχουμε συνδυασμένη χρήση FDMA/TDMA. Η απόσταση μεταξύ των φερόντων είναι 5 MHz σε αντίθεση με τα 200 KHz στο GSM. Ο συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι 1, δηλαδή σε κάθε κυψέλη χρησιμοποιείται η ίδια συχνότητα, οπότε και έχουμε υψηλή φασματική απόδοση.

Στο UMTS χρησιμοποιείται διαφορισμότητα εκπομπής στην κάτω ζεύξη με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας. Η ισχύς εκπομπής του κινητού σταθμού έχει μειωθεί αισθητά (1/8) και είναι 0,125W έναντι του ενός και μισού W στο GSM. Και τέλος, η φιλοσοφία σχεδιασμού είναι πολύ διαφορετική. Το GSM βασίζεται στην χωρητικότητα ενώ στο UMTS απαιτείται η συνδυασμένη αντιμετώπιση χωρητικότητας και κάλυψης, λόγω της μεταβλητότητας των παραμέτρων του συστήματος.

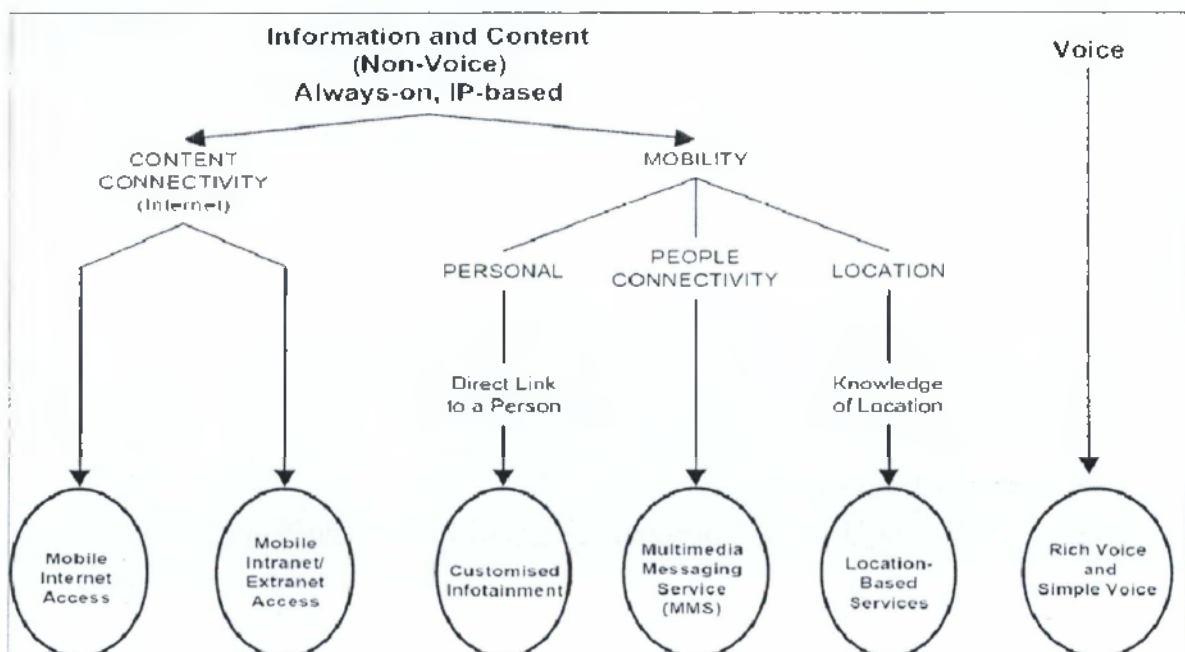
UMTS	GSM	
Ραδιοεπαφή	WCDMA	FDMA/TDMA
Απόσταση φερόντων	5 MHz	200 kHz
Συντελεστής επαναχρησιμοποίησης συχνότητας	1	1-18
Συχνότητα ελέγχου ισχύος	1500 Hz	≤ 2 Hz
Ρυθμός μετάδοσης	< 2 Mbps	< 100 kbps
Πακέτα δεδομένων	Scheduling με βάση το τηλεπικοινωνιακό φορτίο	Scheduling χρονοσχισμών στο GPRS
Διαφορισμότητα εκπομπής στην κάτω ζεύξη	Βελτιώνει τη χωρητικότητα της κάτω ζεύξης	Δεν υποστηρίζεται αλλά μπορεί να εφαρμοστεί
Ισχύς Εκπομπής Κινητού Σταθμού	21dBm (0,125W)	30dBm (1W) ή 27dBm (0,5W)
Φιλοσοφία Σχεδιασμού	Χωρητικότητα και κάλυψη	Χωρητικότητα

Πίνακας 1. Βασικότερες διαφορές UMTS - GSM.

Μια ακόμα σημαντική διαφορά μεταξύ των δικτύων GSM και UMTS είναι ο τρόπος που επηρεάζονται από τις υπηρεσίες δεδομένων. Στο GSM οι επιπτώσεις στην απόδοση των δικτύων είναι αρκετά διαφορετική από εκείνες στο UMTS. Με το GSM, η εισαγωγή των υπηρεσιών δεδομένων έχει επιπτώσεις μόνο στους πόρους που είναι διαθέσιμοι για μεμονωμένους χρήστες. Η παρεμβολή μέσα το δίκτυο είναι η ίδια, είτε φορτώνεται πλήρως με χρήστες φωνής είτε με λίγους χρήστες δεδομένων που καταλαμβάνουν όλες τις χρονοθυρίδες και τα ζεύγη συχνοτήτων. Αντίθετα, με το UMTS η πιθανή παρεμβολή που εισάγεται από έναν χρήστη που χρησιμοποιεί υψηλούς ρυθμούς δεδομένων εξαρτάται από την θέση μέσα στην κυψέλη που βρίσκεται αυτός. Γενικά, οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων υιοθετούν έναν πιο σύντομο κώδικα διάδοσης και έχουν έτσι ένα μειωμένο κέρδος διάδοσης. Για να ξεπεράσει αυτήν την απώλεια η υπηρεσία μπορεί να μεταδοθεί με υψηλότερη ενέργεια. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν σε μεγάλες διακυμάνσεις των παρεμβολών.

5.2. ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στο GSM ο καθορισμός των υπηρεσιών που προσφερόταν ήταν τετριμμένος. Υπήρχε μία απλή διάκριση των υπηρεσιών σε υπηρεσίες φωνής και υπηρεσίες δεδομένων. Αντίθετα στο UMTS υπάρχουν έξι κατηγορίες υπηρεσιών που καθορίζονται από τους χρήστες και επιδιώκουν να απεικονίσουν τις ανάγκες της αγοράς και φαίνονται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 24. Κατηγορίες υπηρεσιών UMTS.

5.2.1. MOBILE INTERNET/INTRANET/EXTRANET ACCESS

Η δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο οποιαδήποτε στιγμή και από οποιοδήποτε μέρος αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 3^{ης} γενιάς. Οι χρήστες είναι σε θέση να προσθέσουν την κινητικότητα στην καθημερινότητά τους με το διαδίκτυο, δεδομένου της υπηρεσίας Mobile Internet Access, για τον χώρο της αστικής αγοράς και Mobile Intranet/Extranet Access για τον χώρο της επιχειρησιακής αγοράς.

5.2.2. CUSTOMIZED INFOTAINMENT

Η σύνδεση του τερματικού με τον άνθρωπο επιτρέπει την παροχή μίας ολοκληρωμένης σειράς υπηρεσιών βασισμένες στο διαδίκτυο (Internet-based services) οι οποίες προσαρμόζονται στις ανάγκες του χρήστη και παρέχονται μέσω κινητών μονάδων. Τέτοιου είδους υπηρεσίες ανήκουν στην κατηγορία των υπηρεσιών Customised Infotainment και αποτελούν σημαντική ευκαιρία για έναν παροχέα υπηρεσιών 3^{ης} γενιάς.

5.2.3. MULTIMEDIA MESSAGING SERVICE (MMS)

Η σύνδεση του τερματικού με τον άνθρωπο δημιουργεί επίσης την ευκαιρία για υπηρεσίες μηνυμάτων μεταξύ κλειστών ομάδων χρηστών ή και συγκεκριμένων κοινοτήτων με κοινά χαρακτηριστικά. Η μεγάλη αύξηση της κίνησης σε υπηρεσίες μηνυμάτων (SMS) στα δίκτυα 2^{ης} γενιάς, επιδεικνύουν την μεγάλη ζήτηση για τη δυνατότητα μίας τέτοιας υπηρεσίας μηνυμάτων. Υπάρχει η δυνατότητα του instant messaging που σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα υψηλών ρυθμών προστίθεται η δυνατότητα εικόνας και βίντεο για να δημιουργηθεί έτσι η υπηρεσία Multimedia Messaging Service.

5.2.4. LOCATION BASED SERVICES

Η γνώση της τρέχουσας θέσης της κινητής μονάδας οδηγεί στην κατηγορία των Location-Based Services. Υπηρεσίες εύρεσης θέσεως, σε συνδυασμό με την τεχνολογία GPS, οι οποίες θα μπορούν να παρέχουν χάρτες τη περιοχής που βρισκόμαστε, εύρεση βέλτιστης διαδρομής προς τον προορισμό μας, γειτονικά σημεία ενδιαφέροντος κλπ.

5.2.5. RICH VOICE

Η φωνή συνεχίζει να αποτελεί μια σημαντική υπηρεσία των δικτύων 3^{ης} γενιάς. Οι υψηλοί ρυθμοί επιτρέπουν πλέον την δυνατότητα βίντεο στις παραδοσιακές υπηρεσίες φωνές (βίντεο κλήση). Επιπλέον, το IP περιβάλλον των δικτύων 3^{ης} γενιάς επιτρέπει τη δυνατότητα επικοινωνιών πολυμέσων μέσα από την υπηρεσία Rich Voice.

Μερικές από τις νέες υπηρεσίες και εφαρμογές που προσφέρονται από το UMTS και ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

- Διαδίκτυο
- Interactive shopping
- On-line εφημερίδες
- Υπηρεσίες εντοπισμού θέσης (Location Based Services)
- Εικονικό σχολείο
- On-line βιβλιοθήκη
- Τεχνική εκπαίδευση
- Βίντεο
- Διαδραστικά παιχνίδια
- Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης
- Κινητό γραφείο
- Τηλεϊατρική
- Άμεση γραμμή βοήθειας
- Βίντεο κλήση
- Τραπεζικές συναλλαγές

5.3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

Το επόμενο βήμα μετά τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς (3G) είναι τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G). Τα πλεονεκτήματα της 4G είναι κυρίως η αποδοτικότητα φάσματος του συστήματος, η υψηλή χωρητικότητα του δικτύου, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την υποστήριξη των πολυμέσων της επόμενης γενιάς, η τεχνολογία για το packet switched network και το global roaming. Θα χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει σε ποιότητα και αξία τις

απαιτήσεις των εφαρμογών της τέταρτης γενιάς που αναμένονται, όπως mobile TV, και υπηρεσίες φωνής και δεδομένων οπουδήποτε και σε οποιαδήποτε στιγμή.

Στόχος της γενιάς αυτής είναι η ανάπτυξη συστημάτων πλήρως βασισμένα στην τεχνολογία IP. Αυτό πρόκειται να επιτευχθεί με την σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών και θα είναι δυνατόν να παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης από 100 Mbit/s έως και 1 Gbit/s, με εξαιρετική ποιότητα και υψηλό επίπεδο ασφαλείας. Οι κυρίαρχες τεχνολογίες θα είναι η τεχνολογία OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και επίσης OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) για την καλύτερη τοποθέτηση πολλαπλών χρηστών. Τέλος η 4G τεχνολογία θα βασίζεται μόνο σε μεταγωγή πακέτων, σε αντίθεση με τη 3G που υποστήριζε μετάδοση και με μεταγωγή κυκλωμάτων.

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά στην εικόνα που ακολουθεί.

Key features	3G networks	4G networks
Data rate	384 kbps to 2 Mbps	20-100 Mbps
Frequency band	1.8-2.4 GHz	2-8 GHz
Bandwidth	5 MHz	About 100 MHz
Switching technique	Circuit and packet switched	Completely digital with packet voice
Radio access technology	WCDMA, CDMA-2000 etc	OFDMA, MC-CDMA etc.
IP	IPv4.0, IPv5.0, IPv6.0	IPv6.0

Πίνακας 2. Σύγκριση 3G - 4G.

6. ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
8PSK	Eight-Phase Shift Keying
AGCH	Access Grant Channel
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AoC	Advice of Charge
AuC	Authentication Center
BAIC	Barring of All Incoming Calls
BAOC	Barring of All Outgoing Calls
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channels
BER	Bit Error Rate
BOIC	Barring of Outgoing International Calls
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BSS	Base Station Subsystem
CCCH	Common Control Channel
CCH	Control Channels
CDMA	Code Division Multiple Access
CF	Call Forwarding
CFB	Call Forwarding Busy
CFNRy	Call Forwarding No Reply
CFU	Call Forwarding Unconditionally
CH	Call Hold
CLIP	Calling Line Identification Presentation
CLIR	Calling Line Identification Restriction
CM	Communication Management
CN	Core Network
CoLP	Connected Line Identification Presentation
CoLR	Connected Line Identification Restriction
CUG	Closed User Group
CW	Call waiting
D-AMPS	Digital AMPS
DCCH	Dedicated Control Channel
DL	Downlink
DS- CDMA	Direct Sequence - CDMA
DS	Direct Sequence
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	Ευρωπαϊκό Ίδρυμα Προτύπων Τηλεπικοινωνιών
FACCH	Fast Associated Control Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FH	Frequency Hopping
FOCC	Forward Control Channel
GIWU	GSM Interworking Unit
GMSC	Gateway Mobile services Switching Center

GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System Mobile
HLR	Home Location Register
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
HSS	Home Subscriber Server
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000
ITU	International Telecommunications Union
ME	Mobile Equipment
MM	Mobility Management
MoU	Memorandum of Understanding
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
NAMTS	Nippon Automatic Mobile Telephone System
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network and Switching Subsystem
OAM	Operation, Administration and Maintenance
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSS	Operation and Support Subsystem
PCH	Paging Channel
PDC	Personal Digital Cellular
PDNs	Public Data Networks
PIN	Personal Identification Number
PLMN	Public Land Mobile Networks
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RACH	Random Access Channel
RBS	Radio Base Station
RECC	Reverse Control Channel
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RPE-LTP	Regular Pulse Excitation Long-Term Prediction
RR	Radio Resources management
SACCH	Slow Associated Control Channel
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel
SIM	Subscriber Identity Module
SMS-CB	SMS Cell Broadcast
SRES	Signed Result
TACS	Total Access Communication System
TCH	Traffic Channels
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
UE	User Equipment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

USIM	Universal Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband CDMA
KM	Κινητή Μονάδα
ΣΒ	Σταθμός Βάσης
ΣΚΤ	Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών
ΨΚΜ	Ψηφιακό Κέντρο Μεταγωγής

7. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1.** Η εξέλιξη των προτύπων για τα κυβελωτά κινητά δίκτυα έως το 3G.
- Εικόνα 2.** α) Παν-κατευθυντική κεραία, β) κατευθυντική σε τρεις τομείς, γ) κατευθυντική σε έξι τομείς.
- Εικόνα 3.** Περιοχές αλληλοεπικάλυψης.
- Εικόνα 4.** Αρχιτεκτονική δικτύου GSM.
- Εικόνα 5.** Οι διάφορες συχνότητες στην τεχνική FDMA απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα και απέχουν 200kHz μεταξύ τους, ενώ στην περιοχή χρόνου οι χρονοθυρίδες (time slots) που διατίθενται στους διάφορους χρήστες (TDMA) έχουν διάρκεια T_b και φαίνονται επίσης με διαφορετικά χρώματα. Η διαίρεση στην περιοχή χρόνου δείχνεται για την απλότητα του σχήματος μόνο στην πρώτη συχνότητα αλλά το ίδιο ισχύει και για τις άλλες.
- Εικόνα 6.** Στην κινητή μονάδα έχει διατεθεί το κανάλι που αντιστοιχεί στη ριπή 3. Η εκπομπή και λήψη γίνεται από το ίδιο κανάλι αλλά με διαφορά 3 ριπών.
- Εικόνα 7.** Αντιστοίχιση λογικών καναλιών σε φυσικά κανάλια στο GSM.
- Εικόνα 8.** Δομή κανονικής ριπής στο σύστημα GSM.
- Εικόνα 9.** Τα στάδια από το σήμα φωνής στα ραδιοκύματα.
- Εικόνα 10.** Παράδειγμα διεμπλοκής με την πλήρωση και εκκένωση ενός πίνακα.
- Εικόνα 11.** Κατανομή φάσματος για τις κυριότερες περιοχές του πλανήτη.
- Εικόνα 12.** Κατανομή των καναλιών στα πεδία Συχνοτήτων και Χρόνου για τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης FDMA, TDMA και CDMA.
- Εικόνα 13.** Τα δεδομένα του χρήστη είναι η κυματομορφή $d(t)$, η κυματομορφή του ψευδοτυχαίου θορύβου $g(t)$ και η κυματομορφή διευρυμένου φάσματος $d(t)g(t)$. Παρατηρούμε ότι κάθε μετάβαση στο $d(t)$ συμπίπτει με μια μετάβαση στο $g(t)$ (τα μέτωπά τους είναι ευθυγραμμισμένα).

- Εικόνα 14.** Οι κώδικες διάχυσης και περίπλεξης κατά την εκπομπή και λήψη μιας ροής δεδομένων.
- Εικόνα 15.** Περιβάλλον παγκόσμιας ραδιοκάλυψης μέσω του UMTS.
- Εικόνα 16.** Αρχιτεκτονική του δικτύου UMTS.
- Εικόνα 17.** Δομή του UTRAN.
- Εικόνα 18.** Η δομή του Δικτύου Κορμού.
- Εικόνα 19.** Βασικές αρχές λειτουργίας των FDD ΚΑΙ TDD.
- Εικόνα 20.** Τρόποι λειτουργίας FDD και TDD.
- Εικόνα 21.** Η ευαισθησία στις παρεμβολές και την σκίαση είναι μικρότερη στην ευρείας ζώνη διάδοση.
- Εικόνα 22.** Ανθεκτικότητα σε στενής ζώνης παρεμβολή.
- Εικόνα 23.** Η μεταβολή του μεγέθους της κυψέλης ανάλογα με το φορτίο (Cell Breathing).
- Εικόνα 24.** Κατηγορίες υπηρεσιών UMTS.

8. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1.** Βασικότερες διαφορές UMTS - GSM
- Πίνακας 2.** Σύγκριση 3G - 4G

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- UMTS Radio Interface System Planning and Optimization, Esmael Dinan; Aleksey Kurochkin; Sam Kettani; Telecomm & Industrial, December 2002
- 3G Evolution (HSPA And LTE) [Erik Dahlman et al.] 2007
- 4G Wireless Video Communications [Haohong Wang et al.] 2009
- Advanced Cellular Network Planning and Optimisation [Ajay R Mishra] 2007
- Advanced Wireless Networks [Savo Glisic et al.] 2009
- Antenna Zoning [Fred Hopengarten] 2009
- Antennas for Portable Devices [Zhi Ning Chen] 2007
- Antennas. From Theory to Practice [Yi Huang] 2008
- Cellular authentication for mobile and Internet services [Silke Holtmanns] 2008
- GSM Architecture, Protocols and Services [Jorg Eberspacher et al.] 2009
- GSM/EDGE [Mikko Saily et al.] 2011
- Radio Interface System Planning for GSM GPRS UMTS [Jukka Lempiainen et al.] 2002
- Radio Resource Management Strategies in UMTS [Jordi Perez-Romero et al.] 2005