

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γενεές Κινητής Τηλεφωνίας

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ – ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



Σπουδαστής : Ακρωτηριανάκης Νικόλαος

Υπεύθυνος Καθηγητής : Τζουγκαράκης Ιωάννης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή στη Κινητή Τηλεφωνία	6
1.1 Ιστορία Κινητής Τηλέφωνίας	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : 1^η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	8
2.1 Τρόπος λειτουργίας του κυψελοειδούς δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε αναλογικό δίκτυο	8
2.1.1 Κελιά Μέγιστης Κάλυψης (Overlay cells)	12
2.1.2 Υπερκελιά(Hyper cells)	12
2.1.3 Μακροκελιά (Macrocells)	12
2.1.4 Μικροκελιά (Microcells)	13
2.1.5 Πικοκελιά (Picocells)	13
2.2 Πρότυπο AMPS	14
2.2.1 Το Πείραμα του Chicago	14
2.2.2 Εισαγωγή στο AMPS	14
2.2.3 Αρχιτεκτονική AMPS	15
2.3 Πρότυπο NAMPS	17
2.4 Πρότυπο C-Netz	17
2.4.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου C-Netz	18
2.4.2 Διαχείριση των Κυττάρων(κελιών ή κυψελών)	19
2.5 Πρότυπο TACS	21
2.6 Πρότυπο NMT	21
2.6.1 Δομή NMT συστήματος	22
2.6.2 Πραγματοποίηση Κλήσεων Σε Σύστημα NMT	25

2.6.3	Περιοδεία (Roaming) σε NMT Σύστημα	25
2.6.4	Στοιχεία Δικτύου NMT	26
2.7	Πρότυπο NTT	28
2.8	Συγκρίσεις προτύπων αναλογικών δικτύων	28
2.9	Συμπέρασμα αναλογικών δικτύων	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :	2^η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	31
3.1	Εισαγωγή Στα Ψηφιακά Δίκτυα	31
3.2	Τεχνολογίες FDMA - TDMA – CDMA	32
3.2.1	Τεχνολογία FDMA	32
3.2.2	Τεχνολογία TDMA	35
3.2.3	Τεχνολογία CDMA	40
3.2.3.1	Σύγχρονη CDMA	42
3.2.3.2	Ασύγχρονη CDMA	44
3.2.3.3	Πρότυπο CDMAone	45
3.2.3.4	Γενικές προδιαγραφές CDMA	49
3.2.3.5	Πλεονεκτήματα CDMA	49
3.2.3.6	Μειονεκτήματα CDMA	50
3.2.4	TDMA σε σύγκριση με CDMA	50
3.3	Το Πρότυπο GSM	50
3.3.1	Εισαγωγή στο GSM	50
3.3.2	Τμήματα GSM δικτύου	52
3.3.3	Δομή και τεχνικά χαρακτηριστικά GSM	54
3.3.4	Το GSM-1800 και GSM-1900	56
3.3.5	Προσφερόμενες Υπηρεσίες GSM	57
3.4	PDC (Personal Digital Cellular)	59
3.5	D-AMPS (Digital AMPS)	59
3.5.1	Εισαγωγή	59
3.5.2	Εισαγωγή στο IS-54 και προδιαγραφές τεχνολογίας	60
3.5.3	Επεξεργασία Κλήσης	61
3.5.4	Παράδειγμα Συστήματος	62
3.5.5	IS-136	63
3.5.6	Το Τέλος του D-AMPS	63
3.6	Πίνακες – Σχεδιαγράμματα Ψηφιακών Δικτύων	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Γενιά 2.5G	66
4.1 GPRS	66
4.1.1 Εισαγωγή στο GPRS και Δομή GPRS	66
4.1.2 Μεταφορά πακέτων GPRS κινητής μονάδας	69
4.1.3 Κλάσεις κινητών μονάδων GPRS	70
4.1.4 Διατάξεις κωδικοποίησης καναλιών (Channel Coding Schemes)	70
4.1.5 Υπηρείες GPRS	70
4.2 HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)	71
4.3 EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)	71
4.3.1 Τεχνολογία και Τεχνικές Εκπομπής	72
4.3.2 EGPRS Διαμόρφωση και Σχέδιο Κωδικοποίησης	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : 3^η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	73
5.1 Εισαγωγή στη 3 ^η γενιά κινητής τηλεφωνίας	73
5.2 Κύρια χαρακτηριστικά συστημάτων 3G	75
5.3 Αρχιτεκτονική Δικτύων 3G	76
5.4 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)	77
5.5 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)	80
5.5.1 Εισαγωγή στο UMTS	80
5.5.2 Δομή του UMTS	81
5.5.3 Κανάλια UTRAN	86
5.5.4 Μετάδοση πακέτων	89
5.5.5 Συχνότητες UMTS	89
5.5.6 Χαρακτηριστικά UMTS	90
5.5.7 High Speed Packet Access (HSPA)	90
5.6 CDMA2000	91
5.6.1 CDMA2000 1xRTT	91
5.6.2 CDMA2000 3x (ή EV-DO)	91
5.6.3 CDMA2000 EV-DV	94
5.7 Σχεδιαγράμματα Ανάπτυξης 3G Συστημάτων	94
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : 4^η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας	97

1. Εισαγωγή στη Κινητή Τηλεφωνία

Οι τεχνολογίες της επικοινωνίας, εισβάλλουν όλο και περισσότερο στην προσωπική, επαγγελματική και οικογενειακή μας ζωή με αποτέλεσμα τις μέρες μας η καθημερινή ζωή μας να πλαισιώνεται από τουλάχιστον ένα κινητό τηλέφωνο. Είναι αποδεδειγμένο πλέον πως το κινητό τηλέφωνο αποτελεί από τα σημαντικότερα στοιχεία της ζωής μας, και το δέσιμο μας πια μαζί του είναι αναπόσπαστο. Η βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας αναπτύσσετε με ταχύς ρυθμούς με αποτέλεσμα να παρασύρουν το καταναλωτικό κοινό στο να αγοράζει το ολοένα μικρότερο, κομψότερο και με πιο πολλές λειτουργίες κινητό. Έρευνα που έγινε κατά το έτος 2005 από το ίδρυμα Λαμπράκη, το Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Εργαστήριο Ελεύθερων Σπουδών Στελεχών Επιχειρήσεων Alba και την εταιρία Leo Burnett, έδειξε πως η νέα γενιά χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο σε βαθμό εξάρτησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η τάση αυτή δεν είναι πλέον αναστρέψιμη, δεδομένου ότι η «ασύρματη γενιά» χρησιμοποιεί, σε καθημερινή βάση, κινητά τηλέφωνα σε ποσοστό 99% στις ηλικίες 18-22 ετών και σε 74% στις ηλικίες 12-14 ετών. Έτσι, το κινητό διαμορφώνει πλέον μία νέα κουλτούρα, παρουσιάζει μία νέα γλώσσα, αποτελεί ένα νέο μέσον κοινωνικοποίησης των χρηστών του. Το πέρασμα από τα αναλογικά στα ψηφιακά δίκτυα και τώρα η εμφάνιση των λεγόμενων δικτύων 3ης γενιάς, και της 4ης αργότερα, σηματοδοτούν μια εποχή νέα και συνάμα αρκετά φιλόδοξη, που όμοια της ίσως δεν έχει γνωρίσει η ανθρωπότητα, στον τομέα της τηλεπικοινωνίας.

1.1 Ιστορία Κινητής Τηλεφωνίας

Πριν ακόμα εφευρεθεί το κινητό τηλέφωνο υπήρξε η ανάγκη ασύρματης επικοινωνίας κυρίως σε υπηρεσίες ασφάλειας, μέσα μεταφοράς και σε στρατιωτικές υπηρεσίες. Αυτό κατάφερε να το κάνει πράξη ο Γουλιέλμος Μαρκόνι όταν το 1901 όταν πραγματοποίησε μέσω ραδιοκυμάτων την αποστολή μηνύματος από την Αγγλία στη Αμερική. Το 1903, οι Γερμανικές AEG και Siemens&Halske ιδρύουν την Deutsche Telefunken GmbH και σε συνεργασία με την Lorezn AG πραγματοποιούν την πρώτη εκπομπή ήχου και ομιλίας μόλις 3 χρόνια μετά. Όταν κι η Αμερικανική Τηλεφωνική και Τηλεγραφική Εταιρεία AT&T συνεργάστηκε το κατόρθωμα αυτό βελτιώθηκε, οδηγώντας στην πρώτη υπερατλαντική μετάδοση ήχου, από τις Η.Π.Α. στη Γαλλία. Επισήμως μπορούμε να τοποθετήσουμε τη γένεση της κινητής τηλεφωνίας, όπως την αντιλαμβανόμαστε σήμερα, γύρω στα 1918, αν και μετά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα συνέβησαν οι πιο σημαντικές εξελίξεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι εγκαταστάσεις κινητής τηλεφωνίας υπήρχαν σε τρένα. Συγκεκριμένα, μερικές πρώτες δοκιμές είχαν πραγματοποιηθεί στη Γερμανία, στην στρατιωτική γραμμή Βερολίνο– Zossen. Ύστερα, και σε ιδιωτική γραμμή που συνέδεε το Teltow, προάστιο του Βερολίνου, με την Saxony – Anhalt πόλη Lichterfelde. Πλέον, το 1926, κάθε ταχύ τρένο που εκτελούσε το δρομολόγιο Αμβούργο – Βερολίνο ήταν

εξοπλισμένο με σύστημα κινητής τηλεφωνίας, ενώ από διάφορες στατιστικές προκύπτουν κατά μέσο όρο 40 τηλεφωνικές κλήσεις την ημέρα, κατά την περίοδο 1926-1927.



Από την άλλη μεριά ο εξοπλισμός που υπήρχε στα τρένα ήταν τεράστιος σε διαστάσεις, ενώ και το κόστος χρήσης ήταν ανάλογα μεγάλο. Για να πραγματοποιήσει κάποιος μια κλήση, χρειαζόταν να χρησιμοποιήσει μια ειδική καμπίνα στο τρένο, με ένα συμβατικό σετ συσκευής τηλεφώνου. Στη συνέχεια, το σήμα μεταδιδόταν μέσω καλωδίων στην οροφή του τρένου, όπου υπήρχαν στερεωμένα διάφορα καλώδια και κεραίες. Ύστερα μετέδιδαν το σήμα σε τηλεφωνικές γραμμές, οι οποίες βρίσκονταν δίπλα στις σιδηροτροχιές. Ακολούθως, χειροκίνητοι διακόπτες μετέδιδαν τη σύνδεση στο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο. Το 1947 ο Douglas H. Ring και ο W. Rae Young των εργαστηρίων Bell πρότειναν την δημιουργία εξάγωνων κελιών (κυψέλες) για τα κινητά τηλέφωνα. Ο Philip T. Porter επίσης των εργαστηρίων Bell πρότεινε ότι οι πύργοι των κελιών πρέπει να τοποθετηθούν στις γωνίες των εξαγώνων και όχι στο κέντρο ώστε να γίνεται εκπομπή και λήψη σε 3 διαφορετικές κατευθύνσεις. Η τεχνολογία όμως εκείνης της εποχής καθώς και οι συχνότητες που είχαν προσδιοριστεί δεν ήταν αρκετές για

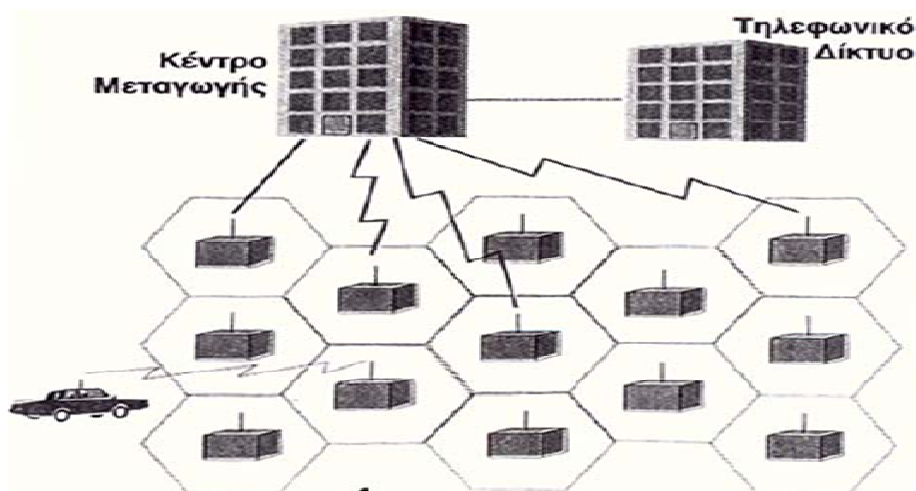
την υλοποίηση αυτής της ιδέας.

Το πρώτο αυτόματο κινητό κατασκευάστηκε από την εταιρία Ericsson το 1956 και ονομάστηκε MTA (Mobile Telephone system A). Ήταν η πρώτη συσκευή που δεν χρειαζόταν χειροκίνητη εγκατάσταση αλλά είχε μειονέκτημα ότι ζύγιζε 40 κιλά (90lb). Όλα όμως τα κινητά εκείνης της εποχής χρειαζόντουσαν και κάποια μονάδα για τη λειτουργία τους με αποτέλεσμα να μην ήταν εύκολη η μεταφορά τους. Έτσι στις 3 Απριλίου 1973 ένας υπάλληλος της Motorola ο Dr. Martin Cooper ανακάλυψε το πρώτο πλήρες ασύρματο τηλέφωνο. Μάλιστα κάλεσε από το ίδιο τηλέφωνο τον ανταγωνιστή του Τζόελ Ένγκελ που εργαζόταν για λογαριασμό των εργαστηρίων Bell, για να του ανακοινώσει την ανακάλυψή του. Το μοντέλο του τηλεφώνου αυτού ήταν το Motorola DynaTAC το οποίο είχε μήκος 25 εκατοστά και ζύγιζε 900 γραμμάρια. Ένα από τα πρώτα πλήρη επιτυχημένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ήταν το ARP που δημιουργήθηκε στη Φιλανδία. Το πρώτο κινητό που έλαβε άδεια έγκρισης ήταν το μοντέλο της Motorola DynaTAC 8000X. Υπήρξε η ναυαρχίδα των λεγόμενων κινητών πρώτης γενιάς (1G). Στις αρχές της δεκαετίας του 90 περάσαμε στη ψηφιοποίηση των δικτύων και στα κινητά 2^{ης} γενιάς (2G). Τα κινητά αυτά ήταν πολύ πιο μικρά σε μέγεθος σε σχέση με τους προγόνους τους καθώς χωρούσαν σε τσέπη και επίσης παρείχαν στους χρήστες πολύ περισσότερες λειτουργίες όπως η γραπτή αποστολή μηνυμάτων. Εκείνη την εποχή αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές εταιρίες ενδιαφέρθηκαν να και εισήλθαν στη βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας καθώς αυτός ο τομέας της τεχνολογίας είχε ολοένα και περισσότερη ζήτηση από το καταναλωτικό κοινό. Στις αρχές του 2000 άρχισε και η προώθηση στην αγορά τα κινητά 3^{ης} γενιάς (3G) τα οποία έχουν απεριόριστες δυνατότητες τις οποίες θα δούμε παρακάτω.

2. 1^H Γενεά Κινητής τηλεφωνίας

2.1 Τρόπος λειτουργίας του κυψελοειδούς δικτύου κινητής τηλεφωνίας σε αναλογικό δίκτυο

Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή πριν ανακαλυφθεί η κινητή τηλεφωνία, υπήρξε η ραδιοτηλεφωνία. Σε αυτή τη περίπτωση χρειαζόταν μια κεραία με μεγάλο εύρος μετάδοσης ώστε να καλύψει μια μεγάλη περιοχή. Αυτό δεν ισχύει στο κυψελοειδές δίκτυο καθώς η περιοχή διαιρείται σε μικρές κυψέλες. Η βασική ιδέα της κυψελοειδούς επικοινωνίας ονομάζεται **frequency – reuse**. Στο κυψελοειδές σύστημα η περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο ονομάζεται κελί ή κυψέλη. Ένα κελί αντιστοιχεί στην περιοχή που μπορεί να καλύψει ένας πομπός (ή μια μικρή ομάδα από πομπούς). Το μέγεθος ενός κελιού καθορίζεται από την ισχύ μετάδοσης του πομπού και από την ευαισθησία λήψης του δέκτη. Το κυψελοειδές σύστημα βασίζεται στη χρήση πομπών σε κάθε κελί ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων συχνοτήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πομποί που βρίσκονται στα κελιά είναι χαμηλής ισχύος με αποτέλεσμα το σήμα να μην μπορεί να διαδοθεί μακριά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια συχνότητα που χρησιμοποιείται σε ένα κελί να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ένα άλλο κελί. Η λειτουργία **frequency - reuse** χρησιμοποιείται από όλα τα σύγχρονα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Σύμφωνα με την ιδιότητα αυτή, οι συχνότητες που παραχωρούνται σε κάθε δίκτυο κατανέμονται κατάλληλα σε μια ομάδα από κυψέλες και στη συνέχεια, η κατανομή αυτή επαναλαμβάνεται σε ολόκληρη την περιοχή κάλυψης του δικτύου. Οι κυψέλες λοιπόν παρέχουν τη δυνατότητα εκτεταμένης επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, έτσι ώστε χιλιάδες άνθρωποι να μπορούν να χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα ταυτόχρονα.



Κυψελοειδές Σύστημα

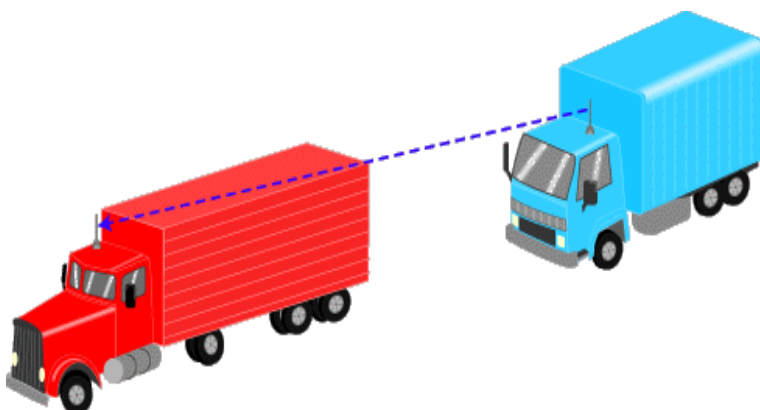
Τα κινητά τηλέφωνα έχουν πομπούς μικρής ισχύος της τάξης 0,6 Watt. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης χαμηλής ισχύος πομπούς τόσο από τους σταθμούς βάσης τόσο και από τα κινητά τηλέφωνα είναι :

α) Οι εκπομπές δεν ξεφεύγουν έξω από την κυψέλη στην οποία βρίσκονται το κινητό τηλέφωνο κι ο σταθμός βάσης κι έτσι επιτρέπεται κι επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων από μη γειτονικές κυψέλες.

β) Οι χαμηλής ισχύος εκπομπές δεν απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας, κατά συνέπεια, η κατανάλωση για ένα κινητό τηλέφωνο είναι μικρή, όσο χρειάζεται για μια μικρού μεγέθους μπαταρία.

Το σύστημα αυτό απαιτεί αρκετούς σταθμούς βάσης και αρκετούς πύργους εκπομπής με αποτέλεσμα να είναι όλη η διαδικασία δαπανηρή. Αλλά αν υπολογίσουμε τους χρήστες κινητής τηλεφωνίας που ολοένα αυξάνονται (σε επικίνδυνο βαθμό) τότε το κόστος από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας για την εγκατάσταση των παραπάνω είναι ελάχιστο σε σχέση με τα κέρδη από το καταναλωτικό πλήθος.

Παλαιότερα πριν την ανακάλυψη των κινητών τηλεφώνων όπως αναφέραμε παραπάνω υπήρχαν τα ραδιοτηλέφωνα τα οποία συνήθως ήταν εγκατεστημένα σε αυτοκίνητα. Για τη λειτουργία των ραδιοτηλεφώνων σε κάθε πόλη υπήρχε ένας κεντρικός πύργος κεραίας και κάπου στα 25 κανάλια διαθέσιμα στον πύργο αυτό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πολλές φορές να μην υπάρχει διαθέσιμο κανάλι και επιπλέον το αυτοκίνητο χρειαζόταν ένα πολύ ισχυρό πομπό εμβέλειας 70χιλιομέτρων τουλάχιστον. Τα ραδιοτηλέφωνα όπως και τα walkie talkie είναι ημιδιμερής συσκευές(half duplex), δηλαδή χρειάζεσαι μία συχνότητα για να υπάρξει επικοινωνία. Το μειονέκτημα είναι ότι με τη μία συχνότητα ο χρήστης δεν είναι σε θέση και να μιλάει και να ακούει ταυτόχρονα. Τα κινητά τηλέφωνα είναι πλήρη διμερής συσκευές(full duplex) με αποτέλεσμα να χρειάζονται 2 συχνότητες για την επικοινωνία. Η μία συχνότητα είναι για να μιλάς και η άλλη για να ακούς. Άρα κατά την επικοινωνία ο χρήστης μπορεί να μιλάει και να ακούει ταυτόχρονα.



Half duplex: Μόνο ένας συνομιλητής μπορεί να μιλάει κάθε φορά

Το walkie talkie χρησιμοποιεί μόνο ένα κανάλι και η ραδιοτηλεφωνία μπορεί να χρησιμοποιήσει μέχρι 40. Αντίθετα στο κυψελοειδές σύστημα της κινητής τηλεφωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν 1664 ή παραπάνω. Επίσης ένα walkie talkie μπορεί να εκπέμψει 1,6 χιλιόμετρα χρησιμοποιώντας ένα πομπό των 0,25Watt. Ένα ραδιοτηλέφωνο μπορεί να εκπέμψει για 8 χιλιόμετρα χρησιμοποιώντας ένα πομπό των 5 Watt. Αντίθετα το κυψελοειδές σύστημα επιτρέπει στο κινητό να εκπέμψει σε περιοχή εκατοντάδων χιλιάδων χιλιομέτρων.

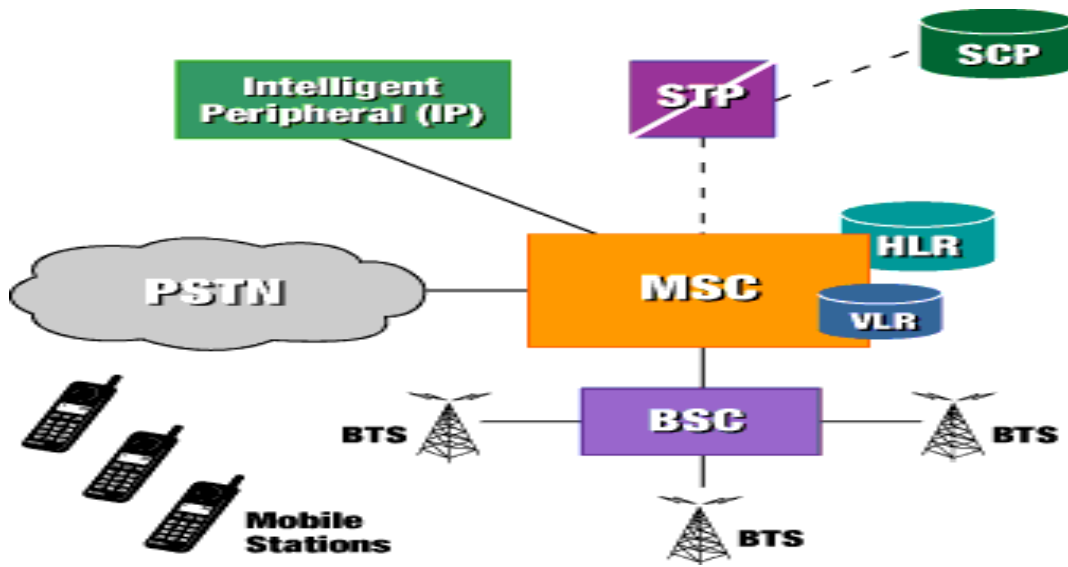
Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός κυψελοειδούς συστήματος είναι:

- **Ο εξοπλισμός του κεντρικού επεξεργαστή**
- **Ο σταθμός βάσης**
- **Ο κινητός σταθμός ή το ασύρματο τηλέφωνο**

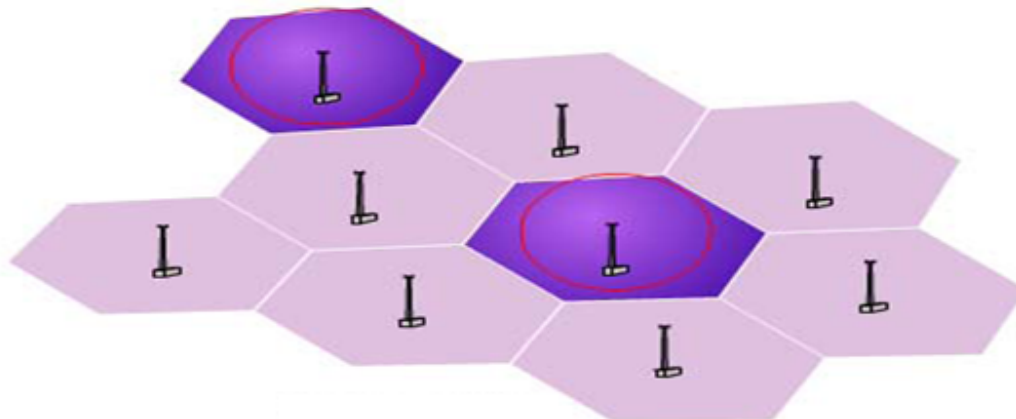
Ο κεντρικός επεξεργαστής MSC (Mobile Switching Center) είναι ένα σύστημα υπολογιστών με διακόπτες (Stored Program Controlled ή SPC). Ένας SPC πίνακας χρησιμοποιεί λογισμικό για να ελέγχει από τον πίνακα (ή τους διακόπτες) την διαδικασία της κλήσης και τα χαρακτηριστικά του ελέγχου. Οι βασικές του διαδικασίες συμπεριλαμβάνουν συνδυασμένη επικοινωνία (coordinating interaction) με τις κυψέλες, διεπαφή με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο PSTN (Public Switched Telephone Network) και έλεγχος της διαδικασίας της κλήσης και την χρέωση. Άλλες λειτουργίες που περιλαμβάνει ο κεντρικός επεξεργαστής MSC είναι το Home Location Register (**HLR**) και το Visiting Location Register(**VLR**). Το HLR περιλαμβάνει εγγραφή του συνδρομητή και επιπλέον είναι η πηγή πληροφοριών του συνδρομητή. Το VLR χρησιμοποιείται για να σώσει πληροφορίες για συνδρομητές που είναι πελάτες ενός άλλου συστήματος άλλα έχουν περιαγωγηθεί “roaming” σε μια άλλη περιοχή υπηρεσιών.

Ο σταθμός βάσης Base Station(BS) ή Cell Site περιλαμβάνει μια μονάδα ελέγχου, εξοπλισμό του ραδιοφωνικού σταθμού της βάσης και μια κεραία. Ο σταθμός βάσης παρέχει σύνδεση μεταξύ του κινητού σταθμού – Mobile Station (MS) και του κεντρικού επεξεργαστή MSC.

Ο κινητός σταθμός Mobile Station(MS) είναι η φορητή συσκευή (κινητό τηλέφωνο).



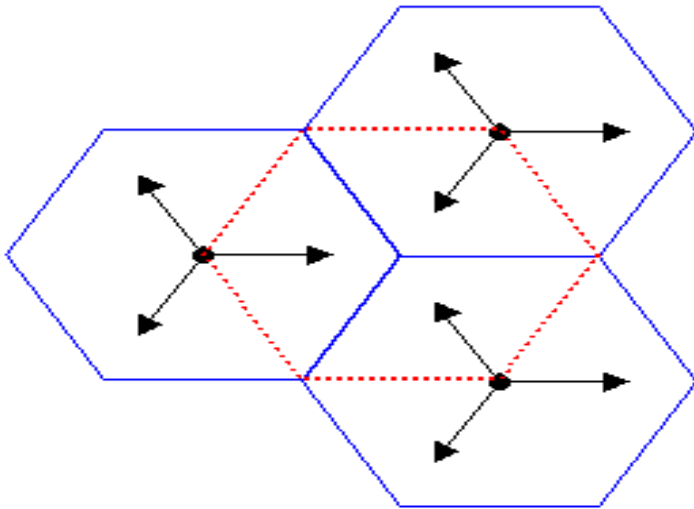
Αρχιτεκτονική Δικτύου



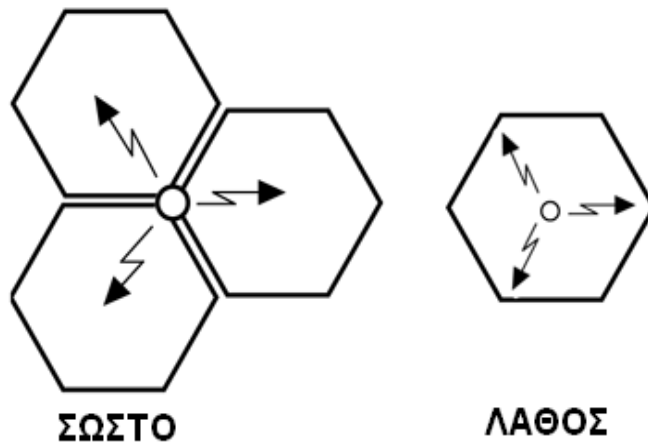
Κελιά κυψελοειδούς συστήματος

Για παράδειγμα σε ένα τυπικό αμερικάνικο αναλογικό κυψελοειδές δίκτυο ο φορέας δέχεται 800 συχνότητες για μια ολόκληρη περιοχή-πόλη. Ο φορέας χωρίζει τη πόλη σε κελιά των 26 χιλιομέτρων. Τα κελιά έχουν το σχήμα εξαγώνου όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα: Κάθε κελί αποτελείται και από ένα σταθμό βάσης. Επειδή οι σταθμοί βάσης και τα κινητά χρησιμοποιούν πομπούς χαμηλής ισχύος, ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μη εφάπτοντα κελιά όπως για παράδειγμα στην εικόνα μας τα δύο μωβ κελιά.

Στην ουσία ο σταθμός βάσης δεν βρίσκεται στο κέντρο του κελιού αλλά στις άκρες του. Όπως βλέπουμε στη παρακάτω εικόνα το πραγματικό κελί είναι το κόκκινο και όχι τα μπλε.



Κόκκινο κελί είναι το πραγματικό



Σταθμός βάσης στις γωνίες του εξαγώνου

Αν ο φορέας λαμβάνει 832 συχνότητες για την πόλη και λάβουμε υπόψη ότι το κυψελοειδές σύστημα είναι half duplex και ότι 42 συχνότητες χρησιμοποιούνται για τα κανάλια ελέγχου, τότε έχουμε 395 κανάλια φωνής διαθέσιμα. Η κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί το 1/7 των διαθέσιμων καναλιών άρα έχουμε $395/7=56$ κανάλια φωνής διαθέσιμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούν σε κάθε κελί να μιλάνε 56 άτομα ταυτόχρονα. Βέβαια ο αριθμός αυτός ισχύει σε αναλογικό δίκτυο και στη πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας (1G) σε αντίθεση με τα ψηφιακά δίκτυα όπου ο αριθμός αυτός είναι πολύ μεγαλύτερος.

Τα κελιά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τις περιοχές. Σε περιοχές που ο πληθυσμός είναι μεγαλύτερος και πιο πυκνοκατοικημένος η ζήτηση για τη χρήση είναι μεγαλύτερη άρα η χωρητικότητα του δικτύου πρέπει να είναι αυξημένη.

2.1.1 Κελιά Μέγιστης Κάλυψης(Overlay cells)

Τα κελιά αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης εκατοντάδες χιλιόμετρα και χρησιμοποιούνται στη δορυφορική κινητή τηλεφωνία.

2.1.2 Υπερκελιά (Hyper cells)

Τα κελιά αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης μεγαλύτερη των 20 χιλιομέτρων και χρησιμοποιούνται για την κάλυψη επαρχιακών περιοχών.

2.1.3 Μακροκελιά (Macrocells)

Αυτός ο τύπος κελιού χρησιμοποιείται σε αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα είναι μικρές. Η ακτίνα κάλυψης είναι από 1 χιλιόμετρο μέχρι 20 χιλιόμετρα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σχετικά ισχυροί πομποδέκτες που μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές. Σε αυτή τη περίπτωση το κελί μπορεί να καλύψει παραπάνω έκταση. Η χωρητικότητα των χρηστών παρολαυτά παραμένει η ίδια.

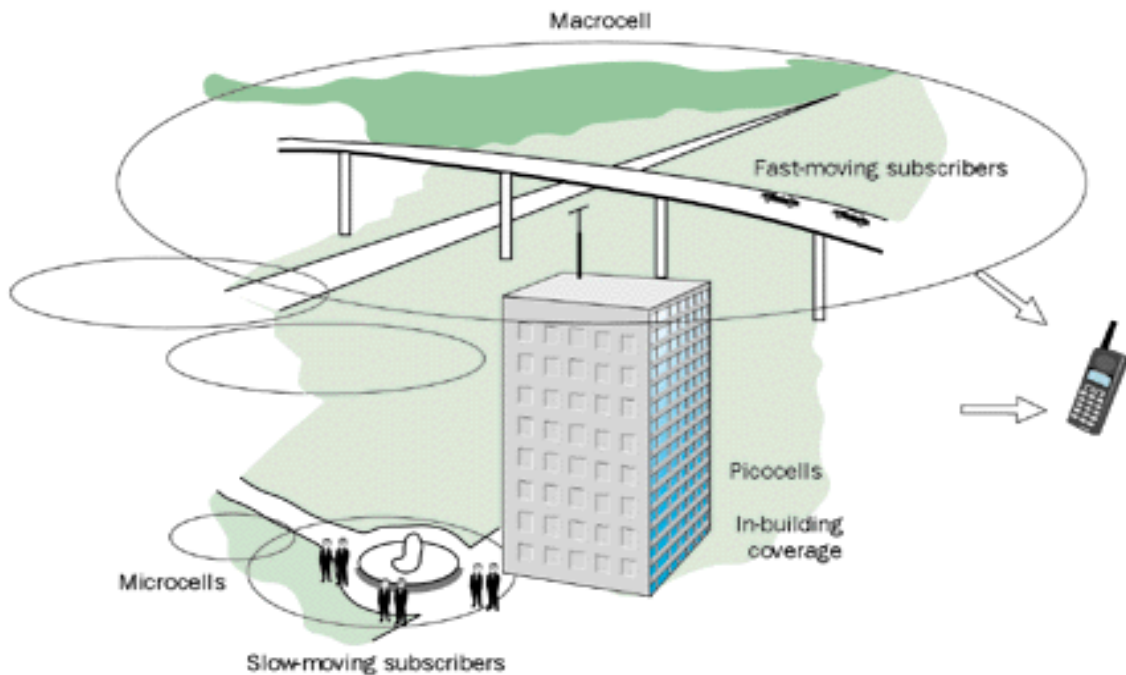
2.1.4 Μικροκελιά (Microcells)

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου η ζήτηση είναι μεγάλη. Σε αυτές τις περιοχές έχουμε πολλά κελιά και πομποδέκτες χαμηλής ισχύος. Με το τρόπο αυτό αυξάνονται τα διαθέσιμα κανάλια και η χωρητικότητα της περιοχής. Τυπικά ένα τέτοιο κελί προσφέρει κάλυψη σε μια ακτίνα μεταξύ 100 μέτρων και ενός χιλιομέτρου.

2.1.5 Πικοκελιά (Picocells)

Η ακτίνα κάλυψης των κελιών αυτών είναι μικρότερη των 100 μέτρων. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για τη κάλυψη επικοινωνιακών αναγκών των χρηστών κινητών τηλεφώνων που βρίσκονται μέσα σε κτίρια και των χρηστών που βρίσκονται σε λεωφορεία, τρένα κ.τ.λ.

Όπως αναφέραμε παραπάνω τα κινητά πρώτης γενιάς βασίστηκαν στα ψηφιακά αναλογικά δίκτυα. Τα σημαντικότερα πρότυπα της αναλογικής κινητής τηλεφωνίας (πρώτης γενιάς) είναι : AMPS, C-450, TACS, NMT, NTT.



Τύποι κελιών

2.2 Πρότυπο AMPS

2.2.1 Το Πείραμα του Chicago

Τον Μάρτιο του 1977, η FCC επέτρεψε στη Bell System να κατασκευάσει σε πιλοτικό επίπεδο ένα κυψελωτό σύστημα κινητής τηλεφωνίας στην ευρύτερη περιοχή του Chicago. Το πείραμα περιλάμβανε ένα σύστημα που χρησιμοποιούσε έναν μικρό αριθμό κυψελών. Οι σταθμοί βάσης τοποθετήθηκαν στα κέντρα των κυψελών χρησιμοποιώντας παν-κατευθυντικές κεραιές προκειμένου να μειωθεί όσο γίνεται ο απαραίτητος λειτουργικός εξοπλισμός. Η υπό κάλυψη γεωγραφική περιοχή ήταν συνολικού εμβαδού 2100 mi² ενώ ο αντίστοιχος αριθμός κάλυψης ήταν 10. Το σύστημα χρησιμοποιούσε 136 κανάλια φωνής τα οποία ελέγχονταν από το κέντρο MTSO το οποίο είχε τοποθετηθεί στο Oak Park του Illinois. Η συγκεκριμένη περιοχή είχε πολλές ιδιαιτερότητες καθώς περιλάμβανε από ουρανοξύστες μέχρι χαμηλού ύψους κατοικίες καθώς επίσης και δασώδη περιοχή. Οι τεχνοοικονομικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση ήταν του τεχνικού ελέγχου του ραδιο-εξοπλισμού (Equipment Test Phase), η οποία πραγματοποιήθηκε στα μέσα του 1978 και στην οποία χρησιμοποιήθηκαν 100 κινητές συνδρομητικές μονάδες. Η δεύτερη φάση είναι του ελέγχου προσφερόμενων υπηρεσιών (Service Test Phase), η υλοποίηση της οποίας άρχισε στο τέλος του 1978, πραγματοποίησε μια

έρευνα αγοράς σε 2000 υποψήφιους χρήστες του συστήματος αυτού. Οι αντικειμενικοί στόχοι τους πειράματος του Chicago ήταν:

- Συλλογή δεδομένων για την υποστήριξη και τροποποίηση διαφόρων μελετών αγοράς
- Έλεγχος των βασικών τεχνικών διαδικασιών του συστήματος και βελτίωση των χρησιμοποιούμενων λογισμικών εργαλείων
- Χαμηλό κόστος παρεχόμενων υπηρεσιών
- Εμπειρία από την εγκατάσταση και λειτουργία του Κυψελοειδούς Συστήματος Κινητής Τηλεφωνίας
- Ανάπτυξη και ποιοτικός έλεγχος των εφαρμοζόμενων μεθόδων για προσδιορισμό της μέσης επικοινωνιακής κίνησης ανά κινητό συνδρομητή, καθώς και τη γεωγραφική κατανομή της συνολικής κινητής επικοινωνιακής κίνησης.
- Ποιοτική αναβάθμιση και αξιοπιστία των προσφερομένων υπηρεσιών

2.2.2 Εισαγωγή στο AMPS

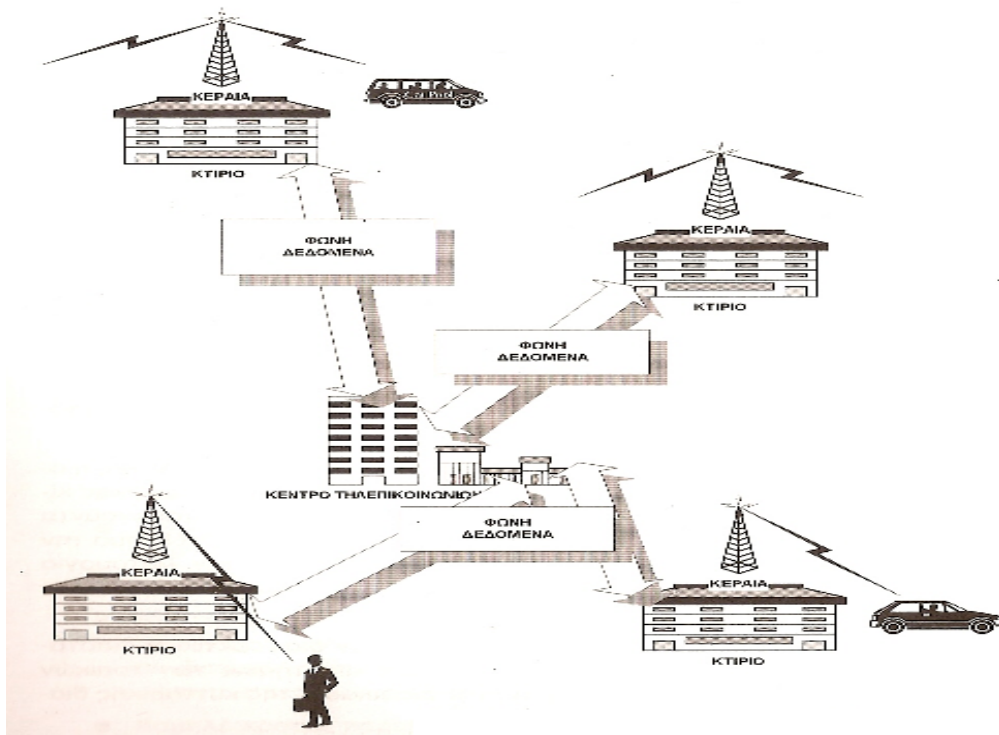
Το AMPS (Advanced Mobile Phone System) πρόκειται για ένα από τα πρώτα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και στηρίζεται στην αναλογική τεχνολογία κυψελοειδούς. Αναπτύχθηκε στα μέσα τις δεκαετίας του 70 στο Σικάγο στις Η.Π.Α καθώς εγκρίθηκε από το Federal Communication Commission. Το AMPS είναι μιας πρώτης γενιάς κυψελοειδής τεχνολογία που χρησιμοποιεί ξεχωριστές συχνότητες για κάθε συνομιλία.

Τα κελιά στο AMPS έχουν μήκος από 10 έως 20 χλμ. Επίσης, όπως και σε κάθε κυψελοειδές σύστημα επικοινωνιών, γίνεται χρήση της ιδιότητας της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων (frequency reuse) και των διαφόρων τύπων κελιών (microcells, macrocells, picocells)

Το AMPS χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ 824MHz και 894MHz. Η αμερικάνικη κυβέρνηση πρότεινε την χρησιμοποίηση του AMPS από δύο φορείς ώστε να υπάρχει μεγαλύτερος ανταγωνισμός, άρα και χαμηλότερες τιμές προς τους χρήστες. Οι φορείς χρησιμοποιούσαν 832 συχνότητες. Οι 790 συχνότητες είναι για φωνή και οι άλλες 42 είναι για δεδομένα. Οι συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν στο AMPS για τα κανάλια ήχου είναι του εύρους των 30KHz. Η συχνότητα αυτή διαλέχτηκε επειδή “δίνει” ήχο παρόμοιας ποιότητας με τα τηλέφωνα σπιτιού. Επειδή έχουμε αμφίδρομη μετάδοση τα 416 κανάλια βρίσκονται στο εύρος από 824MHz μέχρι 849MHz για τις μεταδόσεις από τους φορητούς σταθμούς στις βάσεις και 416 κανάλια από 869MHz μέχρι 894MHz για μεταδόσεις από τις βάσεις στους κινητούς σταθμούς. Το πρότυπο AMPS χρησιμοποιεί την **FDMA**(frequency division multiple access) τεχνολογία η οποία διαχωρίζει τα κανάλια έτσι ώστε οι χρήστες να έχουν προσδιοριστεί ξεχωριστά σε κάποια συχνότητα και επιτρέποντας τους να έχουν πρόσβαση στο τηλεφωνικό δίκτυο χωρίς μεταξύ τους παρεμβολές.

2.2.3 Αρχιτεκτονική AMPS

Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στο AMPS είναι διαμόρφωση συχνότητας (FM). Λόγω του φαινομένου της FM σύλληψης ο δέκτης ανιχνεύει δύο ξεχωριστές εκπομπές στην ίδια συχνότητα, με αποτέλεσμα να απορρίπτει το ασθενές σήμα ή το σήμα παρεμβολής και επιτρέπει τη διέλευση του ισχυρού σήματος προς επεξεργασία. Με το τρόπο αυτό υπάρχει δυνατότητα αύξησης της απόδοσης του χρησιμοποιούμενου ράδιο-φάσματος, καθώς έχουμε τη τεχνική επαναληπτικής χρήσης ράδιο-συχνοτήτων σε διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Αν δύο σταθμοί βάσης εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα, τότε ο FM δέκτης που συντονίζεται σε αυτή τη ραδιοσυχνότητα, κλειδώνει στο πομπό από τον οποίο λαμβάνεται το πληροφοριακό σήμα με τον ισχυρότερο φορέα. Η διάσταση του υπερκυττάρου είναι της τάξης 7 και ο αριθμός των ραδιοδιαύλων ανά κύτταρο είναι 45. Στην αρχική ανάπτυξη του συστήματος κάθε σταθμός βάσης τοποθετείται στο κέντρο του εξαγωνικού κυττάρου. Ένας σταθμός βάσης αποτελείται από πομποδέκτες, τη μονάδα ελέγχου, το εξοπλισμό που απαιτείται για την επεξεργασία φωνής, τον εξοπλισμό συντήρησης του συστήματος και τις διατάξεις κατευθυντικών κεραιών εκπομπής και λήψης. Οι σταθμοί βάσης συνδέονται ενσύρματα με το κέντρο MTSO. Κατά τη μετακίνηση των κινητών μονάδων μέσα στις κυτταρικές ζώνες, πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις θέσης (location measurements). Οι μετρήσεις αυτές είναι μετρήσεις έντασης του πεδίου και έχουν στόχο τη διερεύνηση της εξυπηρέτησης ή μη της συγκεκριμένης κινητής μονάδας από τη συγκεκριμένη κατευθυντική κεραία του σταθμού βάσης και την ανάγκη μεταγωγής της κλήσης σε γειτονική κατευθυντική κεραία ή σε άλλο σταθμό βάσης για την αξιόπιστη συνέχιση της συνομιλίας.



Αρχιτεκτονική AMPS Συστήματος

Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία έναρξης μιας τηλεφωνική συνδιάσκεψης σε αναλογικό δίκτυο AMPS. Αρχικά αναφέρουμε ότι κάθε κινητό έχει ένα 32άμπιτο αριθμό σειράς και ένα 10ψήφιο αριθμό τηλεφώνου στη μνήμη PROM. Ο αριθμός τηλεφώνου αναπαριστάται ως ένας τριψήφιος υπεραστικός κωδικός με 10 bit και ένας επταψήφιος αριθμός συνδρομητή με 24 bit. Με το που ενεργοποιηθεί το τηλέφωνο αυτόματα αυτό αρχίζει να ερευνά μια εκ των προτέρων προγραμματισμένη λίστα 21 καναλιών ελέγχου (control channels) για να βρει το πιο ισχυρό σήμα (έχουμε 42 κανάλια ελέγχου αλλά επειδή η επικοινωνία είναι αμφίδρομη έχουμε $42/2=21$ κανάλια ελέγχου) .

Στη συνέχεια το κινητό τηλέφωνο εκπέμπει τον 32άμπιτο αριθμό σειράς και τον 34άμπιτο αριθμό τηλεφώνου. Όταν ο σταθμός βάσης λάβει την ανακοίνωση ενημερώνει τον “κεντρικό επεξεργαστή” MTSO(Mobile Telephone Switching Office) , ο οποίος καταγράφει την ύπαρξη του πελάτη. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας του, το κινητό τηλέφωνο επανεγγράφεται στην κυψέλη κάθε 15 λεπτά περίπου.

Για να γίνει μια εξερχόμενη κλήση αρχικά ο χρήστης πληκτρολογεί στο κινητό του τον αριθμό που θέλει να καλέσει και στη συνέχεια πατάει το κουμπί για να γίνει η κλήση. Τότε το κινητό στέλνει το στο κανάλι πρόσβασης (access control) το τηλέφωνο του χρήστη που καλεί και την ταυτότητα του. Όταν ο σταθμός βάσης λάβει την αίτηση ενημερώνει τον MTSO ο οποίος ψάχνει να βρει αδρανές κανάλι για να γίνει η κλήση. Αν βρεθεί κανάλι ο αριθμός καναλιού επιστρέφεται στον χρήστη μέσω του καναλιού ελέγχου. Το κινητό περνά πλέον στο επιλεγμένο από τον MTSO κανάλι φωνής και περιμένει τον καλούμενο να σηκώσει το τηλέφωνό του.

Στις εισερχόμενες κλήσεις τα κινητά τηλέφωνα αρχικά παρακολουθούν το κανάλι ειδοποίησης(raging channel) για να εντοπίσουν τυχόν μηνύματα που απευθύνονται σε αυτά. Όταν γίνεται μια κλήση προς ένα κινητό στέλνεται ένα πακέτο προς τον οικείο κεντρικό επεξεργαστή MTSO του καλούμενου. Στη συνέχεια στέλνεται ένα πακέτο στο σταθμό βάσης της κυψέλης που βρίσκεται το καλούμενο κινητό της μορφής “Μονάδα X λαμβάνεις”; Το καλούμενο κινητό απαντάει ‘Ναι’ και ο σταθμός βάσης τότε στέλνει στο κινητό ένα πακέτο της μορφής “Μονάδα X κλήση για σένα στο κανάλι Y”. Τότε το καλούμενο κινητό περνάει στο κανάλι Y και αρχίζει η συνομιλία.

Το AMPS δεδομένου ότι είναι ένα πρότυπο που ανήκει σε αναλογικά δίκτυα, είναι σχετικά εύκολο να διασπαστεί από εξωτερικούς παράγοντες καθώς το αναλογικό δίκτυο είναι ευαίσθητο στο θόρυβο. Έτσι κάποιος ο οποίος είχε στη κατοχή του ειδικό εξοπλισμό θα μπορούσε να υποκλέψει τον Ηλεκτρονικό Σειριακό Αριθμό (ESN) ενός τηλεφώνου. Αυτός ο αριθμός είναι ένα πακέτο στοιχείων που στέλνει το τηλέφωνο στο κυψελοειδές σύστημα και επιτρέπει τη κλήση ή μη κλήση καθώς και άλλα χαρακτηριστικά που έχει δικαίωμα ο χρήστης του συγκεκριμένου τηλεφώνου να χρησιμοποιεί.

Το AMPS πρότυπο είχε κάποιους περιορισμούς:

- Περιορισμένο Εύρος
- Χαμηλή χωρητικότητα κλήσης
- Φτωχή επικοινωνία δεδομένων
- Μη ασφάλεια στην επικοινωνία

2.3 Πρότυπο NAMPS

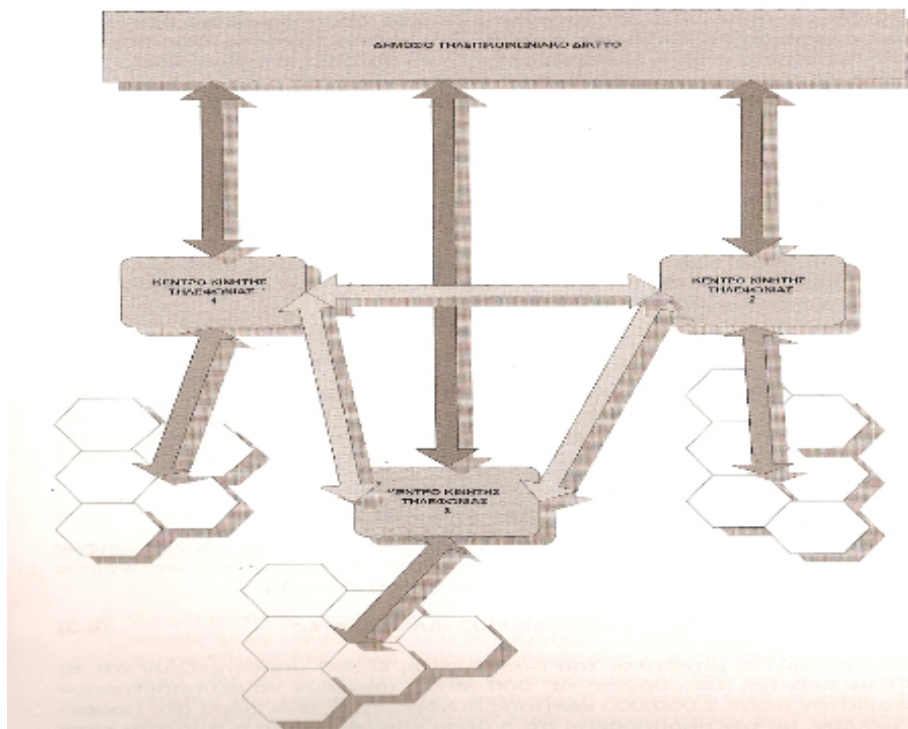
Μια πιο εξελιγμένη μορφή του AMPS αποτέλεσε το NAMPS(Narrowband AMPS) το οποίο χρησιμοποιούσε 10KHz κανάλια με αποτέλεσμα να τριαπλιάζεται η κυψελοειδής ικανότητα. Το πρότυπο NAMPS χώρισε ένα κανάλι AMPS 30KHz σε τρία κανάλια των 10KHz.Αυτό σημαίνει ότι το NAMPS δεχόταν 3 φορές περισσότερες κλήσεις απότι μπορούσε να δεχτεί ο προκάτοχος του. Βέβαια το πρότυπο NAMPS δεν ήταν καθαρά αναλογικό καθώς συνδύαζε τη υπάρχον επεξεργασία ήχου με ένα ψηφιακό σήμα ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του AMPS.

2.4 Πρότυπο C-Netz

Το δίκτυο C-450 ή C-Network ήταν ένα από τα πρώτα κυψελοειδή δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν στη Γερμανία, στη Πορτογαλία και στη Νότια Αφρική. Το 1993 το δίκτυο αυτό είχε 850000 συνδρομητές. Ήταν το πρώτο σύστημα με αλληλοεφαπτόμενες κυψέλες και για πρώτη φορά το σήμα μπορεί να μεταφέρεται από τη μία κυψέλη στην άλλη χωρίς διακοπές. Το δίκτυο αυτό υποστήριζε 222 κανάλια με μεταξύ τους κενό 20KHz στο εύρος των 450MHz. Σε δεύτερη φάση το σύστημα επανασχεδιάστηκε στην περιοχή των 900MHz . Οι μικρές αλλαγές μερικών παραμέτρων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν κατά τη δεύτερη φάση, βοήθησαν στη βελτιστοποίηση των απαιτήσεων για ευρεία εφαρμογή του συστήματος στις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες. Το σύστημα C-900 είναι σχεδιασμένο για σύγχρονη και ασύγχρονη λειτουργία. Σύγχρονη λειτουργία σημαίνει συγχρονισμός φάσης (phase synchronism) μεταξύ Σταθμών Βάσης σε περιοχές με υψηλή επικοινωνιακή κίνηση, προκειμένου να έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων. Η ασύγχρονη λειτουργία περιλαμβάνει περιπτώσεις γεωγραφιών περιοχών με χαμηλή και μεσαία πυκνότητα επικοινωνιακής κίνησης.

2.4.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου C-Netz

Όπως βλέπουμε στο διπλανό σχήμα η αρχιτεκτονική του C-Netz δικτύου βασίζεται στη διασύνδεση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας PLMTN(Public Land Mobile Network) με το σταθερό διακοπτικό τηλεφωνικό δίκτυο PSTN(Public Switching Telephone Network). Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας PLMTN αποτελείται από το Διακοπτικό Κέντρο Κινητής Τηλεφωνίας MSC(Mobile service switching centre), τους Σταθμούς Βάσης (BS) και τους Κινητούς Συνδρομητικούς Σταθμούς. Οι Σταθμοί Βάσης συνδέονται με το κέντρο MSC μέσω ειδικών ραδιοδιαύλων φωνής και δεδομένων ενώ οι κινητοί συνδρομητικοί σταθμοί συνδέονται ασύρματα με τους σταθμούς βάσης. Σε κάθε κελί του κυψελοειδούς συστήματος υπάρχει ένα καταχωρημένο σύνολο συχνοτήτων.



Αρχιτεκτονική του Δικτύου

2.4.2 Διαχείριση των Κυττάρων(κελιών ή κυψελών)

Σε ένα Κυτταρικό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας είναι αναγκαίο να διαχωρίσουμε τα όρια των κυττάρων σε τρεις διαφορετικούς τύπους:

- Το κυτταρικό γεωμετρικό όριο, το οποίο είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του κυτταρικού εξαγώνου(κελιού).
- Το κυτταρικό όριο έντασης πεδίου, το οποίο καθορίζεται από τη κατανομή της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου και εξαρτάται από το γεωγραφικό ανάγλυφο της περιοχής και από την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος από το Σταθμό Βάσης.
- Το κυτταρικό όριο επικοινωνιακής κίνησης, το οποίο εξαρτάται από την κατανομή της επικοινωνιακής κίνησης σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Θεωρούμε την περίπτωση όπου το ενεργό ράδιο-φάσμα είναι της τάξης των 900MHz με περίπου 1000 κανάλια για επικοινωνία και μέγιστη ακτίνα κυττάρου 20Km. Με τις προϋποθέσεις αυτές, η απαίτηση της χρήσης όλων των διαθέσιμων καναλιών σε ένα

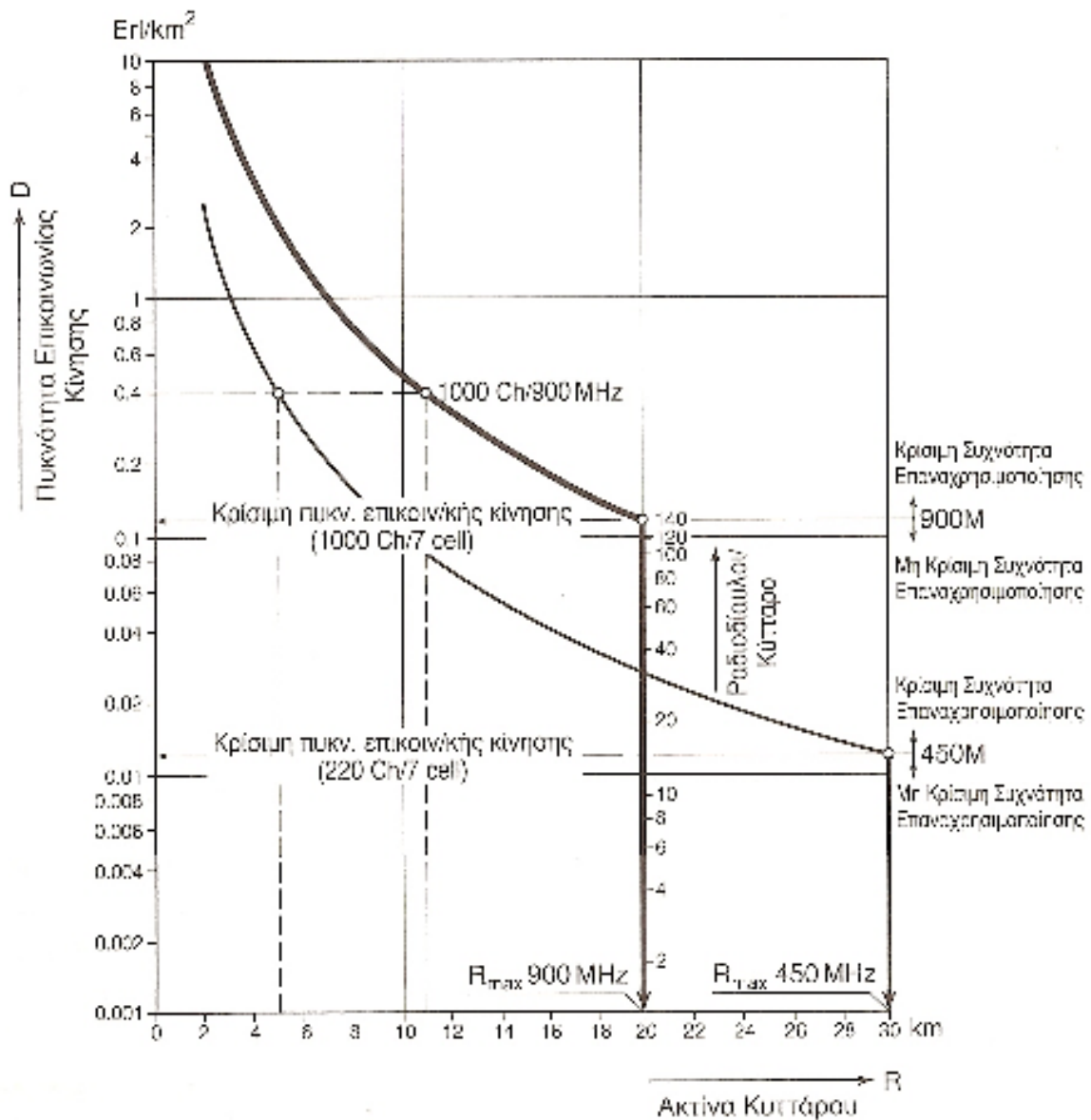
υπερκυτταρικό έβδομης τάξης (7 cell cluster size) είναι εφικτή, εφόσον η μέση πυκνότητα επικοινωνιακής κίνησης D είναι:

$$D = \frac{Ch}{7 * \pi * R^2} = \frac{1000}{7 * \pi * 20^2} = 0.11 \frac{Erl}{Km^2}$$

Για μια χώρα όπως η Γερμανία με συνολικό εμβαδό επιφάνειας (A) περίπου 250000Km² και για πυκνότητα επικοινωνιακής κίνησης $0.11 \frac{Erl}{Km^2}$ (όπως υπολογίσαμε παραπάνω), το φορτίο κίνησης είναι: $T = A * D = 250000 * 0.11 = 27500Erl$

Ο συνολικός αριθμός των εξυπηρετούμενων κινητών συνδρομητών(MS) δύναται να προσδιορισθεί από το γινόμενο του συνολικού φορτίου κίνησης (T) με τους 20 κινητούς συνδρομητές ανά Erlang: $MS = T * 20 = 550000$ συνδρομητές

Οι σχεδιαστές του συστήματος C-900 υποστήριξαν πως με περιοχή λειτουργίας 900MHz και με προϋπόθεση η μέση επικοινωνιακή πυκνότητα της τάξης 0,4Erl/Km², μπορούν να υπάρξουν μέχρι 2000000 κινητοί συνδρομητές. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη μεταβολή της πυκνότητας της επικοινωνιακής κίνησης σε συνάρτηση με την ακτίνα του κυττάρου(για την περίπτωση του υπερκυττάρου 7^{ης} τάξης).



Μεταβολή της πυκνότητας της επικοινωνιακής κίνησης σε συνάρτηση με την ακτίνα του κυττάρου(κελιού)

Σε μη αστικές περιοχές όπου η μέση πυκνότητα επικοινωνιακής κίνησης είναι μικρότερη του 0,1Erl/Km² η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων δεν είναι χρήσιμος περιοριστικός παράγοντας. Η τυχόν επικάλυψη των κυττάρων (cell overlapping) επιτρέπεται, δίχως να δημιουργούνται προβλήματα λόγω της συγκαναλικής παρεμβολής. Σε μεσαίου μεγέθους πόλη (200000 κάτοικοι) μικρής πυκνότητας επικοινωνιακής κίνησης και με δεδομένο ότι οι ραδιοδίαυλοι(κανάλια) χρησιμοποιούνται μόνο μια φορά εντός της πόλης(δεν έχουμε επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων), λόγω της ευρύτερης μη αστικής περιοχής, η ανίχνευση του κυτταρικού ορίου επικοινωνιακής κίνησης δεν είναι απαραίτητη. Σε αυτή τη περίπτωση δεν είναι

δυνατό να εμφανιστούν προβλήματα συγκαταναλικής παρεμβολής και το σύστημα έχει το πλεονέκτημα να λειτουργεί με επικαλυπτόμενα κύτταρα προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση της χρήσης ράδιο-διαύλων και να προσαρμοστεί με τις διακυμάνσεις εμφανιζόμενης πυκνότητας επικοινωνιακής κίνησης. Ο τρόπος λειτουργίας ονομάζεται κυτταρική ενδο-διαφυγή(cell interleaving). Σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα επικοινωνιακής κίνησης της τάξης από 1 έως 5 Erl/Km² έχουμε την επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε φορά της επικοινωνιακής κίνησης.

Το σύστημα CNetz προσφέρει στους συνδρομητές δυνατότητα roaming τόσο σε εθνικό τόσο και σε διεθνές επίπεδο. Ο συνδρομητής μπορεί να κληθεί μέσω ενός σήματος κλήσης με τη βοήθεια του συστήματος εγγραφής του ενεργού αρχείου AFS(Active File System) το οποίο ενεργοποιείται στο Σταθμό Βάσης και με το σύστημα εγγραφής του οικείου αρχείου HFS(Home File System), το οποίο ενεργοποιείται στο MSC. Σε περιπτώσεις διεθνούς περιαγωγή απαιτείται η διασύνδεση των διεθνών κέντρων MSC.

2.5 Πρότυπο TACS

Το σύστημα TACS (Total Access Communication System) δημιουργήθηκε στην Αγγλία το 1985. Η Αγγλική κυβέρνηση σαν βηματοδότης της απελευθέρωσης των τηλεπικοινωνιών έγκρινε μια 25 ετών άδεια για τη λειτουργία κυψελοειδούς δικτύου. Η εταιρία Vodafone και η εταιρία Celnet συμφώνησαν και δημιούργησαν μια παραλλαγή του αμερικάνικου δικτύου AMPS, το οποίο ονομάστηκε TACS. Το σύστημα αυτό διαχειριζόταν 1000 κανάλια στο εύρος των 900MHz με ένα κενό μεταξύ τους της τάξης των 25KHz. Το 1988 έχουμε την εξέλιξη του TACS, το λεγόμενο ETACS(Extended TACS) το οποίο χρησιμοποιούσε 1640 κανάλια με κενό μεταξύ τους 25KHz. Το σύστημα TACS χρησιμοποιήθηκε και εκτός Μεγάλης Βρετανίας. Το 1985 χρησιμοποιήθηκε στην Ιρλανδία και στο Χονγκ Κόνγκ, ενώ ένα χρόνο αργότερα χρησιμοποιήθηκε στο Μπαχρέιν, στο Κουβέιτ, στην Αυστρία, στην Ιταλία, στη Κίνα, στο Πακιστάν, στην Ισπανία καθώς και σε άλλες χώρες.

2.6 Πρότυπο NMT

Το NMT (Nordisk MobilTelefoni) αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα στη Σκανδιναβία. Σαν υπηρεσία πρωτοχρησιμοποιήθηκε το 1981. Λειτουργούσε σε εύρος συχνότητας 459MHz σε Σουηδία, Νορβηγία και Δανία ενώ στη Φιλανδία λειτουργούσε στα 150MHz. Το NMT900 (το 900 συμβολίζει τα MHz) ήρθε για να αντικαταστήσει το NMT450 καθώς παρείχε μεγαλύτερο αριθμό καναλιών. Μέχρι το 1985 το δίκτυο NMT είχε 110000 συνδρομητές στη Σκανδιναβία. Η είσοδος στα ψηφιακά δίκτυα είχε ως αποτέλεσμα πολλές χώρες στη Σκανδιναβία να αποσυρθούν από το NMT δίκτυο. Στη Φιλανδία η εταιρία Teliasonega σταμάτησε τη χρήση του NMT στις 31 Δεκεμβρίου 2002, στη Νορβηγία το τελευταίο NMT δίκτυο αποσύρθηκε στις 31 Δεκεμβρίου 2004, ενώ στη Σουηδία στις 31 Δεκεμβρίου 2007.

Παρολαυτά το NMT έχει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τα ψηφιακά δίκτυα και το GSM. Στην Ισλανδία για παράδειγμα το GSM είναι προσβάσιμο στο 98% της χώρας αλλά είναι κάποιες περιοχές (βουνά και λίμνες) όπου δεν εκπέμπει. Για το λόγο αυτό στην Ισλανδία το NMT είναι ακόμα δημοφιλές ειδικά από τους ψαράδες και σε κατοίκους χωριών σε βουνά αλλά και σε ορειβάτες.

Το μέγεθος ενός κελιού σε ένα NMT δίκτυο είναι από 2 έως 30 χιλιόμετρα. Για να εκπέμψει ένα τηλέφωνο αυτοκινήτου ενός NMT δικτύου χρειαζόταν ισχύ 15W για το NMT450 και 6W για το NMT900.

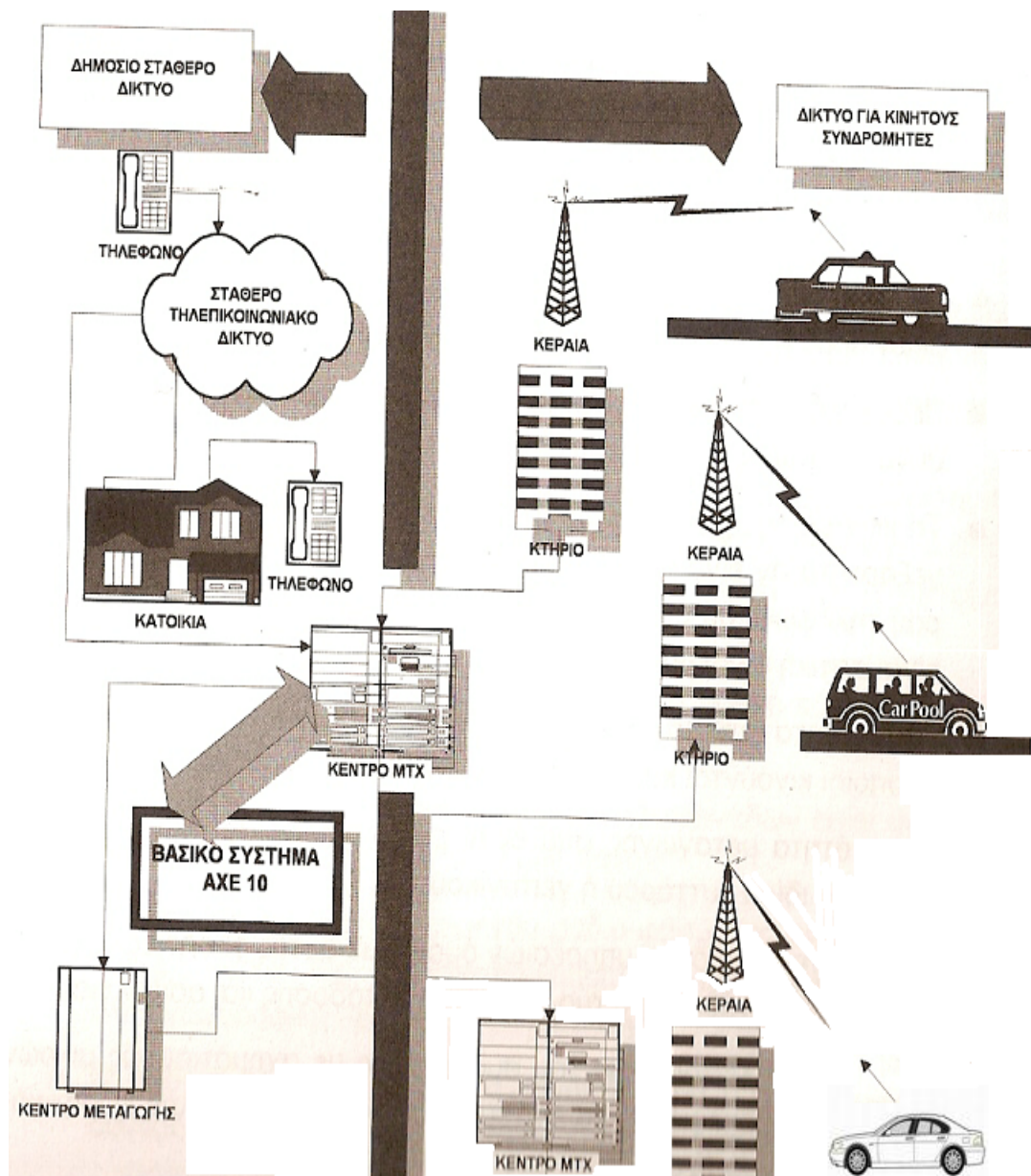
Ένα σημαντικό μειονέκτημα του NMT δικτύου ήταν ότι δεν γινόταν κωδικοποίηση ήχου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μπορούσε κάποιος να ακούσει μια συνομιλία αρκεί να συντονιζόταν στη κατάλληλη συχνότητα. Για το λόγο αυτό τα μεταγενέστερα NMT δίκτυα προχώρησαν στη κωδικογράφηση του ήχου για την ασφάλεια των ομιλιών. Το πρώτο σύστημα κωδικοποίησης ονομάστηκε NMT Doc 450-1 και στη συνέχεια είχαμε το NMT Doc 450-3 και το NMT Doc 900-3. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι η κωδικογράφηση του ήχου σε δίκτυα NMT μπορεί να αποτρέψει κάποιον από το να ακούσει μια συνομιλία αλλά δεν παρέχει όσο ασφάλεια παρέχουν τα ψηφιακά δίκτυα. Το NMT ήταν το πρώτο δίκτυο που υποστήριζε μεταφορά δεδομένων. Η υπηρεσία αυτή ονομάστηκε DMS (Data and Messaging Service) αλλά ποτέ δεν εφαρμόστηκε σε εμπορικό επίπεδο με εξαίρεση τα NMT δίκτυα σε Ρωσία, Πωλονία και Βουλγαρία. Άλλη μια υπηρεσία των NMT δικτύων ήταν το NMT Mobicigi, το οποίο επιτρέπει την μεταφορά δεδομένων με ρυθμό 380bit το δευτερόλεπτο αλλά για τη λειτουργία του χρειαζόταν επιπρόσθετο εξοπλισμό.

Τα πιο βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος NMT είναι:

- Δυνατότητα αυτόματης περιαγωγής (roaming) για τους κινητούς συνδρομητές σε Σουηδία, Νορβηγία, Δανία και Φιλανδία.
- Προώθηση κλήσεων μεταξύ κινητών-κινητών και κινητών-σταθερών.
- Το κόστος της χρέωσης το χρεώνεται ο καλών συνδρομητής ανεξάρτητα αν είναι χρήστης κινητού ή σταθερού τηλεφωνικού δικτύου.
- Δυνατότητα παροχής υπηρεσιών όμοιες με αυτές που παρέχονται από το σταθερό δίκτυο (ποιότητα μετάδοσης και ασφάλεια)
- Δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος με σχηματισμούς μικρών κυττάρων, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη χωρητικότητα

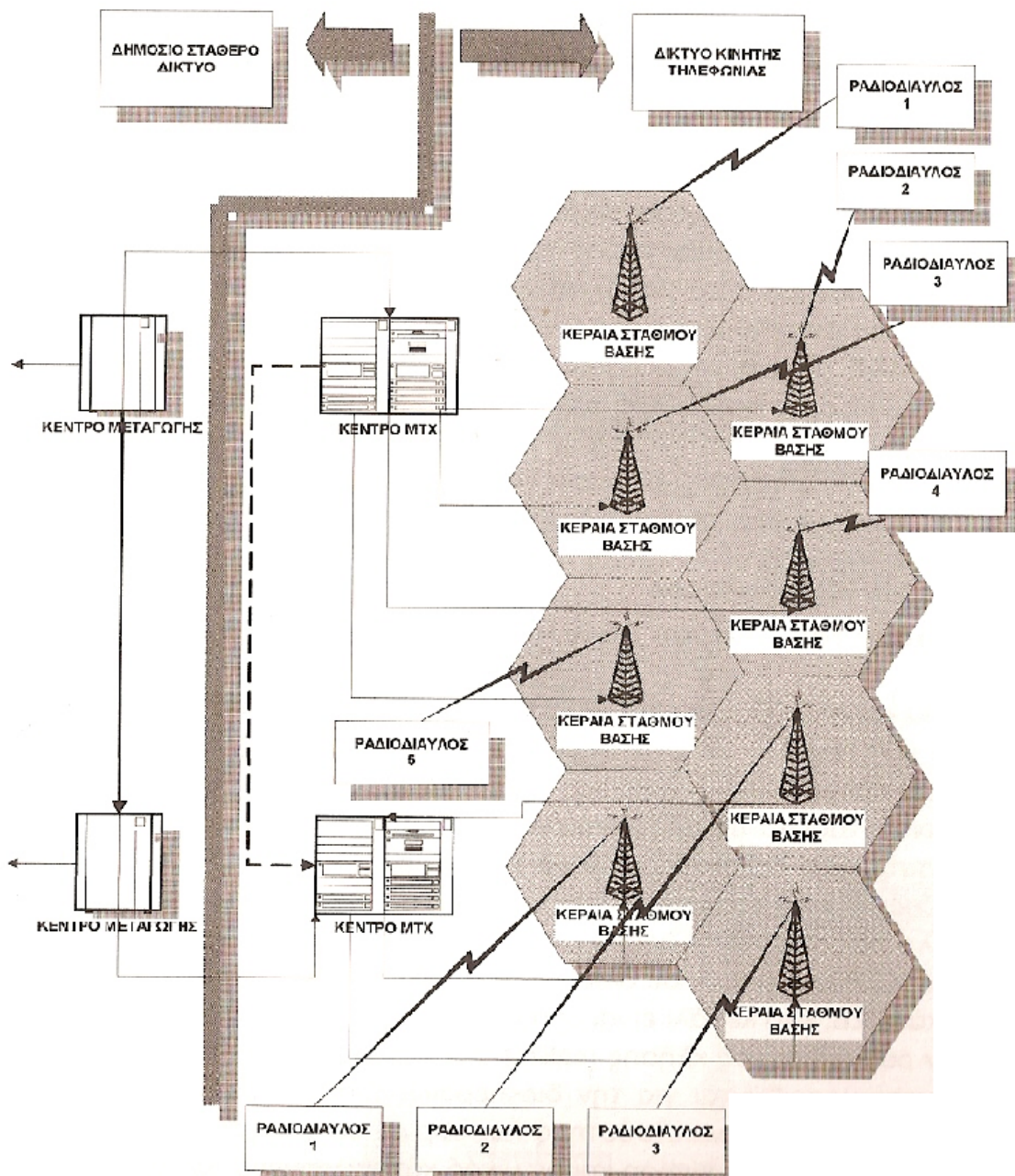
2.6.1 Δομή NMT συστήματος

Ένα NMT σύστημα αποτελείται από τις κινητές μονάδες (προσαρμοσμένες συνήθως στα οχήματα), τους σταθμούς βάσης που μεταδίδουν τα προκαθορισμένα σήματα ελέγχου μεταξύ των μονάδων του δικτύου και της μονάδας τηλεφωνικού κέντρου. Η μονάδα τηλεφωνικού κέντρου αποτελείται από το υποσύστημα MTS που συνδέει τους σταθμούς βάσης με το κέντρο AXE10. Το AXE10 είναι το κέντρο που χρησιμοποιείται για τη διεκπεραίωση τόσο της κινητής όσο και της σταθερής τηλεφωνίας. Το τμήμα του τηλεφωνικού κέντρου που ασχολείται μόνο με τη κινητή τηλεφωνία ονομάζεται MTX.



Δομή NMT Συστήματος

Οι θέσεις των σταθμών βάσεων εξαρτώνται από τη τοπογραφία των περιοχών κάλυψης και το πλήθος των συνδρομητών. Οι σταθμοί βάσεις συνδέονται με το σταθερό Δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μέσω των ΜΤΧ τηλεφωνικών κέντρων. Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα οι γειτονικοί σταθμοί βάσης εκπέμπουν σε διαφορετικές συχνότητες.



NMT Σύστημα

Σε κάθε σταθμό βάσης υπάρχει ένα κανάλι δεσμευμένο το οποίο χρησιμοποιείται σαν ράδιο-διάυλος κλήσης (calling channel). Οι υπόλοιποι διάυλοι ονομάζονται traffic channels και χρησιμοποιούνται για τη διακπερέωση τηλεφωνικών κλήσεων. Σε περίπτωση περιοχών με μικρή επικοινωνιακή κίνηση υπάρχει η περίπτωση το calling channel να λειτουργήσει ως traffic channel και το αντίθετο. Επειδή η επικοινωνία είναι αμφίδρομη έχουμε ένα διπλό ράδιο-διάυλο (duplex channel), ένα για αποστολή και ένα για λήψη δεδομένων. Το διάστημα μεταξύ της συχνότητας αποστολής και της συχνότητας λήψης είναι 10MHz. Ο μέγιστος αριθμός των διπλών ράδιο-διαύλων είναι 180 με διάστημα 25KHz μεταξύ γειτονικών ραδιοδιαύλων. Άρα το

απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι $2 \times 4,5\text{MHz}$ ($4,5\text{MHz}$ σε κάθε κατεύθυνση – $180 \times 25\text{KHz}$). Βέβαια ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές άρα ο συνολικός αριθμός των χρησιμοποιούμενων ραδιο-διαύλων να είναι μεγαλύτερος από 180. Για παράδειγμα στη Σουηδία η ύπαρξη 250 σταθμών βάσης και 1000 ραδιοδιαύλων εξυπηρετεί 50000 χρήστες κινητής τηλεφωνίας.

2.6.2 Πραγματοποίηση κλήσεων σε Σύστημα NMT

Στο NMT σύστημα κάθε χρήστης κινητής συσκευής έχει τη δική του συνδρομητική ταυτότητα. Η κλήση προς ένα κινητό πραγματοποιείται με τη πληκτρολόγηση του αντίστοιχου κώδικα, ο οποίος περιέχει αρχικά 1,2 ή και 3 ψηφία και κατόπιν ακολουθεί ο αριθμός συνδρομητικής ταυτότητας. Τα αρχικά ψηφία καθώς και τα 2 πρώτα ψηφία της ταυτότητας του συνδρομητή χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του καλούντος με το σωστό κέντρο MTX. Στη συνέχεια το κινητό του καλούμενου συνδρομητή ενεργοποιείται από το Σταθμό βάσης με ένα σήμα κλήσης. Μόλις λάβει το σήμα κλήσης το κινητό στέλνει ένα σήμα επιβεβαίωσης λήψης (acknowledgement signal). Ταυτόχρονα το MTX έχει προσδιορίσει το κατάλληλο σταθμό βάσης για την επικοινωνία των δύο συνδρομητών και στη συνέχεια καταλαμβάνει ένα ελεύθερο κανάλι για το σταθμό βάσης και τη κινητή μονάδα στέλνοντας ένα σήμα καταχώρησης (order signal). Τέλος το κινητό επιλέγει το προκαθορισμένο ραδιοδιάυλο κίνησης (traffic channel).

Σε περίπτωση που ο συνδρομητής πραγματοποιεί να κάνει κλήση η διαδικασία είναι λίγο διαφορετική. Αρχικά ο χρήστης πληκτρολογεί τον κληθέντα αριθμό με την κινητή συσκευή να ψάχνει ελεύθερο ραδιοδιάυλο για την επικοινωνία προς τον σταθμό βάσης στη συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται ο χρήστης. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία σηματοδότησης αναγνώρισης και ο συνδρομητικός αριθμός του κληθέντος μεταδίδεται στον MTX. Το MTX αναλύει την κατηγορία του συνδρομητή και τον αντίστοιχο επιλεγόμενο συνδρομητικό αριθμό και πραγματοποιείται η αποκατάσταση της κλήσης.

2.6.3 Περιαγωγή (Roaming) σε NMT Σύστημα

Οι χρήστες του NMT συστήματος ανεξαρτήτως σε ποια χώρα βρισκόταν (Σουηδία, Φιλανδία, Νορβηγία, Δανία) μπορούσαν να χρησιμοποιούσαν το κινητό τους τηλέφωνο καθώς το NMT σύστημα υποστήριζε roaming σε αυτές τις χώρες. Κάθε συνδρομητής NMT συστήματος είναι εγγεγραμμένος σε ένα τηλεφωνικό κέντρο της περιοχής του MTXH (Home exchange). Όταν η κινητή μονάδα εισέλθει σε περιοχή κίνησης άλλου τηλεφωνικού κέντρου MTXV (visited exchange) τότε διαπιστώνει την είσοδο της με την αναγνώριση του κώδικα περιοχής ο οποίος μεταδίδεται μέσω του καναλιού κλήσης και αυτόματα καλεί το κέντρο το οποίο μπορεί να είναι το MTXH ή το MTXV. Το κέντρο καταγράφει τη νέα τηλεπικοινωνιακή περιοχή κίνησης στην οποία βρίσκεται ο συνδρομητής. Το νέο MTXV αν έχει κληθεί, στέλνει σήμα στο MTXH του συνδρομητή με σκοπό να καταγραφεί η είσοδος του συνδρομητή στη νέα περιοχή.

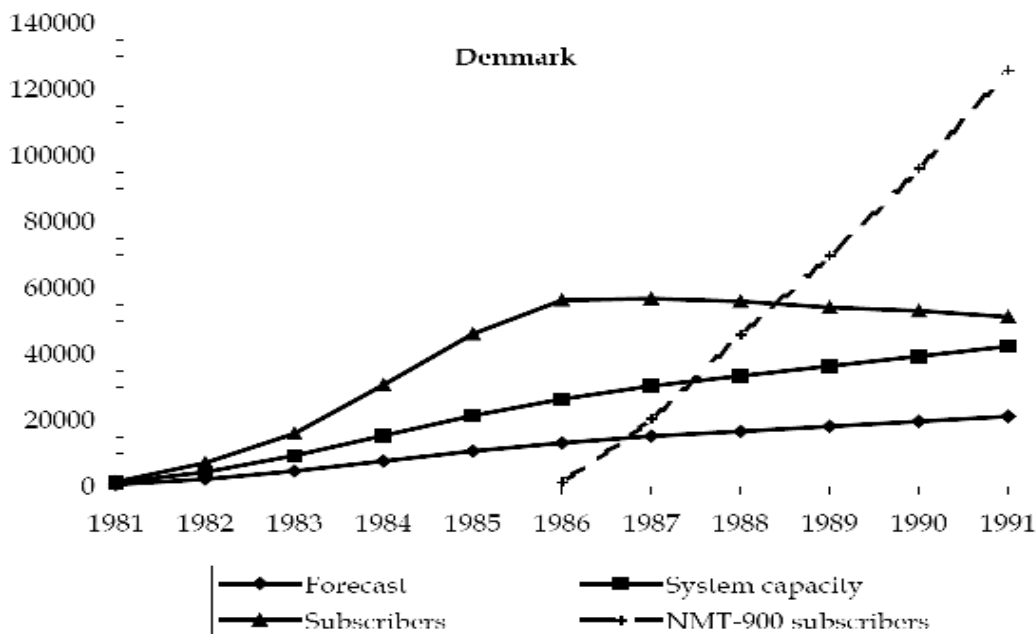
Σε περίπτωση που ο συνδρομητής βρίσκεται σε συνομιλία και κινείται εκτός της περιοχής κάλυψης που γίνεται η συνομιλία, τότε η κλήση περιάγεται στο σταθμό βάσης που είναι

υπεύθυνος για το χώρο κάλυψης που εισέρχεται ο συνδρομητής. Όταν η κλήση πρόκειται να περιαχθεί, τότε το τηλεφωνικό κέντρο ζητάει μια καταγραφή έντασης πεδίου του ράδιο-διαύλου κίνησης από τους γειτονικούς σταθμούς βάσης. Ο σταθμός βάσης που παρέχει τη καλύτερη ποιότητα σήματος είναι υποψήφιος να εξυπηρετήσει τη κλήση. Το τηλεφωνικό κέντρο ελέγχει να δει αν υπάρχει ελεύθερος ράδιο-διάυλος και εφόσον υπάρχει περνάει η κλήση στο νέο κανάλι.

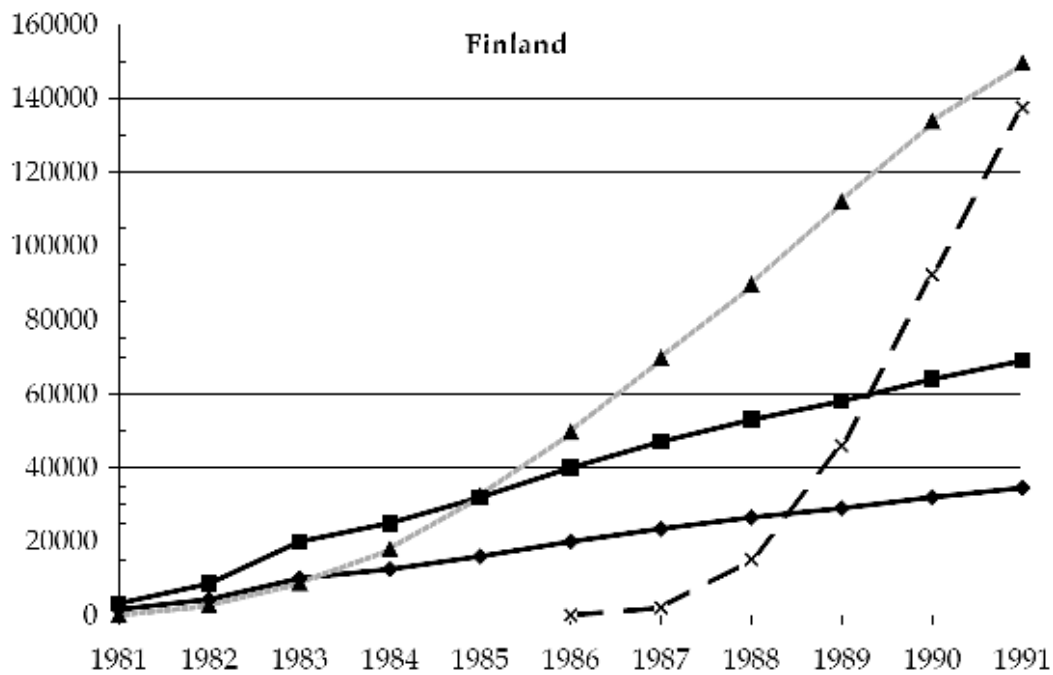
2.6.4 Στοιχεία Δικτύου NMT

Τα βασικά στοιχεία του NMT δικτύου είναι:

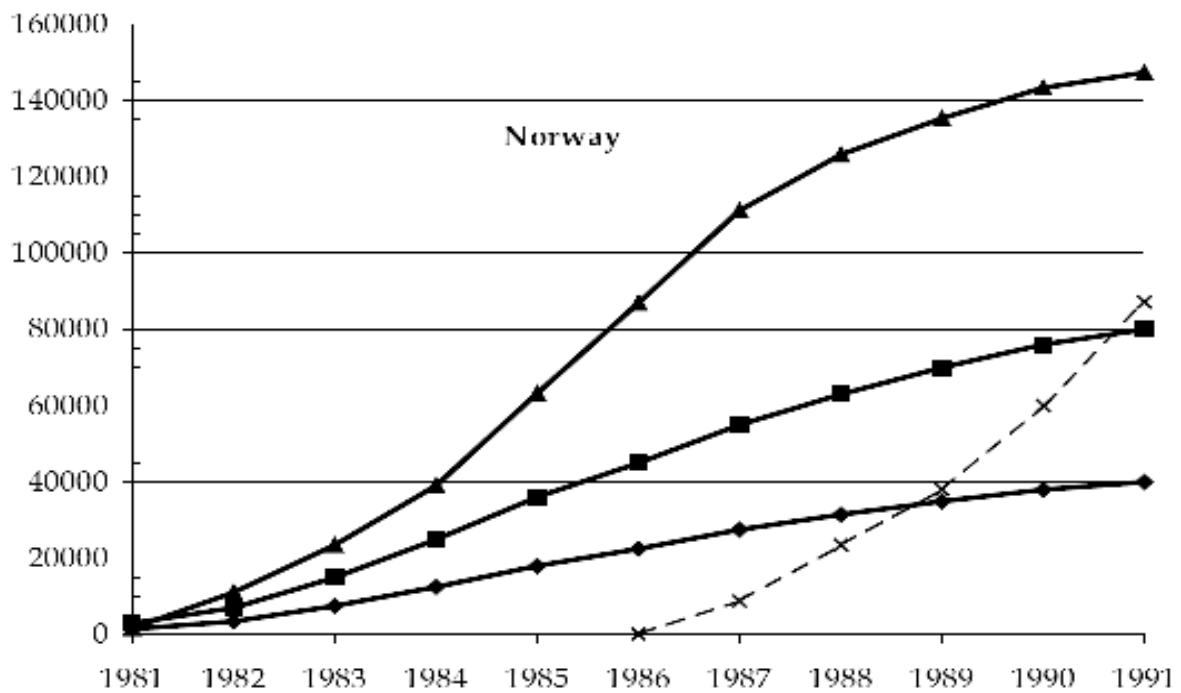
- Αριθμός Διαύλων: 180
- Περιοχή κάλυψης: Σκανδιναβία
- Κέντρα: Αυτόματα, AXE
- Σηματοδοσία: 1200bps, κώδικας διόρθωσης σφαλμάτων
- Χωρητικότητα: 60000 κινητοί συνδρομητές (μέχρι το 1980)
- Περιαγωγή(roaming)
- Δυνατότητα χρήσης μικρού μεγέθους κυττάρων



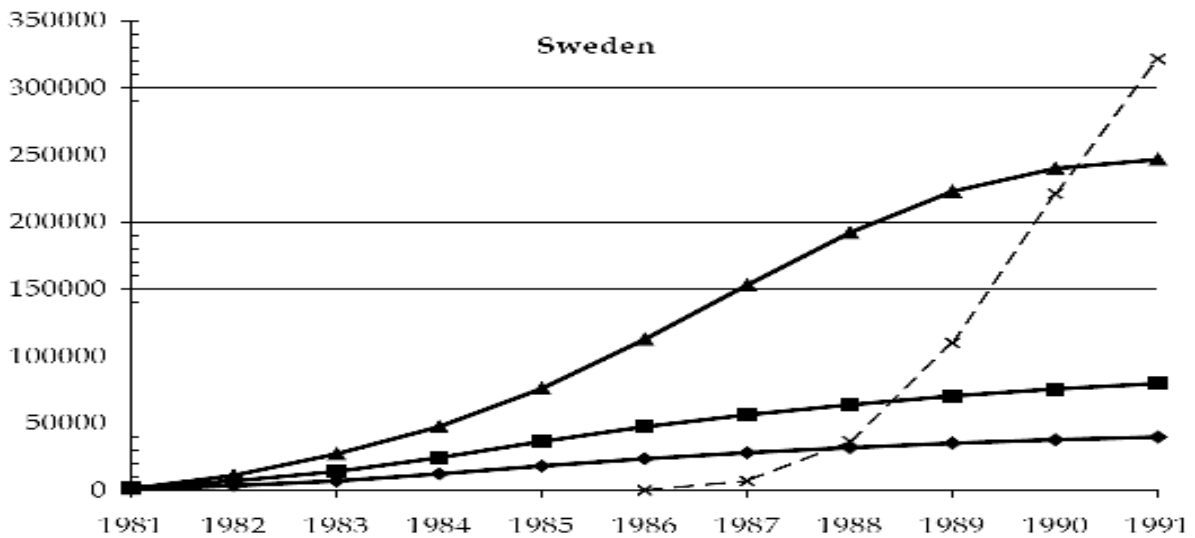
Χρήστες NMT στη Δανία



Χρήστες NMT στη Φιλανδία



Χρήστες NMT στη Νορβηγία



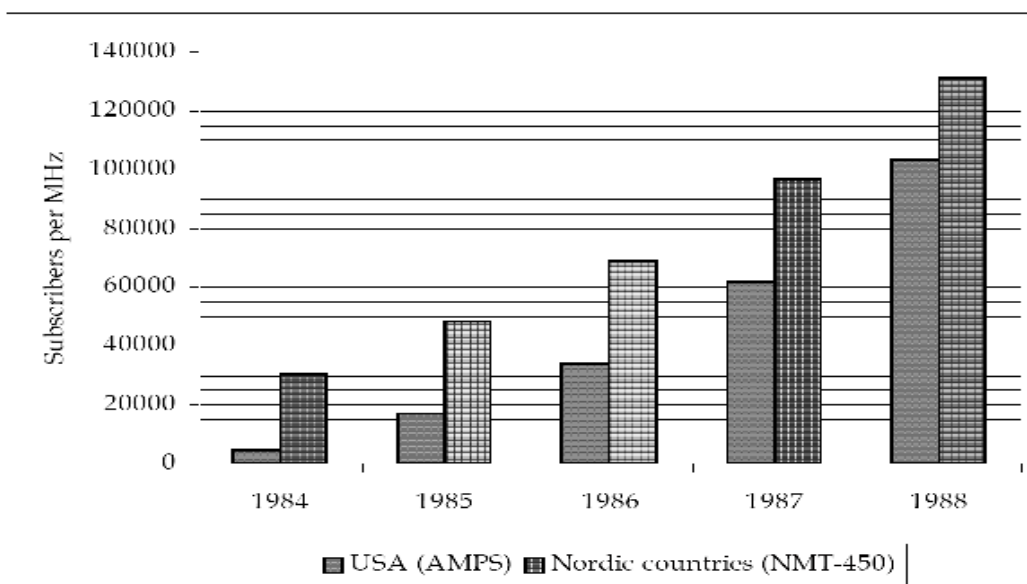
Χρήστες NMT στη Σουηδία

2.7 Πρότυπο NTT

Το NTT ήταν το πρώτο κυβελοειδές σύστημα στην Ιαπωνία το οποίο δημιουργήθηκε το 1979. Το 1988 βγήκε μια εξέλιξη του συστήματος αυτού, το οποίο επέτρεπε μεγαλύτερη χωρητικότητα συστήματος και επιπλέον πρόσφερε κάλυψη σχεδόν σε όλη τη χώρα.

2.8 Συγκρίσεις προτύπων αναλογικών δικτύων

Παρακάτω παρατηρούμε κάποιους πίνακες και εικόνες που συγκρίνουν τη χρήση των παραπάνω προτύπων που αναλύσαμε ανά ολόκληρο το κόσμο.



Χρήστες AMPS και NMT-450 ανά MHz

	NTP	NMT 450	NMT 900	TACS	C 450	AMPS
Χώρα	Ιαπωνί	Σκανδιναβί	Σκανδιναβί	Γερμανία	Γερμανία	ΗΠΑ
Uplink [MHz]	870-	453-457	890-915	890-915	450-454	824-849
Downlink [MHz]	925-	463-467	935-960	935-960	461-465	869-894
Εύρος Καναλιού [MHz]	25	25(20)	25(12.5)	25	20	30
Duplex Range [MHz]	55	10	45	45	11	45
Τεχνική Πρόσβασης	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA
Πλήθος Καναλιών	600	180 (220)	1000	1000	222	833

Χαρακτηριστικά Τεχνολογιών Αναλογικών Δικτύων

<i>ΧΩΡΑ</i>	<i>ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΕΣ</i>
<i>ΓΕΡΜΑΝΙΑ</i>	<i>650,000</i>
<i>ΑΥΣΤΡΙΑ</i>	<i>144,000</i>
<i>ΒΕΛΓΙΟ</i>	<i>55,000</i>
<i>ΔΑΝΙΑ</i>	<i>190,000</i>
<i>ΙΣΠΑΝΙΑ</i>	<i>141,000</i>
<i>ΦΙΛΑΝΔΙΑ</i>	<i>315,000</i>
<i>ΓΑΛΛΙΑ</i>	<i>394,000</i>
<i>ΙΣΛΑΝΔΙΑ</i>	<i>14,000</i>
<i>ΙΡΛΑΝΔΙΑ</i>	<i>37,000</i>
<i>ΙΤΑΛΙΑ</i>	<i>670,000</i>
<i>ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ</i>	<i>1,000</i>
<i>ΝΟΡΒΗΓΙΑ</i>	<i>250,000</i>
<i>ΟΛΛΑΝΔΙΑ</i>	<i>138,000</i>
<i>ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ</i>	<i>20,000</i>
<i>ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ</i>	<i>1,289,000</i>
<i>ΣΟΥΗΔΙΑ</i>	<i>626,000</i>
<i>ΕΛΒΕΤΙΑ</i>	<i>194,000</i>
ΣΥΝΟΛΟ	5,128,000

Συνδρομητές Χωρών Αναλογικών δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας μέχρι τα μέσα του 1992

2.9 Συμπέρασμα αναλογικών δικτύων

Η ολοένα αύξηση του πλήθους που χρησιμοποιούσε κινητά τηλέφωνα καθώς και οι φτωχές υπηρεσίες που παρείχαν τα κινητά τηλέφωνα στους πελάτες τους, οδήγησαν στην είσοδο των ψηφιακών δικτύων κινητής τηλεφωνίας(2G).

Παρακάτω βλέπουμε τα μειονεκτήματα των αναλογικών δικτύων που ήταν οι βασικοί λόγοι για την μετάβαση στα ψηφιακά δίκτυα:

- Φτωχή παροχή υπηρεσιών – Υπηρεσία φωνής και αυτή με ιδιαίτερα προβλήματα όπως τη διακοπή συνομιλιών όταν ο χρήστης μετέβαινε από το χώρο κάλυψης μίας κυψέλης σε άλλο χώρο.
- Μικρή χωρητικότητα – Περιορισμένος αριθμός συνδρομητών
- Μη παροχή ασφάλειας – Οι κλήσεις μπορούσαν να παρακολουθηθούν από άλλους με όχι ιδιαίτερα εξειδικευμένους εξοπλισμούς.
- Θόρυβος
- Το αναλογικό σήμα απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ.

3. 2^H Γενεά Κινητής Τηλεφωνίας

3.1 Εισαγωγή Στα Ψηφιακά Δίκτυα

Η ολοένα αύξηση των χρηστών κινητής τηλεφωνίας και οι περιορισμένες υπηρεσίες που παρείχαν τα αναλογικά δίκτυα οδήγησε στη δημιουργία των ψηφιακών δικτύων. Τα ψηφιακά δίκτυα χρησιμοποιούν την ίδια ραδιοτεχνολογία με τα αναλογικά δίκτυα αλλά τη διαχειρίζονται με άλλο τρόπο. Στα ψηφιακά συστήματα αρχικά η φωνή μετατρέπεται σε δυαδικά ψηφία (0 και 1) και στη συνέχεια συμπιέζεται. Έτσι σε ένα εύρος ζώνης μπορούμε να έχουμε περισσότερα κανάλια. Τα περισσότερα ψηφιακά συστήματα βασίζονται στη λύση μετακίνησης συχνότητας FSK (**frequency-shift keying**) για να αποστείλουν και να λάβουν δεδομένα πάνω από το AMPS. Με το τρόπο αυτό χρησιμοποιούνται δύο συχνότητες, μία για το 0 και μία για το 1 οι οποίες εναλλάσσονται για να μεταφέρουν πληροφορίες μεταξύ του Σταθμού Βάσης και του κινητού τηλεφώνου.

Τα κινητά τηλέφωνα 2^{ης} Γενιάς πρέπει να έχουν επεξεργαστές με ιδιαίτερα καλή υπολογιστική ισχύ καθώς χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις διαμόρφωσης και κωδικοποίησης για να μετατραπεί η αναλογική πληροφορία σε ψηφιακή, να συμπιεστεί και να μετατραπεί ξανά, δίχως να υπάρχουν απώλειες ως προς την ποιότητα του ήχου.

Στα ψηφιακά δίκτυα η φωνή μπορεί να συμπιεστεί και να πολυπλεχθεί πολύ πιο αποτελεσματικά απότι γινόταν στα αναλογικά δίκτυα, με αποτέλεσμα περισσότερες κλήσεις να μπορούν να συνυπάρξουν στο ίδιο εύρος συχνοτήτων. Τα ψηφιακά δίκτυα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε οι κινητές συσκευές να παράγουν χαμηλότερης έντασης ισχύ σε σχέση με τις κινητές συσκευές των αναλογικών δικτύων. Αυτό σημαίνει πως έχουμε μικρότερα κελιά, άρα σε μια γεωγραφική περιοχή έχουμε περισσότερα κελιά από είχαμε στα αναλογικά δίκτυα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται Σταθμοί Βάσης χαμηλότερης ισχύς, άρα και μικρότερο κόστος. Όπως δεν υπήρξε παγκόσμια τυποποίηση κατά την πρώτη γενιά έτσι δεν υπήρξε και κατά τη δεύτερη. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στα ψηφιακά δίκτυα είναι: D-AMPS, CSD, PDC, iDEN, GSM

και CDMA. Ανάμεσα στη 2^η και 3^η γενιά έχουμε τη 2,5G. Σε αυτή τη γενιά κυριαρχεί το GPRS (General Packet Radio Service) το οποίο επεκτείνει τις δυνατότητες του GSM. Για το λόγο αυτό το GPRS ονομάζεται και “GSM φάση 2”. Οι κινητές συσκευές 2^{ης} γενιάς είναι σαφώς μικρότερες από της συσκευές 1^{ης} γενιάς και παρέχουν σαφέστατα αρκετές υπηρεσίες σε σχέση με τους προγόνους τους, όπως η αποστολή και λήψη γραπτών μηνυμάτων SMS (Short Message Service). Επιπλέον και σαν συσκευές είναι διαθέτουν νέες τεχνολογίες όπως οι Υπέρυθρες και το Bluetooth. Οι μπαταρίες πλέον έχουν μεγαλύτερη αυτονομία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα σήματα έχουν μικρότερη ισχύς με αποτέλεσμα να απαιτείται λιγότερη κατανάλωση μπαταρίας. Οι βασικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα ψηφιακά δίκτυα είναι : FDMA (Frequency Division Multiple Access, χρησιμοποιείται στα αναλογικά δίκτυα κυρίως βλ.Κεφ.2), TDMA (Time Division Multiple Access) και CDMA (Code Division Multiple Access).

Τα πιο βασικά πλεονεκτήματα των ψηφιακών δικτύων είναι:

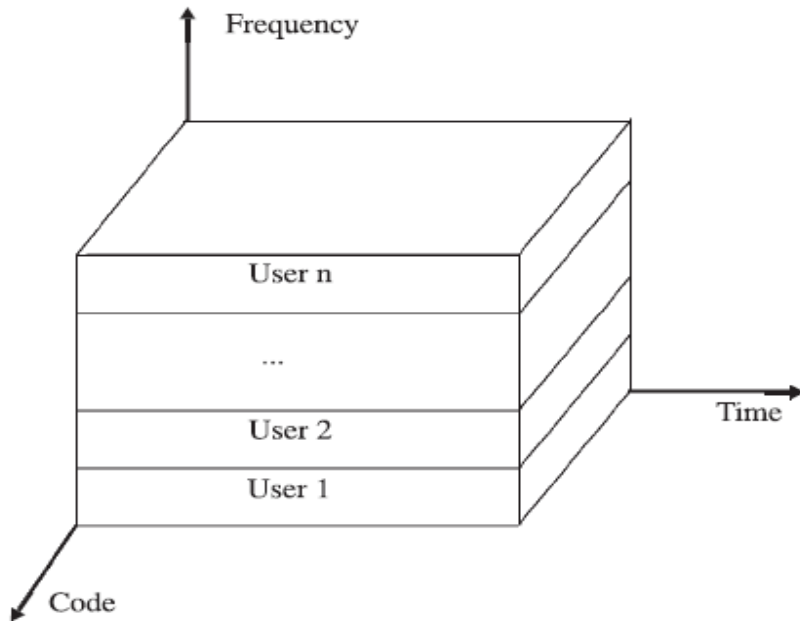
- Υψηλή ποιότητα ήχου ακόμα και σε μεταδόσεις μακρινών αποστάσεων
- Εξοικονόμηση εύρους συχνοτήτων
- Συμβατότητα με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές
- Παροχή ασφάλειας στην επικοινωνία καθώς είναι δύσκολο να αποκωδικοποιηθούν τα δεδομένα
- Χρήση εκπομπής χαμηλότερης ισχύος
- Μικρότερος με μέγεθος και σε κόστος ο απαραίτητος εξοπλισμός

3.2 Τεχνολογίες FDMA - TDMA - CDMA

Ανάλογα και το τύπο του ψηφιακού συστήματος χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη τεχνολογία (FDMA, TDMA και CDMA). Για παράδειγμα το σύστημα GSM χρησιμοποιεί TDMA περιορισμένης ζώνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία FDMA χρησιμοποιήθηκε κυρίως στα αναλογικά δίκτυα και αυτό επειδή ενώ είναι ικανή να μεταφέρει ψηφιακή πληροφορία δεν είναι και η αποδοτικότερη μέθοδος ως προς τη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας.

3.2.1 Τεχνολογία FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Κατά την FDMA τεχνολογία το φάσμα συχνοτήτων διαιρείται σε ομάδες συχνοτήτων (κανάλια) όπως βλέπουμε στη παρακάτω εικόνα.



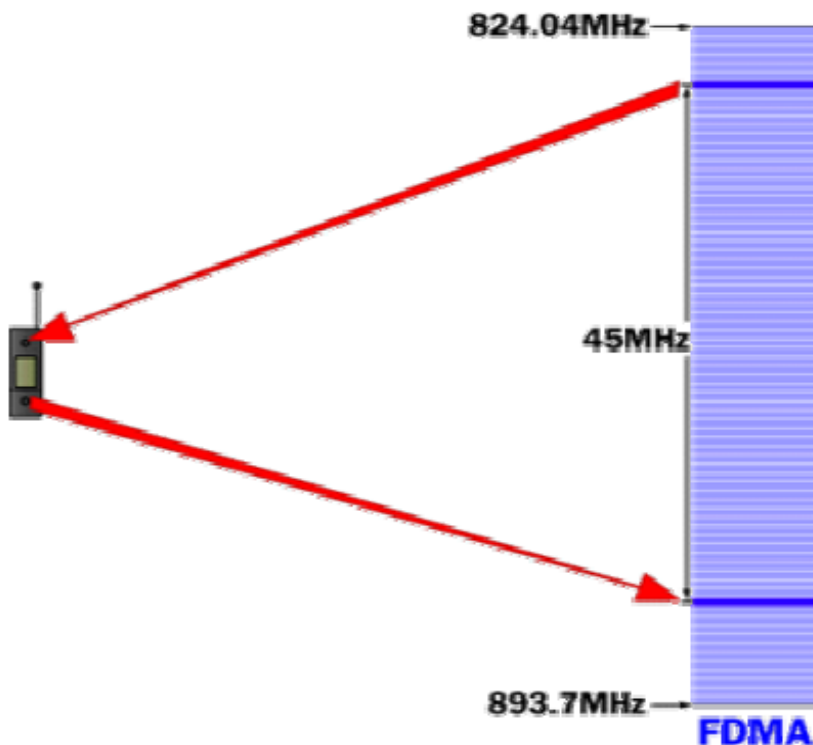
FDMA(Frequency Division Multiple Access)

Τα κανάλια αυτά είναι διαχωρισμένα μεταξύ τους και δεν παρεμβάλλονται. Ο χρήστης κατά τη διάρκεια της ομιλίας του χρησιμοποιεί ένα κανάλι το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλο χρήστη μέχρι να τελειώσει τη συνομιλία του ή εκτός και αν μεταβεί σε διαφορετικό κανάλι. Για μια διμερή μετάδοση full duplex FDMA απαιτούνται δύο κανάλια, ένα για την εκπομπή και ένα για την λήψη. Έχουμε δύο κατηγορίες διμερής μετάδοσης:

FDD (Frequency Division Duplexing) που παρέχει δύο ξεχωριστές ζώνες συχνότητας για κάθε χρήστη. Η μία ζώνη αφορά τη “κίνηση” από το Σταθμό Βάσης στο κινητό τηλέφωνο και η άλλη ζώνη αφορά τη “κίνηση” από το κινητό τηλέφωνο στο Σταθμό Βάσης.

TDD (Time Division Duplexing) χρησιμοποιεί χρόνο αντί για συχνότητα για να ξεχωρίσει τα σήματα από τα

προώθησης
σήματα
επιστροφής.



FDMA(Frequency Division Multiple Access)

Ο αριθμός των FDMA καναλιών δίνεται από τη παρακάτω εξίσωση:

$$N = \frac{B_s - 2 * B_{guard}}{B_c}$$

όπου B_s : συνολικό φάσμα

B_{guard} : ζώνη ελέγχου(η απόσταση μεταξύ δύο καναλιών)

B_c : εύρος ζώνης καναλιού

Για παράδειγμα στην Αμερική κάθε κυψελοειδείς φορέας προορίζεται να έχει 416 κανάλια:

$$N = \frac{12.5MHz - 2 * 10KHz}{30KHz} = 416 \text{ κανάλια}$$

όπου $\beta_f=12,5MHz$, $\beta_{guard}=10KHz$ και $\beta_c= 30KHz$

Εκτός το συνολικό αριθμό FDMA καναλιών μπορούμε να προσδιορίσουμε τα ραδιοκανάλια ανά κελί (ράδιο-χωρητικότητα) και τους χρήστες ανά κελί(χωρητικότητα κελιού).

Η ράδιο-χωρητικότητα δίνεται από το παρακάτω τύπο :

$$m = \frac{\text{Συνολικό φάσμα συχνοτήτων}}{\text{Εύρος ζώνης καναλιού} * \text{Συνολικά κανάλια}} = \frac{B_s}{B_c * N}$$

Ο μέγιστος αριθμός χρηστών ανά κελί(χωρητικότητα κελιού) δίνεται από το παρακάτω τύπο:

$$N_u = \frac{N_{Sch} * B_s}{B_c * N}$$

όπου N_{Sch} : ο μέγιστος αριθμός καναλιών ομιλίας σε μια περιοχή

B_s : συνολικό φάσμα

B_c : εύρος ζώνης καναλιού

N : συνολικά κανάλια

Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε την απόδοση φάσματος FDMA :

FDMA	
Απόδοση φάσματος σε σχέση με τη συχνότητα(σε αδιάστατο αριθμό)	$n_f = \frac{N_{Sch} * B_c}{B_s}$
Απόδοση φάσματος σε σχέση με τη συχνότητα (σε κανάλια/MHz/km ² ή Erlangs/MHz/ km ²)	$n = n_f * n_m$

όπου N_{Sch} : ο μέγιστος αριθμός καναλιών ομιλίας σε μια περιοχή

B_s : συνολικό φάσμα

B_c : εύρος ζώνης καναλιού

n_m : απόδοση φάσματος σε σχέση με τη διαμόρφωση

Η απόδοση φάσματος μετράει πως οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (multiple access) που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα συστήματα, επιτρέπουν μια πιο αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης σε σχέση με τη συχνότητα(επειδή εξετάζουμε τα FDMA, σε περίπτωση TDMA είναι σε σχέση με το χρόνο).

Όπως είπαμε η τεχνολογία FDMA χρησιμοποιείται κυρίως στα αναλογικά συστήματα. Εκτός από τη κινητή τηλεφωνία χρησιμοποιείται στα walkie talkie και στους ραδιοφωνικούς σταθμούς όπου ο κάθε σταθμός έχει το δικό του κανάλι.

Πλεονεκτήματα FDMA

- Σχετικά στενό εύρος ζώνης
- Αρκετά ικανοποιητική απόδοση όταν ο αριθμός σταθμών είναι μικρός και η κυκλοφορία είναι ομοιόμορφα σταθερή
- Μπορεί να επιτευχθεί αύξηση χωρητικότητας του δικτύου με τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης πληροφοριών και με τη χρησιμοποίηση αποδοτικού ψηφιακού κώδικα
- Καμία ανάγκη για συγχρονισμό δικτύων
- Κανένας περιορισμός σχετικά με τον τύπο ζώνης βάσης ή τον τύπο διαμόρφωση

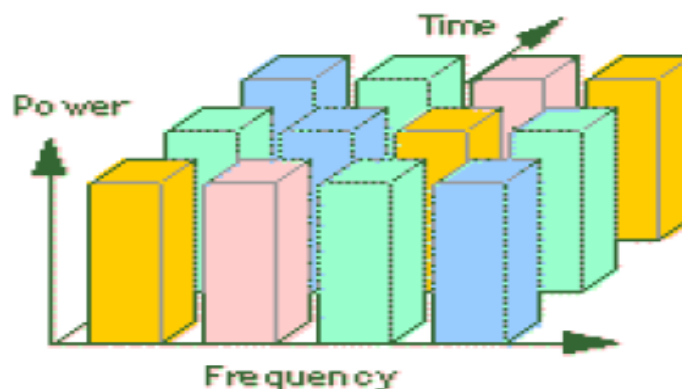
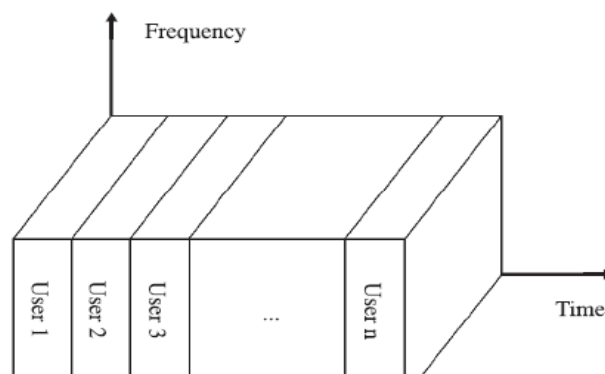
Μειονεκτήματα FDMA

- Η παρουσία ζώνης ελέγχου(αναγκαία απόσταση μεταξύ καναλιών για τη μη ύπαρξη παρεμβολών)
- Μικρή και περιορισμένη ευελιξία στην ικανότητα ρυθμού μετάδοσης
- Στις κινητές μονάδες FDMA, τόσο ο αποστολέας όσο και ο δέκτης λειτουργούν συγχρόνως χρησιμοποιώντας την ίδια κεραία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο κόστος των συσκευών των συνδρομητών αλλά και των Σταθμών Βάσης.
- Η τεχνολογία FDMA απαιτεί ισχυρό φιλτράρισμα RF για να ελαχιστοποιήσει τη παρακείμενη παρέμβαση καναλιών.

3.2.2 Τεχνολογία TDMA (Time Division Multiple Access)

Το TDMA σύστημα σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος περιβάλλοντος και καταστάσεων, όπως από ένα χρήστη κινητού τηλεφώνου σε ένα γραφείο μέχρι τη χρήση ενός κινητού τηλεφώνου από ένα οδηγό στην εθνική οδό. Το σύστημα αυτό προσφέρει στο χρήστη μια πληθώρα υπηρεσιών όπως μετάδοση ήχου και δεδομένων, φαξ, αποστολή και λήψη γραπτών μηνυμάτων(SMS). Η τεχνολογία TDMA χρησιμοποιείται σε πολλά συστήματα από τα οποία τα βασικότερα είναι το GSM και το D-AMPS(Digital AMPS) ή NA-TDMA(North America TDMA).

Η τεχνολογία TDMA μοιάζει με την FDMA με τη διαφορά ότι έχουμε διαίρεση χρόνου. Έτσι ο χρόνος διαιρείται σε χρονοθυρίδες. Σε κάθε χρονοθυρίδα μόνο ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο κοινόχρηστο κανάλι. Το παρών πρότυπο TDMA διαιρεί το κανάλι σε έξι χρονοθυρίδες, με κάθε κινητή συσκευή να χρησιμοποιεί δύο χρονοθυρίδες(αμφίδρομη επικοινωνία). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χωρητικότητα του δικτύου να είναι τρεις φορές μεγαλύτερη. Αυτό είναι εφικτό επειδή η φωνή μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακά δεδομένα και αυτά να συμπιεστούν, κι έτσι να δεσμεύουν λιγότερο χρόνο εκπομπής. Σε κάθε χρήστη(που πραγματοποιεί συνομιλία) παραχωρείται μία ξεχωριστή χρονοθυρίδα για την εκπομπή.



*TDMA (Time
Division Multiple
Access)*

H

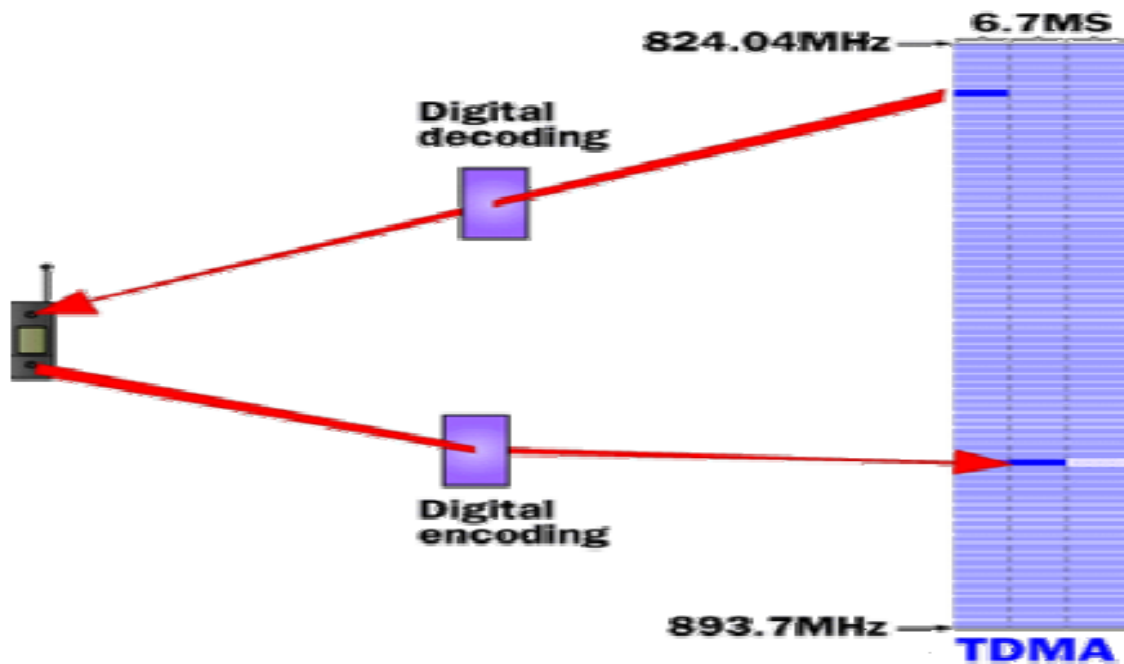
λειτουργία του

συστήματος TDMA βασίζεται στο γεγονός ότι το σήμα φωνής διασπάται σε πακέτα μήκους millisecond. Αρχικά αναθέτεται σε ένα συγκεκριμένο κανάλι για μια σχετικά μικρή χρονική περίοδο και στη συνέχεια μεταφέρεται σε άλλο κανάλι. Μια απλή εκπομπή καταλαμβάνει διαφορετικές χρονοθυρίδες σε διάφορα κανάλια την ίδια στιγμή όπως βλέπουμε στη παρακάτω εικόνα.

TDMA (Time Division Multiple Access)

Όπως και στη τεχνολογία FDMA έτσι και στη TDMA υπάρχει η αδυναμία της σπατάλης των συχνοτήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μια χρονοθυρίδα καταχωρείται σε μια συνομιλία ακόμα και αν κανείς από τους δύο συνομιλητές δεν μιλάει. Μια καινούρια έκδοση της τεχνολογίας TDMA η **ETDMA** (Extended TDMA) αναπτύχθηκε ώστε να λύσει το παραπάνω πρόβλημα. Κατά την ETDMA τεχνολογία δεδομένα στέλνονται στα κενά μιας κανονικής συνομιλίας. Όταν οι συνδρομητές έχουν κάτι να στείλουν ένα bit τοποθετείται στη ουρά buffer. Το σύστημα ψάχνει τον buffer, γνωστοποιεί ότι ο χρήστης έχει πληροφορία να μεταδώσει και καταλαμβάνει το ανάλογο κανάλι. Αν ο συνδρομητής δεν έχει πληροφορία να μεταδώσει τότε η ουρά του buffer πάει στον επόμενο συνδρομητή. Στη περίπτωση που δύο συνομιλητές σε μια ομιλία δεν μιλάνε για μια χρονική περίοδο η τεχνική αυτή διπλασιάζει την αποδοτικότητα του TDMA και δέκα φορές πιο αποδοτική σε σχέση με τα αναλογικά δίκτυα.

Τα TDMA συστήματα λειτουργούν στα 800MHz και στα 1900MHz.



Σύστημα TDMA

Ο αριθμός των TDMA καναλιών δίνεται από τη παρακάτω εξίσωση:

$$N = \frac{N_{sch} * (B_s - 2 * B_{guard})}{B_c}$$

όπου N_{sch} : ο μέγιστος αριθμός καναλιών ομιλίας σε μια περιοχή

B_s : συνολικό φάσμα

B_c : εύρος ζώνης καναλιού

B_{guard} : ζώνη ελέγχου(η απόσταση μεταξύ δύο καναλιών)

Στα TDMA συστήματα η ραδιο-χωρητικότητα(ραδιοκανάλια ανά κελί) και η χωρητικότητα κελιού (οι χρήστες ανά κελί) υπολογίζονται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Για τη ραδιοχωρητικότητα έχουμε :

$$m = \frac{\text{Συνολικό φάσμα συχνοτήτων}}{\text{Εύρος ζώνης καναλιού} * \text{Συνολικά κανάλια}} = \frac{B_s}{B_c * N}$$

Ο μέγιστος αριθμός χρηστών ανά κελί (χωρητικότητα κελιού) δίνεται από το παρακάτω τύπο:

$$N_u = \frac{N_{Sch} * B_s}{B_c * N}$$

όπου N_{Sch} : ο μέγιστος αριθμός καναλιών ομιλίας σε μια περιοχή

B_s : συνολικό φάσμα

B_c : εύρος ζώνης καναλιού

N : συνολικά κανάλια

m : ραδιοχωρητικότητα (ραδιοκανάλια ανά κελί)

N_u : Χωρητικότητα κελιού σε χρήστες

Όπως είδαμε παραπάνω (βλ. FDMA τεχνολογία) η απόδοση φάσματος μετράει πως οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα επιτρέπουν μια πιο αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης σε σχέση με το χρόνο. Στα TDMA συστήματα η απόδοση φάσματος υπολογίζεται ως:

	TDMA ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ	TDMA ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ
Απόδοση φάσματος(σε αδιάστατο αριθμό)	$n_t = \frac{T * N_{tdma}}{T_f}$	$n_t = \frac{T * N_{tdma}}{T_f} * \left(\frac{B_u * N_u}{B_s} \right)$
Απόδοση φάσματος(σε κανάλια/MHz/km ² ή Erlangs/MHz/km ²)	$n = n_t * n_m$	

όπου B_s : συνολικό φάσμα

B_c : εύρος ζώνης καναλιού

n_m : απόδοση φάσματος σε σχέση με τη διαμόρφωση

T : διάρκεια μιας χρονοθυρίδας

B_u : εύρος ζώνης ενός μεμονωμένου χρήστη κατά τη διάρκεια της χρονοθυρίδας του

N_u : ο αριθμός των χρηστών που μοιράζονται την ίδια χρονοθυρίδα άλλα έχουν πρόσβαση σε διαφορετικές υποζώνες συχνότητας

T_f : διάρκεια frame

Η τεχνολογία TDMA παρέχει ένα πλήθος πλεονεκτημάτων. Παρακάτω βλέπουμε τα βασικότερα:

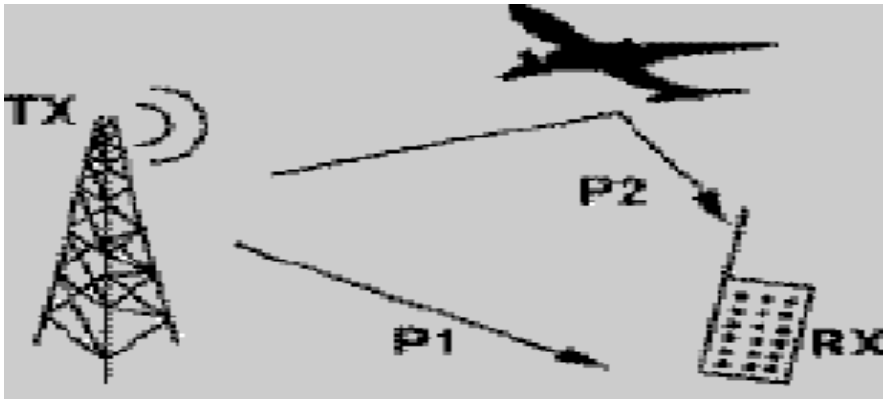
- Το TDMA προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης από 64Kbps μέχρι 120Mbps. Αυτό επιτρέπει στους φορείς να παρέχουν στους συνδρομητές νέες υπηρεσίες όπως φαξ και αποστολή και λήψη γραπτών μηνυμάτων (SMS)
- Επειδή το TDMA διαιρεί το χρόνο σε χρονοθυρίδες δεν υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν παρεμβολές σε συνομιλίες
- Στα TDMA το μέγεθος των κελιών είναι μικρότερο σε σχέση με τα αναλογικά δίκτυα με αποτέλεσμα να απαιτείται χαμηλότερης ισχύς εξοπλισμός άρα και φθηνότερος
- Η TDMA τεχνολογία είναι η πιο οικονομικά συμφέρον τεχνολογία για την αναβάθμιση ενός υπάρχον αναλογικού δικτύου σε ψηφιακό
- Η TDMA είναι η μόνη τεχνολογία που προσφέρει την αποδοτικότερη εκμετάλλευση της ιεραρχικής δομής κελιών (HCSs), πικοκελιά, μικροκελιά και μακροκελιά. Το HCS επιτρέπει στο σύστημα να προσαρμόζεται ώστε να υποστηρίζει συγκεκριμένη κίνηση και υπηρεσίες σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

Το διπλό εύρος των 800MHz και 1900MHz προσφέρουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Παρόμοιες υπηρεσίες και εφαρμογές παρέχονται στους συνδρομητές των δύο συχνοτήτων
- Οι συνδρομητές της διπλής ζώνης τηλεφώνων σε ένα TDMA 1900MHz μπορούν να επικοινωνήσουν τόσο με ένα TDMA 800MHz κανάλι όσο και με ένα AMPS κανάλι.
- Μονοκόμματα αλληλεπίδραση μεταξύ δικτύων 800MHz και 1900MHz μέσω της διπλής ζώνης

Μειονεκτήματα τεχνολογίας TDMA

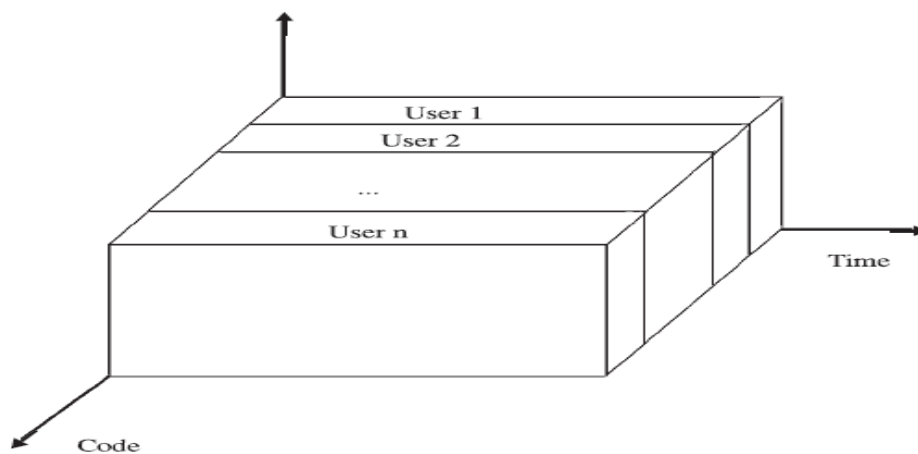
Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα της τεχνολογίας TDMA είναι ότι κάθε χρήστης έχει μια προκαθορισμένη χρονοθυρίδα. Ωστόσο χρήστες με περιαγωγή από ένα κελί σε άλλο δεν καταμερίζονται μια χρονοθυρίδα. Αυτό επειδή, αν όλες οι χρονοθυρίδες στο επόμενο κελί είναι γεμάτες υπάρχει περίπτωση να γίνει αποσύνδεση μιας κλήσης. Παρομοίως αν όλες οι χρονοθυρίδες μέσα στο κελί που βρίσκεται ο χρήστης είναι κατηλλημένες τότε ο χρήστης δεν θα μπορεί να λάβει ήχο κλήσης. Ένα άλλο μειονέκτημα της τεχνολογίας TDMA είναι ότι το σήμα υποβάλλεται σε διεστράβλωση πορείας. Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα ένα σήμα που μεταδίδεται από το Σταθμό βάσης μπορεί να φτάσει στο δέκτη(κινητό τηλέφωνο) από διάφορες κατευθύνσεις. Το σήμα μπορεί να φτάσει στο κινητό τηλέφωνο αφού έχει αναπηδήσει από διάφορα κτίρια, το οποίο μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές.



Διεστράβλωση Σήματος σε TDMA Δίκτυο

3.2.3 Τεχνολογία CDMA (Code Division Multiple Access)

Κατά την CDMA τεχνολογία πολλαπλοί κινητοί σταθμοί (κινητά τηλέφωνα) μοιράζονται το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Λόγω της κωδικοποίησης των δεδομένων, τα CDMA συστήματα χρησιμοποιήθηκαν αρκετά από το στρατό. Αντί κάθε κινητό να προσδιορίζεται σε μια χρονοθυρίδα όπως είχαμε στη TDMA τεχνολογία, κάθε κινητός σταθμός έχει το δικό του αριθμό (κώδικα) ακολουθίας. Ο κινητός σταθμός στέλνει το σήμα (δεδομένα) σε μικρά κομμάτια σε όλο το εύρος συχνοτήτων με ένα συγκεκριμένο αριθμό ακολουθίας. Η λήψη γίνεται πάλι με βάση τον αριθμό ακολουθίας ώστε να γίνει η συνένωση των δεδομένων. Αν και το εύρος του φάσματος είναι κοινόχρηστο δεν υπάρχουν παρεμβολές και αυτό επειδή οι αριθμοί ακολουθίας που χρησιμοποιούν οι κινητοί σταθμοί είναι ορθογώνιοι. Για τη σωστή λειτουργία ενός CDMA συστήματος πρέπει τα σήματα που λαμβάνει ένας Σταθμός Βάσης από διάφορους κινητούς σταθμούς να είναι στο ίδιο επίπεδο ισχύος. Για το λόγο αυτό κάποια bit στο κανάλι κέντρου προώθησης χρησιμοποιούνται για το κέντρο ισχύος. Συγκεκριμένα, ο Σταθμός Βάσης χρησιμοποιεί αυτά τα bit για να καθοδηγήσει τους κινητούς σταθμούς για να αυξήσουν ή να μειώσουν την ισχύ εξόδου έτσι ώστε όλα τα σήματα που λαμβάνει ο Σταθμός Βάσης να έχουν την ίδια ισχύ.

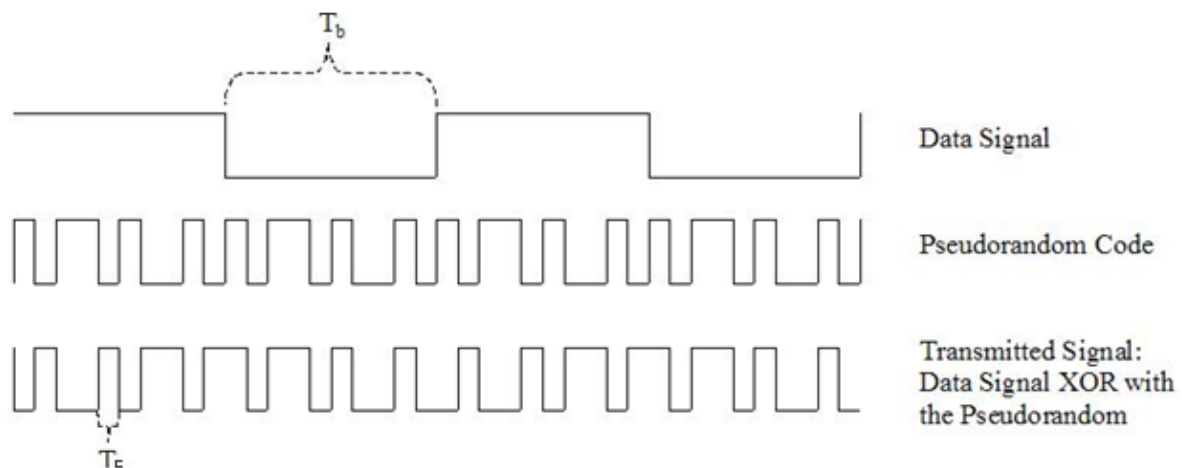


CDMA (Code Division Multiple Access)

Για να καταλάβουμε τη διαφορά της τεχνολογίας CDMA από τις δύο προηγούμενες που εξετάσαμε θεωρούμε μια αίθουσα αναμονής αεροδρομίου που συνομιλούν πολλά ζεύγη ανθρώπων. Η TDMA τεχνολογία είναι παρόμοια με το να έχουμε όλους τους ανθρώπους στο κέντρο του δωματίου και αυτοί να μιλούν με τη σειρά. Η FDMA τεχνολογία είναι παρόμοια με το να έχουμε ανθρώπους σε χωριστά σημεία έτσι ώστε σε κάθε σημείο να πραγματοποιείται μια συζήτηση ταυτόχρονα, άλλα ανεξάρτητα από όλες τις άλλες. Η CDMA τεχνολογία είναι παρόμοια με το να βρίσκονται όλοι στη μέση του δωματίου και να μιλάνε ταυτόχρονα, με κάθε ζεύγος όμως να χρησιμοποιεί διαφορετική γλώσσα. Το ζεύγος που μιλάει γερμανικά ακούει μόνο τα γερμανικά, απορρίπτοντας οτιδήποτε μη γερμανικό ως θόρυβο. Με άλλα λόγια το βασικό στοιχείο της CDMA τεχνολογίας είναι η δυνατότητα να μπορούμε να εξάγουμε το επιθυμητό σήμα, απορρίπτοντας οτιδήποτε άλλο ως θόρυβο.

Στη μέθοδο CDMA, η διάρκεια κάθε bit διαιρείται σε m σύντομα διαστήματα τα οποία ονομάζονται θραύσματα (chips). Συνήθως έχουμε 64 ή 128 θραύσματα ανά bit. Σε κάθε σταθμό εκχωρείται ένας μοναδικός κωδικός των m /bit, ο οποίος ονομάζεται ακολουθία θραυσμάτων (chip equence). Για να μεταδώσει το bit 1, ο σταθμός στέλνει την ακολουθία θραυσμάτων του. Για να μεταδώσει το bit 0, στέλνει το συμπλήρωμα ως προς ένα της ακολουθίας θραυσμάτων του. Δεν επιτρέπεται καμία άλλη ακολουθία. Έτσι για $m = 8$, αν ο σταθμός A έχει την ακολουθία θραυσμάτων 00011011, προκειμένου να στείλει ένα bit 1 μεταδίδει 00011011, ενώ για να στείλει ένα bit 0 μεταδίδει 11100100. Αν έχουμε διαθέσιμη μια ζώνη 1 MHz για 100 σταθμούς, με την FDM κάθε σταθμός θα είχε 10 kHz και θα μπορούσε να στέλνει στα 10 kbps (υποθέτοντας 1 bit ανά Hz). Με την τεχνική CDMA κάθε σταθμός χρησιμοποιεί ολόκληρο το 1 MHz, οπότε ο ρυθμός μετάδοσης θραυσμάτων είναι 1 εκατομμύριο θραύσματα ανά δευτερόλεπτο. Με λιγότερα από 100 θραύσματα ανά bit το τελικό εύρος ζώνης ανά σταθμό είναι υψηλότερο για την CDMA απ' ό,τι για την FDM, λύνοντας ταυτόχρονα και το πρόβλημα της εκχώρησης των καναλιών.

Τα δεδομένα για μετάδοση προστίθενται λογικά (με XOR) γρηγορότερο κωδικό. Το σήμα δεδομένων με διάρκεια παλμού T_b προστίθεται λογικά (XOR) με το σήμα του κωδικού με ένα παλμό διάρκειας T_c . Έτσι, η ζώνη του σήματος δεδομένων είναι $1/T_b$ και η ζώνη του σήματος του εξαπλωμένου φάσματος είναι $1/T_c$. Επειδή ο χρόνος T_c είναι πολύ μικρότερος του T_b , η ζώνη σήματος τους εξαπλωμένου φάσματος είναι πολύ μεγαλύτερη από τη ζώνη του αρχικού σήματος.



Παραγωγή Σήματος εξαπλωμένου φάσματος σε CDMA σύστημα.

Στα CDMA συστήματα κάθε χρήστη έχει ξεχωριστό κωδικό που ρυθμίζει το σήμα του. Η επιλογή των κωδικών για τον ορισμό του σήματος, παίζει σημαντικό ρόλο στις επιδόσεις των CDMA συστημάτων. Η βέλτιστη επίδοση επιτυγχάνεται όταν γίνει καλός διαχωρισμός μεταξύ του σήματος ενός χρήστη από το σήμα των υπόλοιπων. Ο διαχωρισμός των σημάτων επιτυγχάνεται από την αντιστοίχιση του λαμβανόμενου σήματος με το παραγόμενο κώδικα του επιθυμητού χρήστη. Αν το σήμα ταιριάζει με το κώδικα του χρήστη τότε θα έχουμε υψηλή λειτουργία αντιστοίχισης και το σύστημα μπορεί να αποσυμπιέσει το σήμα. Αν ο κώδικας του χρήστη δεν είναι κοινός με το σήμα η αντιστοίχιση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο 0. Αν ο κώδικας αντιστοιχείται με το σήμα σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή εκτός του μηδενός, η αντιστοίχιση πρέπει να είναι όσο πιο κοντά στο 0 γίνεται.

Η τεχνολογία CDMA χρησιμοποιείται σε διάφορα συστήματα τόσο 2^{ns} όσο και 3^{ns} και 4^{ns} γενιάς. Στη 2^{n} γενιά συγκαταλέγονται το cdmaone ή IS-95 καθώς και το cdma2000 ενώ στη 3^{n} γενιά έχουμε το WCDMA και στη 4^{n} το MC-CDMA. Τα παραπάνω συστήματα θα τα εξετάσουμε αναλυτικότερα παρακάτω. Η CDMA τεχνολογία μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) Στη σύγχρονη CDMA
- β) Στη ασύγχρονη CDMA

3.2.3.1 Σύγχρονη CDMA

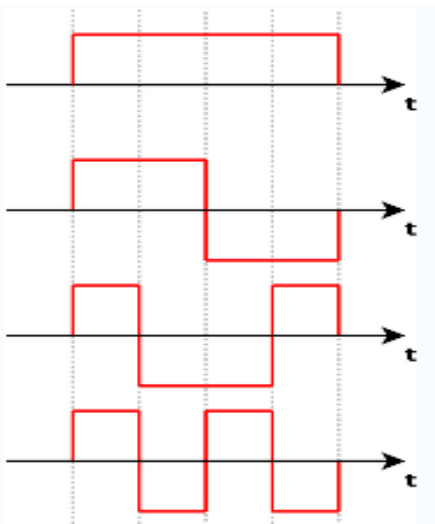
Η σύγχρονη CDMA εκμεταλλεύεται τις μαθηματικές ιδιότητες του ορθογωνίου μεταξύ διανυσμάτων που αντιπροσωπεύουν την ακολουθία δεδομένων. Για παράδειγμα μια δυαδική ακολουθία “1011” απεικονίζεται από το διάνυσμα (1, 0, 1, 1). Τα διανύσματα μπορούν να διπλασιαστούν με το να πάρουμε το δεκαδικό μέρος γινομένου τους. Αν το δεκαδικό μέρος γινομένου είναι μηδέν, τα δύο διανύσματα λέγονται πως είναι ορθογωνικά μεταξύ τους (Σημείωση: αν $u=(a,b)$ and $v=(c,d)$, το δεκαδικό μέρος γινομένου είναι $u \cdot v = a \cdot c + b \cdot d$).

Αν τα διανύσματα a και b είναι ορθογώνια μεταξύ τους έχουμε:

$$\begin{aligned}
\mathbf{a} \cdot (\mathbf{a} + \mathbf{b}) &= \|\mathbf{a}\|^2 \iff \mathbf{a} \cdot \mathbf{a} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \|\mathbf{a}\|^2 + 0 \\
\mathbf{a} \cdot (-\mathbf{a} + \mathbf{b}) &= -\|\mathbf{a}\|^2 \iff -\mathbf{a} \cdot \mathbf{a} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = -\|\mathbf{a}\|^2 + 0 \\
\mathbf{b} \cdot (\mathbf{a} + \mathbf{b}) &= \|\mathbf{b}\|^2 \iff \mathbf{b} \cdot \mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} = 0 + \|\mathbf{b}\|^2 \\
\mathbf{b} \cdot (\mathbf{a} - \mathbf{b}) &= -\|\mathbf{b}\|^2 \iff \mathbf{b} \cdot \mathbf{a} - \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} = 0 - \|\mathbf{b}\|^2
\end{aligned}$$

Κάθε χρήστης σε σύγχρονο σύστημα CDMA χρησιμοποιεί ένα ορθογώνιο κώδικα για να προσαρμόσει το σήμα. Παραπάνω βλέπουμε ένα παράδειγμα τεσσάρων αμοιβαίων ορθογώνιων σημάτων. Οι ορθογώνιοι κώδικες έχουν μια διασταυρωτή αντιστοιχία ίση με το μηδέν. Με άλλα λόγια οι κώδικες δεν παρεμβάλλονται μεταξύ τους.

Θεωρούμε παράδειγμα με μια ομάδα αμοιβαίων ορθογώνιων διανυσμάτων. Τα διανύσματα αυτά αναθέτονται στους χρήστες και ονομάζονται *chipping* κωδικοί. Για την απλούστευση του παραδείγματος χρησιμοποιούμε κώδικες (v) με μόνο δύο ψηφία. Κάθε χρήστης έχει διαφορετικό κώδικα, για παράδειγμα v . Αν η πληροφορία που μεταφέρεται είναι το ψηφιακό μηδέν, τότε να bit που θα μεταδοθούν θα είναι $-v$ και αν η πληροφορία είναι το ψηφιακό 1, τα bit που θα μεταδοθούν θα είναι v . Για παράδειγμα αν $v=(1, -1)$ και η πληροφορία που θέλει να μεταδώσει ο χρήστης είναι **1, 0, 1, 1**, αυτό θα αντιστοιχούσε σε $v, -v, v, v$, το οποίο διατυπώνεται ψηφιακά ως (1, -1), (-1, 1), (1, -1), (1, -1).



Ορθογώνια ψηφιακά σήματα

Κάθε αποστολέας έχει ένα μοναδικό διάνυσμα v , αλλά η διαδικασία κατασκευής του μεταδιδόμενου διανύσματος είναι ίδια. Εξαιτίας των φυσικών ιδιοτήτων των παρεμβολών, αν τα δύο σήματα βρίσκονται σε φάση σε ένα σημείο, προστίθενται για να δώσουν διπλάσιο πλάτος του κάθε σήματος, αλλά αν δεν βρίσκονται σε φάση “αφαιρούνται” και δίνουν ένα σήμα που είναι η διαφορά του πλάτους των δύο σημάτων. Ψηφιακά αυτή η συμπεριφορά μπορεί να διαμορφωθεί από τη προσθήκη των μεταδιδόμενων διανυσμάτων, στοιχείο με στοιχείο. Αν ο αποστολέας 0 έχει κώδικα (1, -1) και πληροφορία (1, 0, 1, 1) και ο αποστολέας 1 έχει κώδικα (1, 1) και πληροφορία (0, 0, 1, 1), οι δύο αποστολείς μεταδίδουν ταυτόχρονα. Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε τα βήματα κωδικοποίησης.

Βήμα	Κωδικοποίηση αποστολέα 0	Κωδικοποίηση αποστολέα 1
0	Διάνυσμα ₀ =(1,-1), δεδ.(1,0,1,1)=(1,-1,1,1)	Διάνυσμα ₁ =(1,1), δεδ.(0,0,1,1)=(-1,-1,1,1)
1	Κωδικοποίηση ₀ =διανυσμα ₀ .δεδ ₀	Κωδικοποίηση ₁ =διανυσμα ₁ .δεδ ₁
2	Κωδικοποίηση ₀ =(1,-1).(1,-1,1,1)	Κωδικοποίηση ₁ =(1,1).(-1,-1,1,1)
3	Κωδικοποίηση ₀ =(1,-1),(-1,1),(1,-1),(1,-1)	Κωδικοποίηση ₁ =(1,1),(-1,-1),(-1,-1),(1,1)
4	Σήμα ₀ =(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1)	Σήμα ₁ =(1,-1,-1,-1,1,1,1,1)

Επειδή το σήμα 0 και το σήμα 1 μεταδίδονται την ίδια στιγμή στον αέρα προστίθονται και δίνουν το παρακάτω σήμα:

$$(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1) + (-1,-1,-1,-1,1,1,1,1) = (0,-2,-2,0,2,0,2,0)$$

Το σήμα αυτό ονομάζεται διάταξη παρεμβολής. Ο παραλήπτης αποσυμπιέζει το σήμα οποιαδήποτε αποστολέα με το να συνδυάζει το κώδικα του αποστολέα με τη διάταξη παρεμβολής. Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε πως λειτουργεί αυτό το σύστημα με το ένα σήμα να μην επηρεάζει το άλλο.

Βήμα	Αποκωδικοποίηση αποστολέα 0	Αποκωδικοποίηση αποστολέα 1
0	Διάνυσμα $0=(1,-1)$, διάταξη $=(0,-2,-2,0,2,0,2,0)$	Διάνυσμα $1=(1,1)$, διάταξη $=(0,-2,-2,0,2,0,2,0)$
1	Αποδικοδικοποίηση $0=$ διάταξη.διανυσμα 0	Αποδικοδικοποίηση $1=$ διάταξη.διανυσμα 1
2	Αποδικοδικοποίηση $0=((0,-2),(-2,0),(2,0),(2,0)).(1,-1)$	Αποδικοδικοποίηση $1=(((0,-2),(-2,0),(2,0),(2,0)).(1,1))$
3	Αποδικοδικοποίηση $0= ((0+2),(-2+0),(2+0),(2+0))$	Αποδικοδικοποίηση $1= ((0-2),(-2+0),(2+0),(2+0))$
4	Πληροφορία $0=(2,-2,2,2)=(1,0,1,1)$	Πληροφορία $1= (-2,-2,2,2)=(0,0,1,1)$

Μετά την αποκωδικοποίηση, όλες οι τιμές μεγαλύτερες του μηδενός διερμηνεύονται ως 1 και οι τιμές μικρότερες του μηδενός διερμηνεύονται ως 0. Για παράδειγμα μετά την αποκωδικοποίηση η πληροφορία 0 είναι (2,-2,2,2) άλλα στον δέκτη ερμηνεύεται ως (1,0,1,1). Μπορούμε να υποθέσουμε τι θα γίνει στη περίπτωση που ο δέκτης αποκωδικοποιήσει ένα σήμα που έστειλε ο αποστολέας που δεν περιέχει δεδομένα. Θεωρούμε ένα σήμα 0 $=(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1)$ να μεταδίδεται μόνο του. Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει την αποκωδικοποίηση στο δέκτη.

Βήμα	Αποκωδικοποίηση αποστολέα 0	Αποκωδικοποίηση αποστολέα 1
0	Διάνυσμα $0=(1,-1)$, διάταξη $=(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1)$	Διάνυσμα $1=(1,1)$, διάταξη $=(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1)$
1	Αποδικοδικοποίηση $0=$ διάταξη.διανυσμα 0	Αποδικοδικοποίηση $1=$ διάταξη.διανυσμα 1
2	Αποδικοδικοποίηση $0=((1,-1),(-1,1),(1,-1),(1,-1)).(1,-1)$	Αποδικοδικοποίηση $1=(((1,-1),(-1,1),(1,-1),(1,-1)).(1,1))$
3	Αποδικοδικοποίηση $0= ((1+1),(-1-1),(1+1),(1+1))$	Αποδικοδικοποίηση $1= ((1-1),(-1+1),(1-1),(1-1))$
4	Πληροφορία $0=(2,-2,2,2)=(1,0,1,1)$	Πληροφορία $1= (0,0,0,0)$

Όταν ο δέκτης προσπαθήσει να αποκωδικοποιήσει το σήμα του αποστολέα 1, όλη η πληροφορία είναι 0. Η διασταυρωτή αντιστοιχία είναι ίση με το μηδέν και είναι πλέον ξεκάθαρο πως ο αποστολέας 1 δεν μετάδωσε πληροφορία.

3.2.3.2 Ασύγχρονη CDMA

Το παραπάνω παράδειγμα ορθογωνίας ακολουθίας περιγράφει πως μπορούμε να έχουμε πολυσύνθετη ακολουθία μεταξύ δύο χρηστών σε ένα σύγχρονο σύστημα, τεχνική που

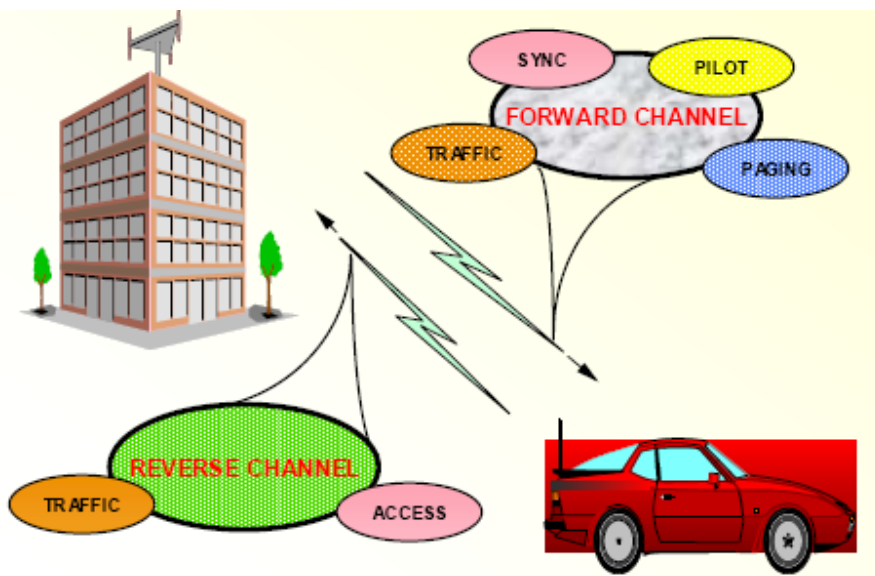
αναφέρεται ως Code Division Multiplexing (CDM). Η λειτουργία των ασύγχρονων συστημάτων CDMA βασίζεται στις ακολουθίες ψευδο-θορύβου(pseudo noise-PN). Ένας PN κώδικας είναι μια δυαδική ακολουθία που εμφανίζεται τυχαία αλλά μπορεί να ξαναπαραχθεί με μια καθοριστική μέθοδο στους απευθυνόμενους χρήστες. Οι κώδικες PN χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση – αποκωδικοποίηση σημάτων χρηστών σε ένα ασύγχρονο CDMA σύστημα με τον ίδιο τρόπο με τους ορθογώνιους κώδικες στο σύγχρονο CDMA σύστημα. Οι PN ακολουθίες στατιστικά δεν συσχετίζονται και το άθροισμα ενός μεγάλου αριθμού ακολουθιών καταλήγει στη Πολλαπλή Πρόσβαση Παρεμβολή (Multiple Access Interference - MAI) που προσεγγίζεται από Γκαουσιανό θόρυβο. Αν όλοι οι χρήστες λαμβάνονται στο ίδιο επίπεδο ισχύος, τότε η ισχύς του θορύβου του MAI αυξάνεται ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών. Σε αντίθεση με το σύγχρονο CDMA στο ασύγχρονο CDMA το σήμα διάφορων χρηστών εμφανίζεται σαν θόρυβος στο ενδιαφέρον σήμα και παρεμβάλετε ελαφρώς με το επιθυμητό σήμα ανάλογα με τον αριθμό χρηστών.

Το κυριότερο πλεονέκτημα των ασύγχρονων συστημάτων CDMA είναι ότι είναι πιο αποδοτικά από τα σύγχρονα CDMA, τα TDMA συστήματα και τα FDMA στις εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας. Τα TDMA συστήματα πρέπει να συγχρονίζουν προσεκτικά τους χρόνους μετάδοσης όλων των χρηστών ώστε να σιγουρέψουν ότι μεταδόθηκαν στη σωστή χρονοθυρίδα και να εξασφαλίσουν ότι δεν θα υπάρξουν παρεμβολές. Για να γίνει αυτό κάθε χρονοθυρίδα πρέπει να έχει ένα “σύστημα φύλαξης χρόνου” το οποίο μειώνει τις πιθανότητες παρεμβολών αλλά επίσης μειώνει την αποτελεσματικότητα του φάσματος. Παρομοίως τα FDMA συστήματα πρέπει να έχουν ένα “σύστημα φύλαξης ζώνης” ανάμεσα στα γειτονικά κανάλια εξαιτίας της τυχαίας αλλαγής κατεύθυνσης του φάσματος του σήματος που προέρχεται από τη κινητικότητα του χρήστη. Αυτό το σύστημα μειώνει τις πιθανότητες παρεμβολής γειτονικών καναλιών αλλά επίσης μειώνει τη χρήση του φάσματος. Ένα βασικό πλεονέκτημα της CDMA τεχνολογίας είναι ο ευλύγιστος καταμερισμός πόρων. Δεν υπάρχει αυστηρό όριο χρηστών σε ασύγχρονο CDMA σύστημα αλλά πρακτικά ο αριθμός χρηστών επηρεάζεται από την επιθυμητή πιθανότητα σφάλματος δυαδικών ψηφίων, από τη στιγμή που το SIR (signal to interference ratio) ποικίλει αντιστρόφως ανάλογα με τον αριθμό των χρηστών. Το ασύγχρονο CDMA ταιριάζει ιδανικά σε ένα κινητό δίκτυο με μεγάλο αριθμό κινητών συσκευών, όπου ο κάθε ένας παράγει ένα σχετικά μικρό ποσό κυκλοφορίας σε ακανόνιστα διαστήματα. Το σύγχρονο CDMA, τα συστήματα TDMA και FDMA δεν μπορούν να ανακτήσουν τα υποχρησιμοποιούμενα στοιχεία συμπεριφοράς που είναι “έμφυτα” στην πλήρη κυκλοφορία, εξαιτίας στο σταθερό αριθμό ορθογώνιων κωδικών, χρονικών αυλακώσεων(χρονοθυρίδες) ή καναλιών συχνότητας που μπορούν να ανατεθούν στις μεμονωμένες συσκευές αποστολής σημάτων.

3.2.3.3 Πρότυπο CDMAone

Το πρότυπο CDMAone ήταν το πρώτο πρότυπο που χρησιμοποίησε την τεχνολογία CDMA και αναπτύχθηκε από την Qualcomm το 1993. Το πρότυπο CDMAone είναι επίσης γνωστό ως IS-95 ή TIA-EIA-95. Σε Το πρότυπο CDMAone περιγράφει ένα CDMA σύστημα το οποίο το σήμα πληροφοριών ηχητικής ζώνης πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα υψηλού ρυθμού μετάδοσης. Αυτό το σήμα διάδοσης σχηματίζεται από μια ακολουθία κώδικα ψευδοθορύβου η οποία πολλαπλασιάζεται με κώδικα Walsh για τη μέγιστη απόδοση ορθογωνίου με τους άλλους κώδικες

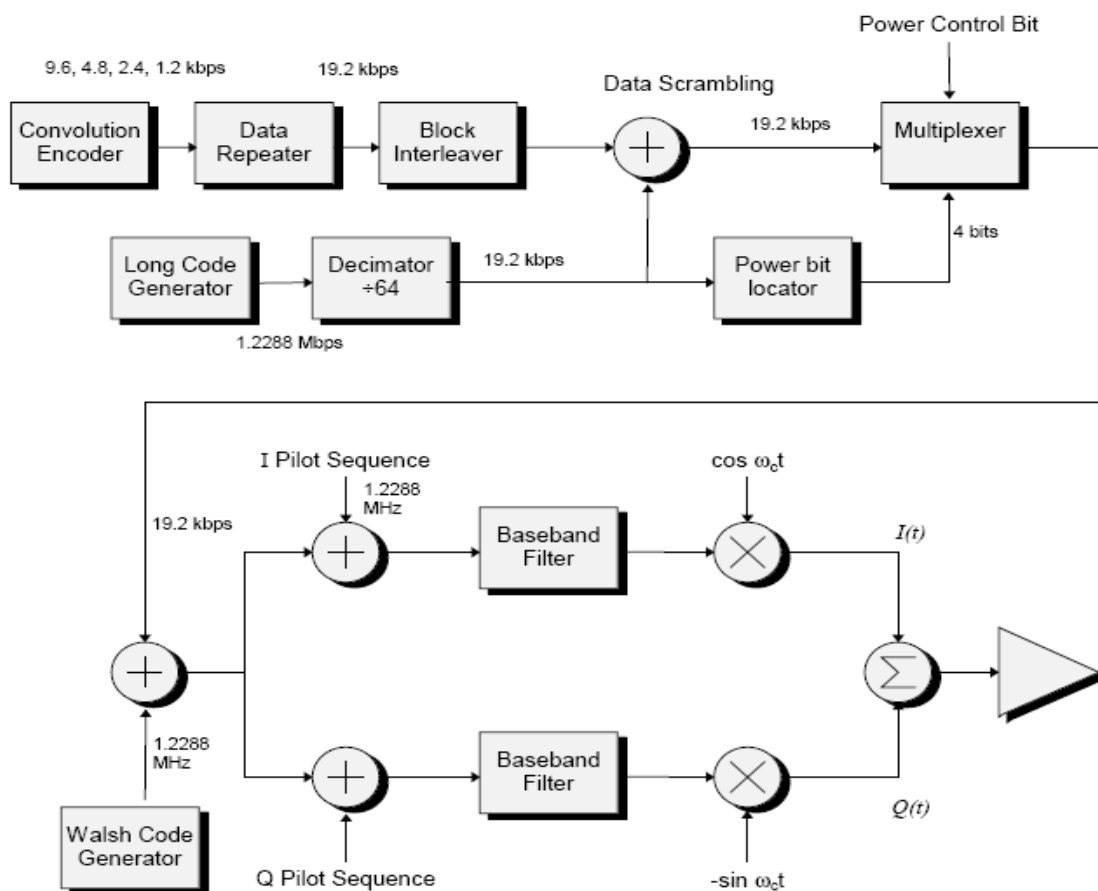
που βρίσκονται σε χρήση στο κελί (Ο Walsh κώδικας είναι ένας ορθογώνιος κώδικας που χρησιμοποιείται για να καθορίσει μεμονωμένα τα κανάλια επικοινωνίας. Έτσι εάν δύο κώδικες Walsh συσχετίζονται, το αποτέλεσμα είναι καταληπτό μόνο εάν αυτοί οι δύο κώδικες είναι οι ίδιοι. Κατά συνέπεια, ένα Walsh κωδικοποιημένο σήμα εμφανίζεται ως τυχαίος θόρυβος σε ένα κινητό τερματικό CDMA, εκτός αν εκείνο το τερματικό χρησιμοποιεί τον ίδιο κώδικα με αυτόν που χρησιμοποιείται για να κωδικοποιήσει το εισερχόμενο σήμα.). Το σύστημα CDMAone περιλαμβάνει πολλά στρώματα προστασίας από παρεμβολές. Έχουμε δύο τύπους καναλιών, τα προωστικά(forward ή downlink channels) και τα αντίστροφα(reverse ή uplink channels) κανάλια. Το προωστικό κανάλι μεταφέρει πληροφορίες από το Σταθμό Βάσης στο κινητό τηλέφωνο ενώ το αντίστροφο κανάλι μεταφέρει πληροφορίες από το κινητό τηλέφωνο στον Σταθμό Βάσης. Τα προωστικά κανάλια είναι μεταξύ 869 και 894 MHz, ενώ τα αντίστροφα κανάλια είναι μεταξύ 824 και 849 MHz. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, υποζώνες των 1,25 MHz υιοθετούνται κοντά στα 849 και 894 MHz. Όλα τα κύτταρα στην ίδια περιοχή μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια φασματική ζώνη, επειδή τα διάφορα σήματα διαχωρίζονται με τη διαδικασία διάδοσης φάσματος παρά με τη διάκριση συχνότητας.



Κανάλια CDMAone

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε το προωστικό κανάλι στο σύστημα CDMAone. Αρχικά ο κωδικοποιητής συνελίξεων κωδικοποιεί τα στοιχεία από ένα ρεύμα σε δύο, διπλασιάζοντας το ονομαστικό ποσοστό από 9,6 kbps σε 19,2 kbps, 4,8 kbps σε 9,6 kbps, κ.λπ. Το κύκλωμα επανάληψης επαναλαμβάνει τα κωδικοποιημένα σύμβολα έτσι ώστε η πληροφορία χαμηλότερου ρυθμού να αυξάνεται από τα 9,6, 4,8, 2,4 kbps στα 19,2 kbps. Στη συνέχεια διαβάζονται τα δεδομένα στις σειρές 24*16 διάταξης και εισάγεται μια καθυστέρηση της τάξης των 20msec. Τα σημαντικότερα bit διαδίδονται για τη μη εξασθένιση του σήματος και τη μη ύπαρξη θορύβου. Τα δεδομένα προστίθενται σε κάθε 64ο bit της ακολουθίας ψευδοθορύβου που δημιουργείται

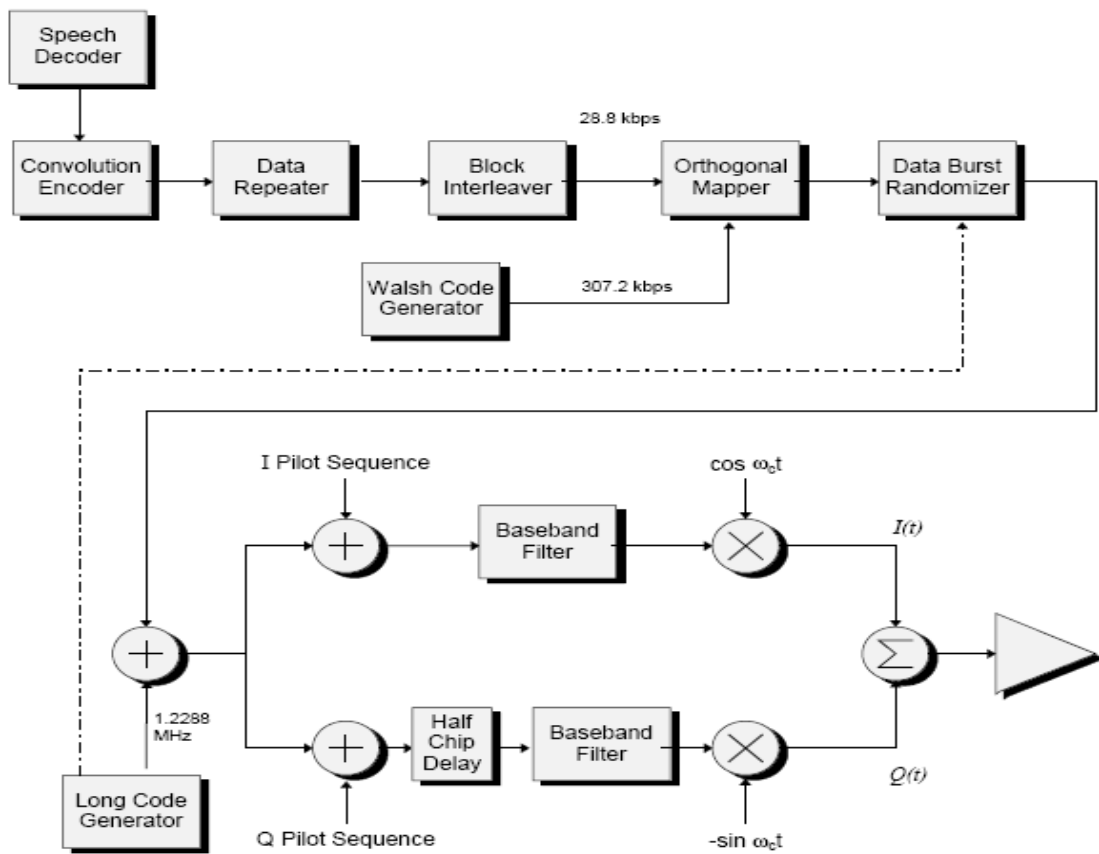
από ένα 42 bit καταχωρητή. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε αυτό το σημείο είναι ακόμα στα 19,2 kbps. Στην συνέχεια γίνεται ο έλεγχος ισχύος. Κάθε 1,25msec ή 24 σύμβολα δεδομένων, εισέρχεται ένα bit ελέγχου ισχύος προκειμένου η κινητή μονάδα να αυξήσει ή να μειώσει την ισχύ της (για να αντισταθμίσει την ισχύ που δέχεται από οποιαδήποτε κινητή μονάδα που βρίσκεται στο ίδιο κελί). Η τοποθεσία του bit ελέγχου ισχύος καθορίζεται από τη PN ακολουθία. Τα δεδομένα με ρυθμό μετάδοσης 19,2kbps διαδίδονται με λειτουργία Walsh 1,2288Mbps, έτσι ώστε κάθε bit πληροφορίας συμβόλου να διαδίδεται με 64Walsh κώδικα. Η λειτουργία Walsh παρέχει 64 αμοιβαίες ορθογώνιες δυαδικές ακολουθίες μήκους 64. Τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο “ρεύματα” bit, τα οποία προστίθενται σε δύο διαφορετικές αλλά καλά καθορισμένες ακολουθίες ψευδοθόρυβου (“pilot”) που παράγονται από καταχωρητές 15bit. Ο κώδικας επαναλαμβάνεται 75 φορές κάθε 2 δευτερόλεπτα, ή σε διαστήματα των 26,7 msec. Οι δυαδικοί έξοδοι I και Q χωρίζονται σε τέσσερις φάσεις ορθογώνιας διαμόρφωσης (Quadrature modulation), σε $\pm\pi/4$ και $\pm 3\pi/4$, χρησιμοποιώντας ορθογώνια μετατόπιση φάσης (QPSK-Quadrature phase-shift keying). Τα ορθογώνια δεδομένα ζώνης αυξάνονται στη προωστική κυψελοειδή ραδιοζώνη, 869 έως 894 MHz. Το κανάλι IS - 95 καταλαμβάνει 1,25 MHz μέσα σε αυτήν την ζώνη, το υπόλοιπο της οποίας καταλαμβάνεται από άλλες κυψελοειδείς υπηρεσίες όπως AMPS.



Προωστικό κανάλι CDMA

Από τα 64 διαθέσιμα ορθογώνια κανάλια (δηλ. κανάλια που έχουν την ελάχιστη αμοιβαία παρέμβαση), ένα παραχωρείται στο πιλοτικό κανάλι (pilot channel) και ένα στο κανάλι συγχρονισμού. Διάφορα άλλα κανάλια ανατίθενται στη σηματοδότηση (paging).

Το πιλοτικό κανάλι (pilot channel) αντιστοιχεί σε όλα τα μηδενικά του κώδικα Walsh και περιέχει μη διαμορφωμένο, ορθογωνικό PN κώδικα διάδοσης. Διαβιβάζεται σε υψηλότερη ισχύ από τα κανάλια χρηστών, και παρέχεται έτσι ώστε κάθε συνδρομητής μέσα στο κελί να μπορεί να καθορίσει και να αντιδράσει στα χαρακτηριστικά καναλιών. Το Walsh κανάλι 32 παραχωρείται στο κανάλι συγχρονισμού το οποίο παρέχει συγχρονισμό χρόνου και “frame” στη κινητή μονάδα. Όσοι χρήστες προστίθενται στο σύστημα, τους παραχωρούνται κανάλια χρηστών από τα διαθέσιμα κανάλια Walsh. Όταν πάνω από 60 χρήστες είναι παρόντες, τα κανάλια παραχωρούνται στους πολλαπλούς χρήστες και παρέχεται προστασία από αμοιβαίες παρεμβολές μέσα στο ίδιο κανάλι Walsh, από τις ιδιωτικές ακολουθίες PN που κωδικοποιούν κάθε σύνδεση χρηστών ξεχωριστά. Ο αριθμός χρηστών μπορεί επομένως να ανέλθει σε μεγάλες τιμές, ενώ η ποιότητα θα διατηρείται σε επιθυμητά επίπεδα. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ένα αντίστροφο (reverse ή uplink channel) κανάλι:



Αντίστροφο κανάλι CDMA

Αρχικά έχουμε τον κωδικοποιητή ήχου που παράγει ονομαστικά 9600bps ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, που μειώνεται σε 4800,2400, ή 1200bps κατά τη διάρκεια των μικρών διακοπών και

χάσματα στην ομιλία. Στη συνέχεια ο κωδικοποιητής συνελίξεων κωδικοποιεί τα δεδομένα από μια ροή σε τρεις, τριπλασιάζοντας το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από 9.6kbps σε 28.2kbps, από 4.8 kbps σε 14.4 kbps, κ.λπ. Το κύκλωμα επανάληψης επαναλαμβάνει τα κωδικοποιημένα σύμβολα έτσι ώστε η πληροφορία χαμηλότερου ρυθμού να αυξάνεται από τα 9.6, 4.8 ή 2.4 kbps στα 19.2 kbps. Στη συνέχεια διαβάζονται τα δεδομένα στις στήλες 32*18 διάταξης και εισάγεται μια καθυστέρηση της τάξης των 20msec. Τα σημαντικότερα bit διαδίδονται για τη μη εξασθένιση του σήματος και τη μη ύπαρξη θορύβου. Τα δεδομένα με ρυθμό μετάδοσης 28.8kbps χωρίζονται σε διαδοχικά σύνολα των 6 bit, τα οποία αντιστοιχούν σε μία λειτουργία του 64Walsh. Έτσι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων αυξάνεται σε $28.8 \text{ k} \times 64 \text{ chips} / 6 \text{ bits} = 307.2 \text{ kbps}$. Τα σύμβολα Walsh χωρίζονται σε ομάδες των έξι, με κάθε ομάδα να έχει διάρκεια 1.25msec. Αυτά συλλέγονται σε πλαίσια (frames) των 16 ομάδων ισχύος, άρα $1.25 \text{ msec} \times 16 = 20 \text{ msec}$. Στα 9600 bps, και οι 16 ομάδες μεταδίδονται, στα 4800bps 8 τυχαίες ομάδες μεταδίδονται, στα 2400bps τέσσερις τυχαίες ομάδες μεταδίδονται και στα 1200bps 2 τυχαίες ομάδες. Οι μεταδιδόμενες ομάδες διαλέγονται τυχαία, σύμφωνα με ένα τύπο(formula) που βασίζεται στα 14bit μιας PN ακολουθίας της προτελευταίας ομάδας του προηγούμενου πλαισίου (frame). Τα δεδομένα προστίθενται σε κάθε bit μιας ακολουθίας ψευδοθορύβου, που δημιουργήθηκε από ένα καταχωρητή 42bit. Τα δεδομένα χωρίζονται σε δύο “ρεύματα” bit, τα οποία προστίθενται σε δύο διαφορετικές αλλά καλά καθορισμένες ακολουθίες ψευδοθορύβου (“pilot”) που παράγονται από καταχωρητές 15bit. Οι δυαδικοί έξοδοι I και Q χωρίζονται σε τέσσερις φάσεις ορθογώνιας διαμόρφωσης (Quadrature modulation), σε $\pm\pi/4$ και $\pm 3\pi/4$, χρησιμοποιώντας OQPSK(Offset Quadrature phase-shift keying). Τα ορθογώνια δεδομένα ζώνης αυξάνονται στη αντίστροφη κυβελοειδή ραδιοζώνη, 824 έως 849 MHz. Το κανάλι IS - 95 καταλαμβάνει 1,25 MHz μέσα σε αυτήν την ζώνη.

3.2.3.4 Γενικές προδιαγραφές CDMA

Οι βασικές προδιαγραφές της CDMA τεχνολογίας είναι:

- Λειτουργία τόσο στη ζώνη των 800MHz τόσο και στη ζώνη των 1900MHz
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 1.2288Mbps
- QPSK/(Offset) σχέδιο διαμόρφωσης OQPSK
- Rx: 869-894MHz Tx: 824-849MHz
- Πρότυπο IS-95 ή CDMAone

3.2.3.5 Πλεονεκτήματα CDMA

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της CDMA τεχνολογίας είναι :

- Καλύπτει μεγαλύτερες γεωγραφικές εκτάσεις σε σχέση με τη τεχνολογία TDMA. Κατά συνέπεια χρησιμοποιείται στις αγροτικές περιοχές όπου τα συστήματα TDMA (π.χ.GSM) δεν μπορεί να καλύψει.

- Μεγάλη χωρητικότητα. Τα CDMA συστήματα έχουν μια πολύ υψηλή φασματική χωρητικότητα που μπορεί να φιλοξενήσει περισσότερους χρήστες ανά MHz του εύρους ζώνης
- Μειωμένος θόρυβος που οφείλεται στον vocoder EVRC που χρησιμοποιούν CDMA συστήματα.
- Η πολλαπλών διαδρομών εξασθένιση μπορεί να μειωθεί ουσιαστικά λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης σημάτων
- Εύκολη προσθήκη περισσότερων χρηστών
- Υψηλή ποιότητα σήματος

3.2.3.6 Μειονεκτήματα CDMA

Τα βασικότερα μειονεκτήματα της CDMA τεχνολογίας είναι:

- “Ρύπανση” των καναλιών, όπου τα σήματα από πάρα πολλές περιοχές κελιών είναι παρόντα στο τηλέφωνο του συνδρομητή αλλά κανένα από αυτά δεν είναι κυρίαρχο. Όταν αυτή η κατάσταση προκύπτει η ποιότητα του ήχου υποβιβάζεται.
- Μειωμένες υπηρεσίες περιαγωγής σε σχέση με TDMA συστήματα όπως το GSM, καθώς οι πληροφορίες υπηρεσίας δικτύου στα CDMA συστήματα εγκαθίστανται μέσα στα κινητά και όχι στις κάρτες SIM όπως γίνεται στο GSM.
- Η αύξηση των χρηστών CDMA προκαλεί συνολική μείωση ποιότητας υπηρεσιών.

3.2.4 TDMA σε σύγκριση με CDMA

Οι υποστηρικτές της CDMA τεχνολογίας υποστηρίζουν ότι η αποδοτικότητα του εύρους ζώνης είναι 13 φορές μεγαλύτερης αυτής του TDMA και από 20 μέχρι 40 φορές μεγαλύτερη από τις αναλογικές μεταδόσεις. Εξαιτίας της τεχνολογίας διάδοσης του φάσματος (spread-spectrum), τα CDMA συστήματα παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια, επειδή αυξάνει την ικανότητα αντίστασης στις διεστραβλώσεις πολλαπλών διαδρομών (multiple distortions). Στις TDMA συσκευές η μπαταρίες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας και αυτό επειδή οι CDMA συσκευές μεταφέρουν δεδομένα όλη την ώρα, ενώ στα TDMA δεν απαιτείται σταθερή μετάδοση. Τα CDMA συστήματα παρέχουν ταχύτερη μεταφορά δεδομένων. Στα TDMA κινητά τηλέφωνα, οι προσωπικές πληροφορίες του χρήστη αποθηκεύονται μέσα στις κάρτες SIM και έτσι ο χρήστης μπορεί να την μεταφέρει μαζί με τα στοιχεία που έχει αποθηκεύσει, σε άλλο κινητό χωρίς να χάσει τα στοιχεία. Βέβαια σε περίπτωση απώλειας της συσκευής ο χρήστης χάνει και τα στοιχεία που είχε αποθηκευμένα στη κάρτα SIM. Σε αντίθεση τα στοιχεία που έχει ένας χρήστης CDMA συσκευής, δεν αποθηκεύονται στο κινητό του, αλλά σε μια βάση δεδομένων του φορέα έτσι ώστε ο χρήστης σε περίπτωση απώλειας της συσκευής να μπορεί να ανασύρει τα στοιχεία αυτά. Στους χρήστες TDMA παρέχεται καλύτερη υπηρεσία περιαγωγής (roaming) καθώς το CDMA χρησιμοποιείται κυρίως στις ΗΠΑ.

3.3 Το Πρότυπο GSM

3.3.1 Εισαγωγή στο GSM

Τα αναλογικά δίκτυα της Ευρώπης όπως το NMT, το Αμερικάνικο AMPS καθώς και το Ιαπωνικό NTT, αντικαταστάθηκαν με τα ψηφιακά GSM, DAMPS (Digital Advanced Mobile Service) και PDC (Personal Digital Cellular) αντίστοιχα. Το 1982, το Ευρωπαϊκό τηλεπικοινωνιακό συμβούλιο (CEPT) ξεκίνησε μια μελέτη με την ονομασία “Group Special Mobile” GSM που είχε ως σκοπό την δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού συστήματος κινητής τηλεφωνίας. Αυτό το σύστημα θα έπρεπε να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

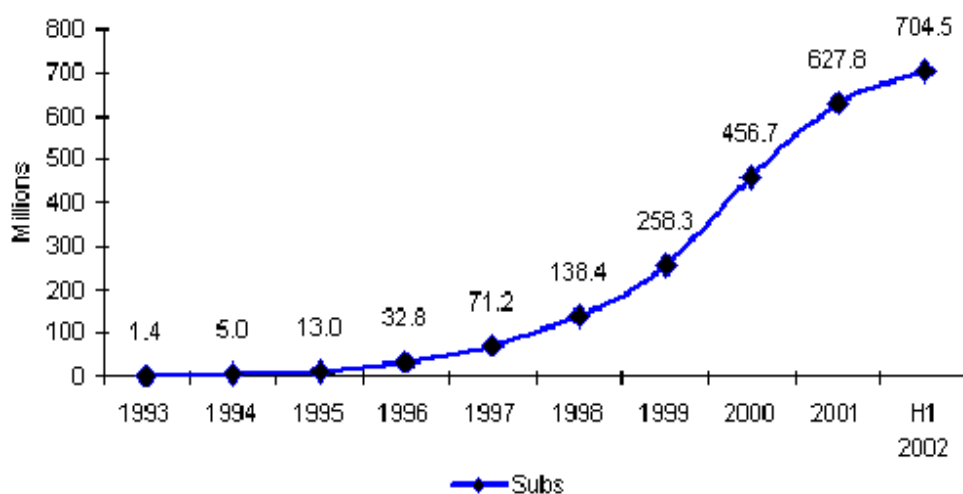
- Καλή ποιότητα ήχου
- Μικρό κόστος σε τερματικές συσκευές και υπηρεσίες
- Διεθνή λειτουργία
- Δυνατότητα να υποστηρίζει τερματικές συσκευές χειρός
- Υποστήριξη νέων υπηρεσιών και δυνατοτήτων
- Αποτελεσματική χρήση του ραδιοφωνικού φάσματος
- Συμβατότητα με το ISDN

Αρχικά το GSM ήταν αποκλειστικά μέσα στα όρια της Ευρώπης. Με το πέρασμα του χρόνου χώρες τις Βόρειας Αμερικής δημιούργησαν μια παραλλαγή του GSM, με αποτέλεσμα να γίνει δυνατή η σύνδεση των δύο ηπείρων. Πλέον τα αρχικά GSM σημαίνουν Global System For Mobile Communication. Η επιτροπή GSM αρχικά έπρεπε να διαλέξει ποια τεχνολογία ανάμεσα στη FDMA και TDMA θα ακολουθήσει. Για το λόγο αυτό, η επιτροπή αυτή έκανε κάποια test ανάμεσα στις δύο τεχνολογίες και διαπιστώθηκε ότι η FDMA δεν συμφέρει από άποψη κόστους. Έτσι αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί TDMA τεχνολογία η οποία είναι συμβατή με την FDMA τεχνολογία και τα υπάρχον αναλογικά δίκτυα. Το επόμενο πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπίσουν, ήταν η επιλογή ανάμεσα σε περιορισμένης ζώνης TDMA(narrow-band) και ευρείας ζώνης TDMA(wideband). Η επιτροπή σύγκρινε τις δύο μεθόδους με βάση επτά κριτήρια (τα οποία φαίνονται στο παρακάτω σχήμα) με αποτέλεσμα μόνο στα δύο από αυτά να είναι ισάξιες οι μέθοδοι καθώς στις υπόλοιπες υπερτερεί TDMA περιορισμένης ζώνης.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	Αναλογικά Δίκτυα	Ψηφιακά Δίκτυα	FDMA	TDMA	TDMA	
					Narrowband	wideband
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΗΧΟΥ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΦΑΣΜΑΤΟΣ	✓	✓	✓	✓	✓	
ΥΠΟΔΟΜΗ		✓		✓	✓	
ΚΟΣΤΟΣ		✓		✓	✓	
ΕΥΕΛΗΞΙΑ ΓΙΑ ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ		✓		✓	✓	✓
ΚΙΝΔΥΝΟΣ (Συνομιλιών)	✓		✓		✓	



Το πρώτο GSM δίκτυο ονομάστηκε GSM900 καθώς λειτούργησε στη ζώνη των 900MHz. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε το GSM1800 ή DCS-1800 και το GSM1900 ή DCS-1900 που χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Αμερική (παρακάτω θα εξεταστούν πιο αναλυτικά τα τρία παραπάνω πρότυπα δικτύων). Η εμπορική διάθεση του GSM στην Ευρώπη άρχισε το 1991, ενώ στην Ελλάδα πρωτοεμφανίστηκε το 1993 από την εταιρία TELESTET. Μέχρι το Ιανουάριο του 1999, ήδη 120 χώρες χρησιμοποιούσαν το GSM. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε τους συνδρομητές GSM ανά έτος.



Εκατομμύρια συνδρομητές GSM ανά έτος

3.3.2 Τμήματα GSM δικτύου

Το GSM Δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:

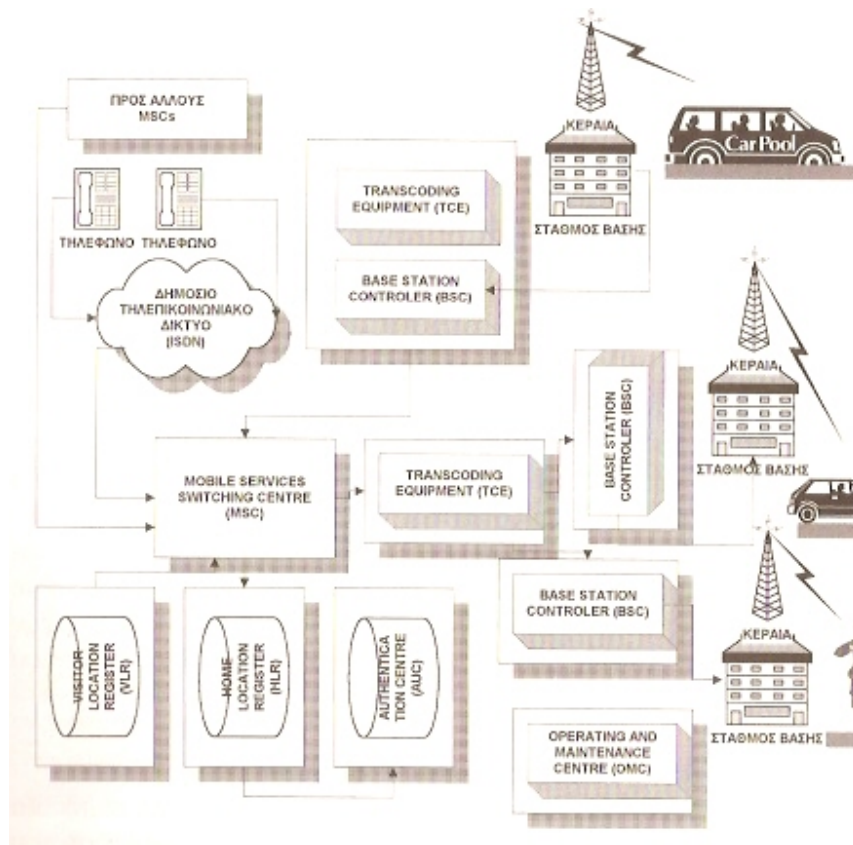
α) **Τον κινητό σταθμό (mobile station)** που είναι οι γνωστές συσκευές που χρησιμοποιούμε καθημερινά. Αυτές οι συσκευές πλέον διατίθενται στην αγορά προσφέροντας ένα πλήθος τεχνικών χαρακτηριστικών και επιλογών και το μέγεθος τους ολοένα και ελαττώνεται. Οι διαστάσεις των συσκευών εξαρτώνται από το χρησιμοποιούμενο τύπο μπαταρίας και από τα χαρακτηριστικά της συσκευής. Ανεξάρτητα από το μέγεθος τους, όλοι οι κινητοί σταθμοί πρέπει να συνεργάζονται με όλα τα Ευρωπαϊκά δίκτυα, σύμφωνα με τα προκαθορισμένα πρότυπα. Τα βασικά μέρη ενός κινητού σταθμού είναι η κεραία, η οθόνη, το πληκτρολόγιο και μια συνδρομητική κάρτα ταυτότητας, γνωστή ως κάρτα SIM (Subscriber Identity Module) η οποία είναι μια “έξυπνη” κάρτα η οποία περιλαμβάνει τον κώδικα ασφαλείας του συνδρομητή και είναι τυποποιημένη έτσι ώστε να συνεργάζεται με όλα τα συστήματα GSM. Στη κάρτα SIM είναι αποθηκευμένα μόνιμα τα δεδομένα του συνδρομητή (π.χ ο διεθνής αριθμός του

International Mobile Subscriber Identity – IMSI), ο προσωπικός του κωδικός PIN (Personal Identification Number) και διάφορες άλλες παράμετροι όπως η ταυτότητα της τελευταίας περιοχής εντοπισμού LAI, οι αλγόριθμοι πιστοποίησης και ελέγχου του συνδρομητή κ.α.

β) **Τον Σταθμό Βάσης (Base Station)**, ο οποίος περιέχει όλο τον ράδιο-εξοπλισμό (πομπούς, δέκτες και μονάδες ελέγχου) και είναι απαραίτητος για τον έλεγχο των επικοινωνιών στην ενεργό περιοχή μιας κυψέλης. Η διάταξη του εξοπλισμού πρέπει να είναι συμπαγής και να δίνεται η δυνατότητα για έλεγχο και ενεργοποίηση της λειτουργίας του από απόσταση. Το υποσύστημα του σταθμού βάσης BSS(Base Station Subsystem), διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών, και χωρίζεται στο **σταθμό βάσης πομπό-δέκτη BTS (Base Transceiver Station)** και στον **ελεγκτή σταθμού βάσης BSC(Base station Controller)**. Ο σταθμός βάσης πομπό-δέκτη (BTS) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του κινητού σταθμού και του δικτύου GSM. Ένας BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραιές οι οποίες μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης Α θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή Β, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του Α για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή Β στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του Α. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει το κελί (κυψέλη) στο οποία βρίσκεται ο Β και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης ανάλογα με τις διαθέσιμες συχνότητες, στέλνει το σήμα στο κινητό του Β ώστε να μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο Α. Ο ελεγκτής σταθμού βάσης (BSC), ελέγχει τα σήματα περνώντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ απελευθερώνει ή εκχωρεί κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC- Mobile Switching Centre και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε αντίστοιχα σήματα των 64kbps, σύμφωνα με τα πρότυπα του δημοσίου διακοπτικού τηλεφωνικού δικτύου PSTN.

γ) Το **Διακοπτικό Κέντρο Κινητών Επικοινωνιών MSC (Mobile Services Switching Center)**, του οποίου η κύρια λειτουργία του είναι να αποκαταστήσει τη κλήση του συνδρομητή και να παρέχει τη κατάλληλη ζεύξη με το Σταθερό Δίκτυο ή με άλλο κέντρο MSC. Το GSM χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο σύστημα σηματοδότησης κοινού καναλιού CCITT No 7 το οποίο επιτρέπει την μετάδοση διάφορων αναγκαίων πληροφοριών (π.χ. διευθύνσεις, χρέωση) με ρυθμούς της τάξης των 64kbps, μεταξύ των ψηφιακών κέντρων. Επίσης χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (π.χ μετάδοση φωνής και δεδομένων), παίζοντας καθοριστικό ρόλο στα Κυτταρικά Συστήματα Κινητής Τηλεφωνίας (ΚΣΚΤ), στο επίπεδο εφαρμογής (Mobile Application Part – MAP). Τα κέντρα MSC παίζουν το ρόλο των κόμβων του δικτύου σηματοδότησης (signaling network). Η Βάση Δεδομένων Εγγραφής Επίσκεψης (**Visitor Location Register – VLR**) είναι ένα από τα βασικά τμήματα του κέντρου MSC όπου καταχωρούνται τα προσωρινά δεδομένα του συνδρομητή κατά την είσοδο του στην ενεργό περιοχή του. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει στοιχεία από τα αρχεία της οικείας θέσης του συνδρομητή, δίνοντας λεπτομέρειες οι οποίες αφορούν τα χαρακτηριστικά και τη κλάση της υπηρεσίας του συγκεκριμένου χρήστη, καθώς και πληροφορίες που αφορούν τα χαρακτηριστικά της νέας περιοχής εντοπισμού στην οποία εισέρχεται ο συνδρομητής. Μια άλλη επίσης βασική μονάδα

του κέντρου MSC, είναι η Οικεία Βάση Δεδομένων (**Home Location Register – HLR**), η οποία περιέχει μόνιμα στοιχεία του συνδρομητή καθώς και τη νέα διεύθυνση αυτού στη βάση VLR, οπότε ο συνδρομητής εντοπίζεται αυτόματα όταν καλείται από συνδρομητή του σταθερού τηλεπικοινωνιακού δικτύου.



Σχηματικό Διάγραμμα Τμημάτων Δικτύου GSM

3.3.3 Δομή και τεχνικά χαρακτηριστικά GSM

Το πρώτο δίκτυο GSM άρχισε τη λειτουργία του το 1990 και ονομάστηκε GSM900 καθώς λειτουργούσε στη ζώνη συχνοτήτων των 900MHz. Αυτό το σύστημα GSM χρησιμοποιεί δύο διμερής (duplex) συχνότητες: 890-915MHz για ανοδική μετάδοση (uplink transmission), όπου η κινητή συσκευή μεταδίδει και ο Σταθμός Βάσης λαμβάνει και 935-960MHz για κατερχόμενη μετάδοση (downlink transmission) όπου ο Σταθμός Βάσης μεταδίδει και η κινητή συσκευή λαμβάνει. Όπως είπαμε το GSM είναι συνδυασμός TDMA και FDMA έτσι βάση της FDMA τεχνολογίας οι ζώνες αυτές των 25MHz, χωρίζονται η καθεμιά σε 124 + (1 ελεύθερο) διμερή κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Η απόσταση μεταξύ των duplex συχνοτήτων είναι 45MHz, δηλαδή μία κινητή συσκευή να λαμβάνει σε συχνότητα 45MHz μεγαλύτερη απότι μεταδίδει. Κάθε συχνότητα χωρίζεται χρονικά βάση του TDMA. Η θεμελιώδης μονάδα χρόνου στο TDMA είναι η “περίοδος ριπής ή χρονοθυρίδα” (burst period ή timeslot) η οποία διαρκεί περίπου 0.58ms (15/26 ms). Οκτώ τέτοιες χρονοθυρίδες ομαδοποιούνται σε ένα πλαίσιο TDMA. Το πλαίσιο TDMA διαρκεί περίπου 4.615 ms (8*0,58

ms) και είναι η βασική μονάδα ορισμού των **λογικών καναλιών** επικοινωνίας. Τα κανάλια αυτά μπορεί να είναι **δεσμευμένα κανάλια (dedicated channels)** από κάποιο κινητό σταθμό ή **κοινά κανάλια (common channels)** τα οποία χρησιμοποιούνται από τους κινητούς σταθμούς όταν αυτοί είναι αδρανής.

Εκτός από τα λογικά κανάλια, υπάρχουν και τα **κανάλια μεταφοράς ή κίνησης (traffic channels –TCH)**, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του ήχου και των δεδομένων. Τα κανάλια αυτά καθορίζονται με τη χρήση ενός πολυπλασίου (multiframe), το οποίο αποτελείται από 26 πλαίσια TDMA. Το μήκος των 26 πλαισίων αυτών είναι 120 msec και από αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε και τη αντίστοιχη περίοδο ριπής(slot duration) : $(120 \text{ msec}/26\text{πλαίσια})/8\text{μονάδες χρόνου} = 0,576\text{msec}$. Από τα 26 πλαίσια, τα 24 χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση των δεδομένων και του ήχου, 1 πλαίσιο για έλεγχο (Slow Associated Control Channel – SACCH) και 1 για μελλοντική χρήση. Κάθε χρονοθυρίδα ή ριπή (timeslot) αποτελείται από 156.25bit από τα οποία τα 148 είναι χρήσιμα bits δεδομένων και τα 8.25 βρίσκονται στο τέλος κάθε χρονοθυρίδας για τον έλεγχο του χρόνου. Από τα 148 bit τα 114 αποτελούν το ωφέλιμο φορτίο του μηνύματος, 26 χρησιμοποιούνται για το συγχρονισμό των πλαισίων, 6 bit για έναρξη - λήξη και 2 bit για τον έλεγχο μηνυμάτων προτεραιότητας. Τα κανάλια μεταφοράς για την μετάδοση από τον κινητό σταθμό προς το σταθμό βάσης χωρίζονται με 3 «ριπές» (χρονοθυρίδες ή slots) από τα αντίστοιχα κανάλια μεταφοράς από το σταθμό βάσης προς το κινητό σταθμό. Με αυτόν τον τρόπο δεν είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη λήψη και αποστολή από τους κινητούς σταθμούς και δίνεται η δυνατότητα για κατασκευή απλούστερου και φθηνότερου εξοπλισμού. Στα κοινά κανάλια (common channels) μπορούν να βρίσκονται τόσο οι κινητές συσκευές που βρίσκονται σε αδράνεια, όσο και οι κινητές συσκευές που βρίσκονται σε διάρκεια κλήσης. Όταν η κινητή συσκευή βρίσκεται σε αδράνεια, χρησιμοποιεί τα κοινά κανάλια για την ανταλλαγή πληροφοριών, ώστε να μεταβεί σε ενεργή κατάσταση όταν γίνει κάποια κλήση προς αυτήν. Οι κινητές συσκευές που βρίσκονται σε κλήση, χρησιμοποιούν τα κοινά κανάλια για να ελέγχουν τους κοντινούς σταθμούς βάσης για τυχόν πληροφορίες και handovers. Τα κοινά κανάλια ορίζονται από ένα υπερπλαίσιο (superframe) 51 πολυπλασίων, έτσι ώστε να είναι δυνατή η χρήση του πολυπλασίου (multiframe) των 21 πλαισίων από τις κινητές συσκευές που είναι σε κλήση, ενώ ταυτόχρονα να μπορούν να έχουν πρόσβαση στα κανάλια ελέγχου. Τα κανάλια ελέγχου αποτελούνται από πέντε διαφορετικά κανάλια:

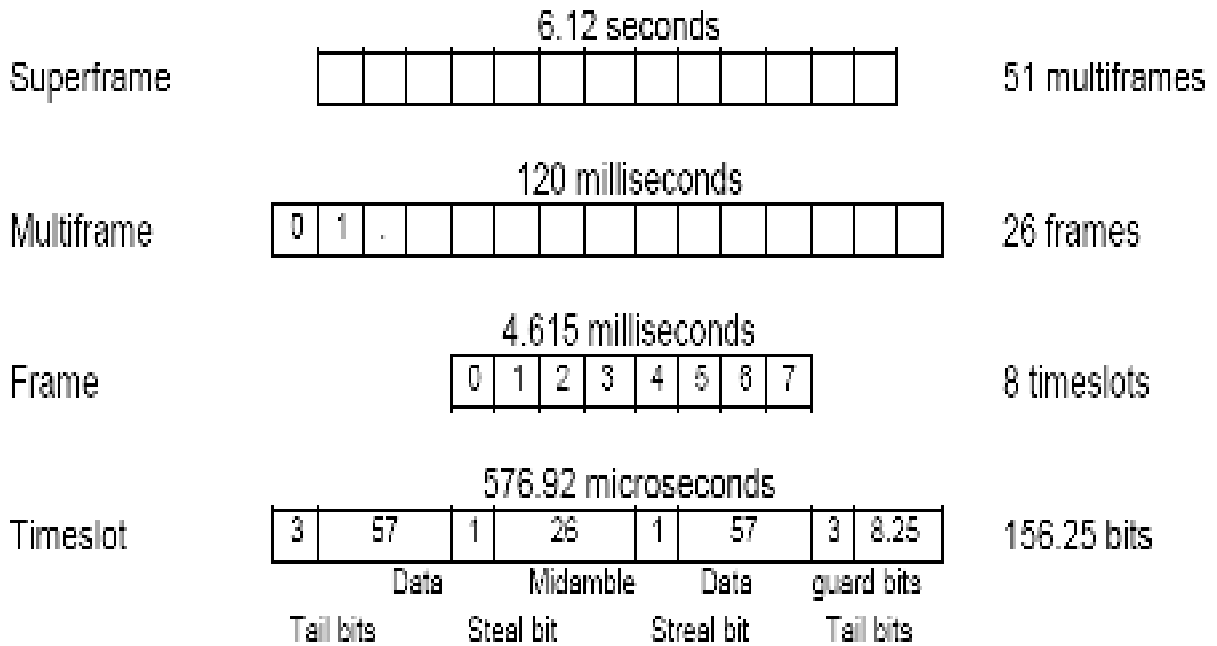
α) Το Κανάλι Ελέγχου Εκπομπής (Broadcast Control Channel – BCCH), το οποίο εκπέμπει συνεχώς από τους Σταθμούς βάσης προς τους κινητούς σταθμούς πληροφορίες όπως η ταυτότητα της συσκευής, τις δεσμευμένες συχνότητες κ.α

β) Το κανάλι Συγχρονισμού και Διόρθωσης Συχνότητας (Frequency Correction Channel – FCCH, Synchronization Channel – SCH), το οποίο χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει τις κινητές συσκευές στις χρονικές περιόδους των πλαισίων TDMA. Κάθε κελί (κυψέλη) εκπέμπει ένα κανάλι διόρθωσης και ένα κανάλι συγχρονισμού στη πρώτη θέση του πλαισίου TDMA.

γ) Το Κανάλι Τυχαίας Πρόσβασης (Random Access Channel – RACH), το οποίο χρησιμοποιείται από τους κινητούς σταθμούς για να αιτηθούν πρόσβαση στο δίκτυο.

δ) Το Κανάλι Ειδοποίησης ή Σηματοδότησης (Paging Channel – PCH), το οποίο χρησιμοποιείται για να ενημερώσει την κινητή συσκευή για τις κλήσεις που γίνονται προς αυτήν.

ε) Το Κανάλι Χορήγησης Πρόσβασης (Access Grant Channel – AGCH), το οποίο χρησιμοποιείται για τη δέσμευση ενός SDCCH καναλιού σηματοδοσίας.



Δομή GSM πλαισίου (frame)

Στην Ήπειρο της Αμερικής χρησιμοποιήθηκε μια παραλλαγή του GSM900, το **GSM 850**. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί τις ζώνη 824–849 MHz για ανοδική μετάδοση (uplink) και τη ζώνη 869–894 MHz για κατερχόμενη μετάδοση (downlink).

Η ολοένα ζήτηση της χρήσης των κινητών άρα και η ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου οδήγησε στο επεκτάσιμο GSM900 (EGSM – Extended GSM) . Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του. Αυτό το πρότυπο GSM χρησιμοποιεί ζώνη των 880–915 MHz για uplink και 925–960 MHz για downlink, με αποτέλεσμα να προστίθονται 50 κανάλια.

3.3.4 Το GSM-1800 και GSM-1900

Το **GSM-1800** αρχικά ήταν γνωστό ως DCS-1800. Το 1997 το GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα του GSM. Μία από τις βασικές διαφορές του GSM-900 και του GSM-1800 είναι η περιοχή των συχνοτήτων λειτουργίας. Η εκπομπή σήματος από την κινητή μονάδα στο σταθμό βάσης (uplink) επιτυγχάνεται στη ζώνη 1710-1785 MHz, ενώ η εκπομπή από ένα σταθμό βάσης σε μια κινητή μονάδα πραγματοποιείται στη ζώνη 1805-1880MHz (downlink). Όπως φαίνεται το εύρος ζώνης είναι 75MHz και είναι τριπλάσιο από το αντίστοιχο εύρος ζώνης του GSM-900 το οποίο είναι 25MHz. Επίσης η ελάχιστη απόσταση διαδοχικών καναλιών είναι της τάξης των 200KHz και υπάρχει μια απόσταση ασφαλείας εύρους 200KHz στο κατώτερο όριο της κάθε υποζώνης. Η ισχύς εκπομπής μιας κινητής μονάδας στο GSM-1800 είναι μικρότερη αυτής του GSM-900. Στο GSM-900 η μέγιστη ισχύς της κινητής μονάδας είναι 1W (30dBm) και 0.25W (24dBm). Η διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων εκπομπής για το GSM-900 είναι 20W (43dBm), 8W (39dBm), 5W (37dBm), 2W (33dBm), 0,8W (29dBm). Οι κινητές μονάδες μπορούν να μειώσουν την ισχύ εξόδου των πομπών, κατόπιν εντολής του οικείου σταθμού βάσης, με βήματα των 2dB.

Οι κατηγορίες της ισχύος εκπομπής του σταθμού βάσης στο σύστημα GSM-1800, ανήκουν στις κατώτερες κατηγορίες των ισχύων εκπομπής του συστήματος GSM-900. Συγκεκριμένα ανάλογα με το μέγεθος του κυττάρου κάλυψης, η διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων εκπομπής είναι 20W, 10W, 5W και 2.5 W. Η αντίστοιχη διαβάθμιση των μέγιστων ισχύων των σταθμών βάσης του συστήματος GSM-900 είναι 320W, 160W, 80W, 40W 20W, 10W, 5W και 2.5W. Στη περίπτωση αυτή υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της ισχύος εκπομπής, ώστε να επιτρέπεται η μείωση αυτής από τη μέγιστη στάθμη, με 6 στάθμες των 2dB και με ακρίβεια της τάξης του 1dB. Με το τρόπο αυτό υπάρχει η δυνατότητα “μικρορύθμισης” της κάλυψης από τον φορέα εκμετάλλευσης για την βέλτιστη λειτουργία ολόκληρου του δικτύου.

Το GSM-1900 αρχικά ονομαζόταν PCS-1900 και η μετονομασία σε GSM-1900 έγινε στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Το GSM-1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM-900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Uplink και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Downlink. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz.

3.3.5 Προσφερόμενες Υπηρεσίες GSM

Τα συστήματα GSM προσφέρουν τις παρακάτω υπηρεσίες:

1) **Αναμονή Κλήσεων (Call Waiting and Call Hold)** : Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει την απάντηση σε μια νέα εισερχόμενη κλήση, ενώ υπάρχει κάποιος άλλος συνομιλητής στη γραμμή. Επίσης, αν κατά τη χρονική στιγμή της τρέχουσας συνομιλίας η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη, εισέλθει μια νέα κλήση, τότε θα ενεργοποιηθεί ένα ακουστικό σήμα το οποίο θα υποδεικνύει ότι υπάρχει δεύτερη κλήση σε αναμονή. Σε αυτή τη περίπτωση ο καλούμενος συνδρομητής θα μπορεί να θέσει σε αναμονή τη τρέχουσα κλήση, να μιλήσει με το δεύτερο συνομιλητή και μόλις τελειώσει να συνεχίσει τη συνομιλία με την αρχική κλήση.

2) **Τηλεφωνική Συνδιάσκεψη (Conference Call)** : Η υπηρεσία αυτή δίνει τη δυνατότητα σε τρεις ή περισσότερους συνδρομητές να συνομιλήσουν ταυτόχρονα. Οι συμμετέχοντες συνομιλητές μπορεί να ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα GSM ή ακόμα σε κάποιο σταθερό δίκτυο και ο μέγιστος αριθμός ταυτόχρονων συνομιλητών δεν ξεπερνάει τα πέντε άτομα. Η υπηρεσία της τηλεσυνδιάσκεψης μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την ενεργοποίηση των κλήσεων από τον ενδιαφερόμενο συνδρομητή προς τους συμμετέχοντες συνδρομητές ή και με

εισερχόμενες κλήσεις από τους συμμετέχοντες συνδρομητές προς τον αποδέκτη συνδρομητή. Στα πλαίσια των δυνατοτήτων της υπηρεσίας αυτής και κατά τη χρονική διάρκεια της εξέλιξής της, μπορεί να κληθεί κάποιος εκτός της τηλεσυνδιάσκεψης, καθιστώντας την εξωτερική αυτή κλήση ενεργή και την τηλεσυνδιάσκεψη αναμένουσα. Σε αυτή τη περίπτωση, κανένας από τους συμμετέχοντες συνομιλητές δεν μπορεί να ακούσει την εξωτερική συνομιλία, αλλά κατά τη διάρκεια της οι συνομιλητές μπορούν να συνεχίσουν κανονικά τη συνομιλία τους. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα μιας κατ' ιδίαν επικοινωνίας με ένα από τους συμμετέχοντες συνομιλητές, στην διάρκεια της οποίας οι υπόλοιποι συνεχίζουν της μεταξύ τους συνομιλία.

3) Πληροφόρηση Κόστους Συνδιάλεξης (Advice of Charge) : Η υπηρεσία αυτή δίνει τη δυνατότητα πληροφόρησης για τη χρέωση κάθε κλήσης η οποία πραγματοποιείται από τη κινητή μονάδα του συνδρομητή. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού του κόστους για κάθε κλήση (εθνική και διεθνή) διαβιβάζοντας τις πληροφορίες χρέωσης, από την οθόνη του κινητού, οι οποίες αναφέρονται πριν πραγματοποιηθεί η κλήση.

4) Υπηρεσία Σύντομων Μηνυμάτων (Short Message Service – SMS) : Η υπηρεσία αυτή προσφέρει την αποστολή γραπτών μηνυμάτων με μέγεθος μέχρι 160 χαρακτήρες, κατευθείαν από το σύστημα διαχείρισης μηνυμάτων ή το κέντρο εξυπηρέτησης, ή οποιοδήποτε άλλο συνδρομητή μέσω του κέντρου αυτού, προς τη κινητή μονάδα του εμπλεκόμενου συνδρομητή και αντίστροφα. Στη περίπτωση που η κινητή μονάδα είναι εκτός λειτουργίας ή βρίσκεται σε περιοχή εκτός κάλυψης, τότε το μήνυμα αποθηκεύεται στο δίκτυο και μεταδίδεται όταν η κινητή μονάδα τεθεί σε λειτουργία ή βρεθεί σε περιοχή κάλυψης. Αν ο συνδρομητής βρίσκεται σε κλήση και είναι κατηλλημένος, το μήνυμα αποθηκεύεται στη κάρτα SIM και μπορεί να διαβαστεί αργότερα μετά το πέρας της τρέχουσας κλήσης. Επιπλέον η λήψη του μηνύματος κοινοποιείται στον αποστολέα με αποτέλεσμα να γνωρίζει τότε έχει ληφθεί το μήνυμα. Για τη χρήση των SMS απαιτείται χρήση κάρτας SMS 2^{ης} γενιάς.

5) Εκπομπή Μηνύματος Σύντομης Εμβέλειας (Cell Broadcast) : Με την υπηρεσία αυτή υπάρχει δυνατότητα εκπομπής σύντομου μηνύματος (μέχρι 93 χαρακτήρες) από το κέντρο εξυπηρέτησης, σε όλες τις κινητές μονάδες σε ένα κελί ή σε μια ομάδα κελιών. Οι κινητές μονάδες πρέπει να είναι σε λειτουργία ή σε αδρανή κατάσταση (σε αυτή τη περίπτωση δεν πραγματοποιείται επιβεβαίωση της λήψης του μηνύματος από τον αποστολέα). Με τον τρόπο αυτό ο ενδιαφερόμενος ενημερώνεται για πληροφορίες που αφορούν τη κίνηση σε συγκεκριμένους δρόμους, πρόγνωση του δελτίου καιρού, εφημερεύοντα φαρμακεία κ.α. χωρίς την ύπαρξη ειδικής συνδρομής.

6) Υπηρεσία Μετάδοσης Δεδομένων και Fax (Data and Fax Transmission Service) : Ο στόχος της υπηρεσίας αυτής είναι να παρέχει στους συνδρομητές δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων με ρυθμό μετάδοσης 9.6kbps. Εκτός από τη κινητή μονάδα ο συνδρομητής πρέπει να έχει ένα προσαρμογέα μετάδοσης δεδομένων (Data Service Adapter – DSA) ή την ειδική κάρτα PCMCIA (Personal Computers Memory Card International Association), και ένα φορητό υπολογιστή ή ένα μηχάνημα fax. Η μονάδα DSA χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση της φορητής συσκευής με τη σειριακή θύρα του υπολογιστή, καθώς επίσης και με ένα Group 3 μηχάνημα fax. Η κάρτα PCMCIA χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση της φορητής συσκευής με ένα φορητό υπολογιστή ή με ένα κινητό μηχάνημα fax. Η κάρτα αυτή έχει διαστάσεις μιας πιστωτικής κάρτας και την λειτουργικότητα ενός modem, όσο αφορά την αποστολή και τη λήψη δεδομένων μέσω του δικτύου GSM.

Η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιείται στις παρακάτω εφαρμογές :

- Πωλήσεις υποστηριζόμενες από υπολογιστή (Computer-aided selling)
- Συμβουλευτικές υπηρεσίες υποστηριζόμενες από υπολογιστή (Computer-aided consulting)
- Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης
- Τεχνική Υποστήριξη
- Τηλεμετρία (Telemetry)
- Διαχείριση στόλου (Fleet management)

7) **Υπηρεσία Φωνητικής Πληκτρολόγησης:** Η υπηρεσία αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στον συνδρομητή να ενεργοποιεί τη κινητή συσκευή με τη φωνή του χωρίς να χρειαστεί να χρησιμοποιήσει το πληκτρολόγιο. Συνήθως η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιείται με συνδυασμό της ανοιχτής ακρόασης στα οχήματα όπου ο οδηγός δεν μπορεί να έχει στα χέρια του τη συσκευή.

3.4 PDC (Personal Digital Cellular)

Όπως και τα συστήματα GSM και D-AMPS, έτσι και το PDC χρησιμοποιεί τη τεχνολογία TDMA. Το πρότυπο PDC προσδιορίστηκε τον Απρίλιο του 1991 από την ιαπωνική εταιρία RCR (αργότερα ονομάστηκε σε ARIB), και εφαρμόστηκε στη ψηφιακή του μορφή το 1993 από την ιαπωνική εταιρία NTT DoCoMo. Το PDC χρησιμοποιεί φέρον σήμα 25KHz, διαμόρφωση $\pi/4$ DQPSK με 3 χρονοθυρίδες 11,2 kbit/s (fullrate) ή 6 χρονοθυρίδες 5,6 kbit/s (halfrate) για κώδικα ήχου. Το PDC εφαρμόζεται στα 800MHz (downlink 810-888 MHz, uplink 893-958 MHz) και στα 1500MHz (downlink 1477-1501 MHz, uplink 1429-1453 MHz). Οι εταιρίες NEC και Ericsson ήταν οι κύριες εταιρίες που ανέβαλαν το εξοπλισμό των PDC συστημάτων.

Το Σύστημα PDC εφαρμόστηκε στην Ιαπωνία από τις εταιρίες NTT DoCoMo, Softbank Mobile και KDDI.

Οι πιο βασικές υπηρεσίες που προσφέρουν τα PDC συστήματα είναι :

- Αναμονή κλήσης (Call Waiting)
- Φωνητικό Ταχυδρομίο (Voice Mail)
- Τριπλή κλήση (three-way call)
- Προώθηση κλήσης (Call Forwarding)
- Υπηρεσία Γραπτού Μηνύματος (SMS)

3.5 D-AMPS (Digital AMPS)

3.5.1 Εισαγωγή

Το IS- 54 και το IS- 136 είναι δεύτερης γενεάς (2G) συστήματα κινητής τηλεφωνίας, γνωστά και ως Digital AMPS (D-AMPS). Το D-AMPS ήταν το επικρατέστερο σύστημα σε όλη Αμερική, ιδιαίτερα στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά. Το σύστημα D-AMPS θεωρείται πλέον ξεπερασμένο και τα υπάρχοντα δίκτυα έχουν αντικατασταθεί συνήθως από τις τεχνολογίες GSM/GPRS. Αν και αυτό το σύστημα συχνότερα αναφέρεται ως TDMA ή NA-TDMA (North America – TDMA). Το D-AMPS χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα κανάλια AMPS και επιτρέπει την ομαλή μετάβαση μεταξύ των ψηφιακών και αναλογικών συστημάτων στην ίδια περιοχή. Η χωρητικότητα αυξήθηκε σε σχέση με προηγούμενο αναλογικό σχέδιο, με το να διαιρέσει κάθε

ζευγάρι καναλιών 30KHz σε τρεις χρονικές ζώνες (ως εκ τούτου χρονικό τμήμα) και με το να συμπίεσει ψηφιακά τα στοιχεία φωνής, επιτρέποντας τριπλάσια χωρητικότητα κλήσεων σε μία μόνο κυψέλη. Το ψηφιακό σύστημα έκανε τις κλήσεις πιο ασφαλείς, επειδή οι αναλογικοί σαρωτές δεν είχαν πρόσβαση σε ψηφιακά σήματα. Οι κλήσεις κρυπτογραφούνταν, αν και ο αλγόριθμος που χρησιμοποιούσε αποδείχθηκε αργότερα να είναι αδύναμος. Το IS-136 πρόσθεσε διάφορα επιπλέον χαρακτηριστικά στην αρχική προδιαγραφή του IS- 54, συμπεριλαμβανομένου της δυνατότητας αποστολής και μηνυμάτων κειμένου, στοιχεία μεταστρεφόμενων κοιλωμάτων (CSD), και ένα βελτιωμένο πρωτόκολλο συμπίεσης. Τα SMS και η CSD ήταν ήδη διαθέσιμα ως τμήμα του πρωτοκόλλου GSM, και το IS-136 τα εφάρμοσε σχεδόν πανομοιότυπα. Παλαιότερα μεγάλα δίκτυα τύπου IS-136 ήταν το AT&T στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και το Rogers Wireless στον Καναδά. Το AT&T και το Rogers Wireless έχουν αναβαθμίσει τα υπάρχοντα IS-136 δίκτυά τους με το GSM/GPRS. Το Rogers Wireless αφαιρέσει των 1900 MHz IS-136 δίκτυο το 2003, και έχει κάνει το ίδιο πράγμα και με των 800 MHz δίκτυο διότι ο εξοπλισμός απέτυχε να τα υποστηρίξει. Το Rogers απενεργοποίησε το δίκτυο IS-136 (μαζί με AMPS) τον Μάιο του 2007. Η AT&T ακολούθησε σύντομα και τον Φλεβάρη του 2008, διέκοψε και το TDMA και το AMPS.

3.5.2 Εισαγωγή στο IS-54 και προδιαγραφές τεχνολογίας

Το IS- 54 είναι το πρώτο σύστημα κινητής επικοινωνίας που είχε παροχή για την ασφάλεια, και το πρώτο που υιοθέτησε την τεχνολογία TDMA.

Τυποποιήθηκε από κοινού από την Ένωση Βιομηχανιών Ηλεκτρονικής (Electronics Industries Alliance ή EIA) και της Ένωσης Βιομηχανιών Τηλεπικοινωνίας (TIA). Έγινε αργότερα Αμερικανικό Εθνικό Πρότυπο όταν πήρε έγκριση από το αμερικανικό εθνικό ίδρυμα προτύπων (Ansi). Όταν έγινε Αμερικανικό Εθνικό Πρότυπο, ο προσδιοριστής IS έφυγε από το όνομα του. Ο προσδιορισμός Ansi του IS-54 είναι ANSI/TIA/EIA-627, αλλά αυτά τα πρότυπα ακόμα αναφέρονται ως IS- 54.

Το IS-54 υιοθετεί τις ίδιες ζώνες διαστήματος και συχνότητας καναλιών 30 kHz (824-849 και 869-894 MHz) όπως το AMPS. Η χωρητικότητα αυξήθηκε σε σχέση με το προηγούμενο αναλογικό σχέδιο, με το να διαιρείσει κάθε ζευγάρι καναλιών 30 kHz σε τρεις χρονικές ζώνες και να συμπίεσει ψηφιακά τα στοιχεία φωνής, επιτρέποντας τριπλάσια χωρητικότητα κλήσεων σε μία μόνο κυψέλη. Το ψηφιακό σύστημα έκανε τις κλήσεις πιο ασφαλείς, επειδή οι αναλογικοί σαρωτές δεν είχαν πρόσβαση σε ψηφιακά σήματα. Το πρότυπο IS-54 προσδιορίζει 84 κανάλια ελέγχου, των οποίων 42 μοιράζονται με το AMPS. Για να διατηρήσουν τη συμβατότητα με το υπάρχον κυψελοειδές τηλεφωνικό AMPS σύστημα, τα αρχικά προωστικά και αντίστροφα κανάλια ελέγχου στο IS-54 χρησιμοποιούν τις ίδιες τεχνικές σηματοδότησης και την ίδια δομή διαμόρφωσης (δυναμικό FSK) με το AMPS. Μια υποδομή AMPS/ IS-54 μπορεί να υποστηρίξει τη χρήση είτε των αναλογικών τηλεφώνων AMPS είτε τα D-AMPS τηλέφωνα. Η μέθοδος προσπέλασης που χρησιμοποιείται για το IS-54 είναι η πολλαπλής πρόσβασης χρονικού τμήματος (TDMA), η οποία ήταν από τα πρώτα αμερικάνικα ψηφιακά πρότυπα που ανατέθηκαν. Υιοθετήθηκε από το TIA το 1992, Το TDMA υποδιαιρεί κάθε ένα από τα 30 κανάλια KHz AMPS σε 3 full-rate κανάλια TDMA, κάθε ένα από τα οποία είναι σε θέση να υποστηρίξει μια κλήση. Αργότερα, κάθε ένα από αυτά τα full-rate κανάλια υποδιαιρείται περαιτέρω σε δύο half-rate κανάλια, κάθε ένα από τα οποία, με την απαραίτητη κωδικοποίηση και συμπίεση, θα μπορούσε επίσης να υποστηρίξει μια κλήση φωνής. Κατά συνέπεια, το TDMA θα μπορούσε να παρέχει 3 έως 6 φορές περισσότερη χωρητικότητα κυκλοφορίας καναλιών σε σχέση με το AMPS. Ο ρυθμός μετάδοσης καναλιού για ψηφιακή διαμόρφωση του φέροντος

είναι 48,6 KBIT/S. Κάθε πλαίσιο έχει έξι χρονοθυρίδες διάρκειας 6,67ms. Κάθε χρονοθυρίδες φέρει 324 bit πληροφοριών, των οποίων χρησιμοποιούνται για την 13Kbit/s ροή δεδομένων. Τα άλλα 64 bit είναι υπερυψωμένα, 28 bit είναι για το συγχρονισμό, και περιέχουν μια συγκεκριμένη ακολουθία δυαδικών ψηφίων που είναι γνωστή από όλους τους δέκτες για να καθιερώσει την ευθυγράμμιση πλαισίων. Επίσης, όπως και με το GSM, η γνωστή ακολουθία ενεργεί ως πρότυπο κατάρτισης για να μονογράψει έναν προσαρμοστικό εξισωτή.

Το σύστημα IS-54 έχει διαφορετικές ακολουθίες συγχρονισμού για κάθε μια από τις έξι χρονικές ζώνες που αποτελούν το πλαίσιο επιτρέποντας σε κάθε δέκτη για να συγχρονίσει στις προκαθορισμένες χρονικές ζώνες του. Πρόσθετα 12 bit μέσα σε κάθε χρονική ζώνη χρησιμοποιούνται για SACCH. (δηλ., πληροφορίες ελέγχου συστημάτων). Ο ψηφιακός κώδικας χρώματος επαλήθευσης (DVCC) είναι το αντίστοιχο του εποπτικού ηχητικού τόνου που χρησιμοποιείται στο σύστημα AMPS. Υπάρχουν 256 διαφορετικοί οκτάμπιτοι κώδικες χρώματος, οι οποίοι προστατεύονται από τον α (12 ..8, 3) κώδικα Hamming. Κάθε σταθμός βάσεων έχει τον προκαθορισμένο κώδικα χρώματός του, έτσι οποιαδήποτε εισερχόμενα σήματα παρεμβολής από τα απόμακρες κυψέλες μπορούν να αγνοηθούν.

Ο τρόπος διαμόρφωσης για το IS-54 είναι μια διαφορεική τεσσάρων καταστάσεων διαμόρφωση μετατόπισης φάσης 7C/4 (DQPSK), γνωστή και ως DQPSK. Αυτή η τεχνική επιτρέπει σε ένα ρυθμό μετάδοσης 48,6 Kbit/s με διάστημα καναλιών 30 KHz, να δώσει μια αποδοτικότητα εύρους ζώνης 1,62 bit/s/Hz. Αυτή η τιμή είναι 20% καλύτερη από την αντίστοιχη του GSM. Το σημαντικότερο μειονέκτημα με αυτόν τον τύπο γραμμικής μεθόδου διαμόρφωσης είναι η ανεπάρκεια ισχύος, η οποία μεταφράζεται σε βαρύτερες φορητές συσκευές, χαμηλότερη πρακτικότητα και πιο σύντομους χρόνους μεταξύ των επαναφορτίσεων μπαταριών.

Το IS-54 ήταν από τα πρώτα πρότυπα που προσδιόριζε μερικά μέτρα ασφάλειας. Το IS-54 χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο CAVE (κυψελοειδής πιστοποίηση ταυτότητας, αναγνώριση φωνής και κρυπτογράφηση) για την πιστοποίηση ταυτότητας και το CMA(κυψελοειδής αλγόριθμος κρυπτογράφησης μηνυμάτων) για την κρυπτογράφηση.

Οι τεχνικές προδιαγραφές μπορούν να συνοψιστούν όπως κατωτέρω:

Φάσμα Συχνότητας	Rx: 869-894 MHz; Tx: 824-849 MHz
Μέθοδος Πολλαπλής Πρόσβασης	TDMA/FDM
Διπλή Μέθοδος	FDD
Αριθμός Καναλιών	832 (3 χρήστες ανα κανάλι)
Διάστημα/εύρος ζώνης καναλιών	30 kHz
Διαμόρφωση	DQPSK
Ρυθμός Μετάδοσης Καναλιού	48.6 Kbit/s
Αποδοτικότητα φάσματος	1.62 bit/s/Hz
Εξισωτής	Δεν έχει οριστεί

3.5.3 Επεξεργασία Κλήσης

Τα δυαδικά ψηφία δεδομένων των συνομιλιών αποτελούν το πεδίο δεδομένων. Έξι ζώνες αποτελούν ένα πλήρες πλαίσιο του IS-54. Τα δεδομένα στις ζώνες 1 και 4, 2 και 5, και 3 και 6

αποτελούν ένα μεγαφωνικό κύκλωμα. Το DVCC αντιπροσωπεύει τον ψηφιακό κώδικα χρώματος επαλήθευσης, δηλαδή αυτή η ορολογία αντιστοιχεί σε έναν μοναδικό οκτάμπιτο κώδικα που ανατίθεται σε κάθε κυψέλη. Το G είναι ο χρόνος ασφάλειας, δηλαδή η περίοδος μεταξύ των χρονικών ζωνών. Το RSVD αντιστοιχεί στον συγχρονισμό, ένα κρίσιμο πεδίο στοιχείων TDMA. Κάθε χρονική ζώνη σε κάθε πλαίσιο πρέπει να είναι συγχρονισμένο με όλα τα άλλα και με ένα κεντρικό ρολόι ώστε να λειτουργούν όλα ομαλά. Οι χρονικές ζώνες για την κατεύθυνση κινητού – προς – σταθμό είναι δομημένες διαφορετικά από τις ζώνες για την κατεύθυνση σταθμού – προς – κινητό. Φέρνουν ουσιαστικά τις ίδιες πληροφορίες αλλά είναι δομημένες διαφορετικά. Επίσης η κατεύθυνση κινητού – προς – σταθμό έχει έναν χρόνο κεκλιμένων ραμπών 6-δυναδικών ψηφίων για να επιτρέψει στον εκπομπό να φτάσει σε πλήρη ισχύ, και μια ζώνη φρουράς 6-δυναδικών ψηφίων κατά τη διάρκεια της οποίας τίποτα δεν εκπέμπεται. Αυτά τα 12 πρόσθετα δυναδικά ψηφία στην κατεύθυνση σταθμός – προς – κινητό είναι διατηρημένα για τη μελλοντική χρήση. Όταν μία κλήση φτάσει στο κινητό, αλλάζει σε ένα διαφορετικό ζευγάρι συχνοτήτων ένα ραδιο-κανάλι φωνής που ο μεταφορέας συστήματος έχει καταστήσει αναλογικό ή ψηφιακό. Αυτό το ζευγάρι φέρνει την κλήση. Εάν ένα σήμα IS-54 ανιχνευτεί, ανατίθεται σε ένα ψηφιακό κανάλι κυκλοφορίας εάν φυσικά υπάρχει διαθέσιμο. Το γρήγορο κανάλι συσχετισμού ή (FACCH) αποδίδει handoffs κατά τη διάρκεια της κλήσης, χωρίς την ανάγκη για τον κινητό να επιστρέψει στο κανάλι ελέγχου. Σε περίπτωση υψηλού θορύβου FACCH μέσα στο ψηφιακό κανάλι κυκλοφορίας, ο θόρυβος υπερισχύει πάνω στο ωφέλιμο φορτίο φωνής, υποβιβάζοντας τη λεκτική ποιότητα για να μεταβιβάσει τις πληροφορίες ελέγχου. Ο σκοπός είναι να διατηρηθεί η σύνδεση. Το αργό κανάλι συσχετισμού ελέγχου ή SACCH δεν εκτελεί handoffs αλλά μεταβιβάζει δεδομένα όπως τις πληροφορίες δύναμης σημάτων στο σταθμό βάσεων.

Ο κωδικοποιητής ομιλίας του IS-54 χρησιμοποιεί την τεχνική αποκαλούμενη ως VSELP. Αυτό είναι ένας ειδικού τύπου λεκτικός κωδικοποιητής μιας μεγάλης ομάδας τέτοιων κωδικοποιητών γνωστή ως CELP. Ο ρυθμός λεκτικής κωδικοποίησης των 7,95 kbit/s επιτυγχάνει μια αναδημιουργημένη λεκτική ποιότητα παρόμοια με αυτήν του αναλογικού συστήματος AMPS χρησιμοποιώντας τη διαμόρφωση συχνότητας. Το σήμα των 7,95 kbit/s περνά έπειτα από ένα κωδικοποιητή καναλιών που αυξάνει τον ρυθμό μέχρι τα 13 kbit/s. Τα πρότυπα κωδικοποίησης μισού ρυθμού μειώνουν τον ρυθμό μετάδοσης για κάθε κλήση στα 6,5 kbit/s, και παρέχουν συγκρίσιμη ποιότητα με το ρυθμό των 13 kbit/s. Αυτός ο μισός ρυθμός δίνει εξαπλάσια χωρητικότητα καναλιών σε σχέση με το αναλογικό AMPS.

3.5.4 Παράδειγμα Συστήματος

Η συζήτηση ενός συστήματος επικοινωνιών δεν θα ήταν πλήρης χωρίς την εξήγηση ενός παραδείγματος. Ένα με διπλό σύστημα λειτουργίας κυψελοειδές τηλέφωνο όπως προσδιορίζεται από τα πρότυπα IS - 54 εξηγείται παρακάτω. Ένα με διπλό σύστημα λειτουργίας τηλέφωνο είναι σε θέση να λειτουργεί σε αναλογική κυψέλη ή σε μία κυψέλη με διπλό σύστημα λειτουργίας. Και ο εκπομπός και ο δέκτης υποστηρίζουν και αναλογικό FM και TDMA. Η ψηφιακή μετάδοση προτιμάται, έτσι όταν ένα κυψελοειδές σύστημα έχει ψηφιακή ικανότητα, στην κινητή μονάδα ανατίθεται ένα ψηφιακό κανάλι πρώτα. Εάν κανένα ψηφιακό κανάλι δεν είναι διαθέσιμο, το κυψελοειδές σύστημα θα αναθέσει ένα αναλογικό κανάλι. Ο εκπομπός μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε μια ραδιοσυχνότητα (RF), και ο δέκτης μετατρέπει ένα σήμα RF σε ένα ηχητικό σήμα. Η κεραία στρέφει και μετατρέπει την ενέργεια RF για τη λήψη και τη μετάδοση στο ελεύθερο διάστημα. Η κονσόλα ελέγχου χρησιμεύει ως ένας μηχανισμός εισόδου/εξόδου για τον τελικό χρήστη, χρησιμοποιώντας ένα αριθμητικό πληκτρολόγιο, μια οθόνη, ένα μικρόφωνο,

και ένα ηχείο. Ο συντονιστής συγχρονίζει τη μετάδοση και λαμβάνει τις λειτουργίες της κινητής μονάδας. Ένα διπλό σύστημα λειτουργίας κυβελοειδές τηλέφωνο αποτελείται από τον εκπομπό, τη κεραία, το δέκτη, τη κονσόλα ελέγχου και το συντονιστή.

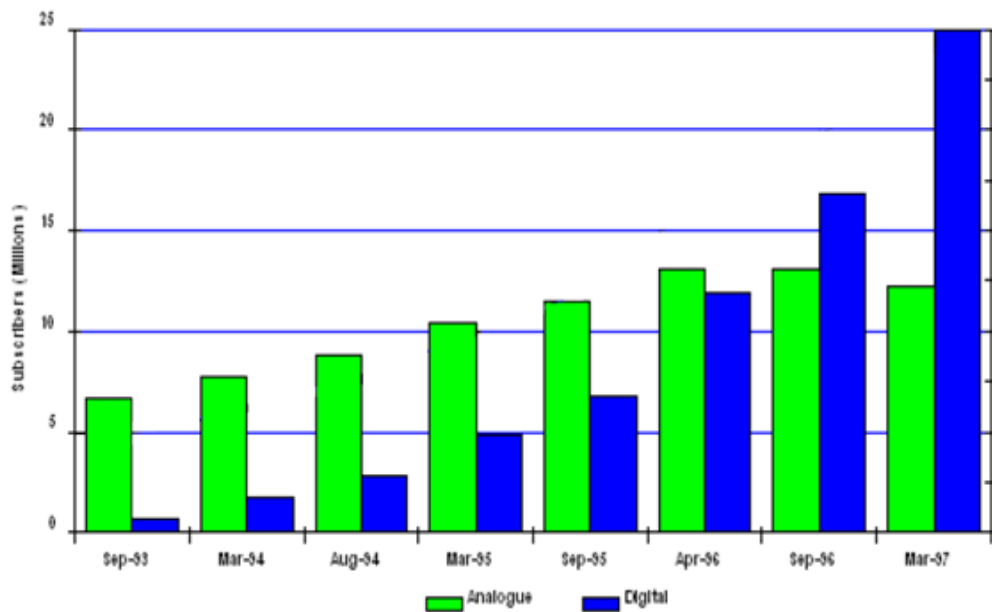
3.5.5 IS-136

Μια πραγματική προσπάθεια προωθήθηκε για να βελτιώσει το IS – 54, με την πρόσθεση τελικά ενός πρόσθετου καναλιού στο υβριδικό σχέδιο του IS-54. Αντίθετα από το IS - 54, το IS - 136 χρησιμοποιεί πολυπλεξία χρονικής διαίρεσης για τις μεταδόσεις καναλιών φωνής και ελέγχου. Το IS-136 σύστημα έπρεπε να υποστηρίξει τα εκατομμύρια των τηλεφώνων AMPS, τα περισσότερα από τα οποία σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν πριν από IS- 54 και IS- 136. Το IS - 136 πρόσθεσε διάφορα επιπλέον χαρακτηριστικά στην αρχική προδιαγραφή του IS- 54, συμπεριλαμβανομένου των μηνυμάτων κειμένου , μεταστρεφόμενα κύκλωμα στοιχεία (CSD), και ένα βελτιωμένο πρωτόκολλο συμπίεσης. Στο IS - 136 τα κανάλια κυκλοφορίας TDMA χρησιμοποιούν τη διαμόρφωση DQPSK σε ένα ρυθμό καναλιών 24.3 kbaud και δίνουν ένα ρυθμό μετάδοσης 48,6 kbit/s στις 6 χρονικές ζώνες.

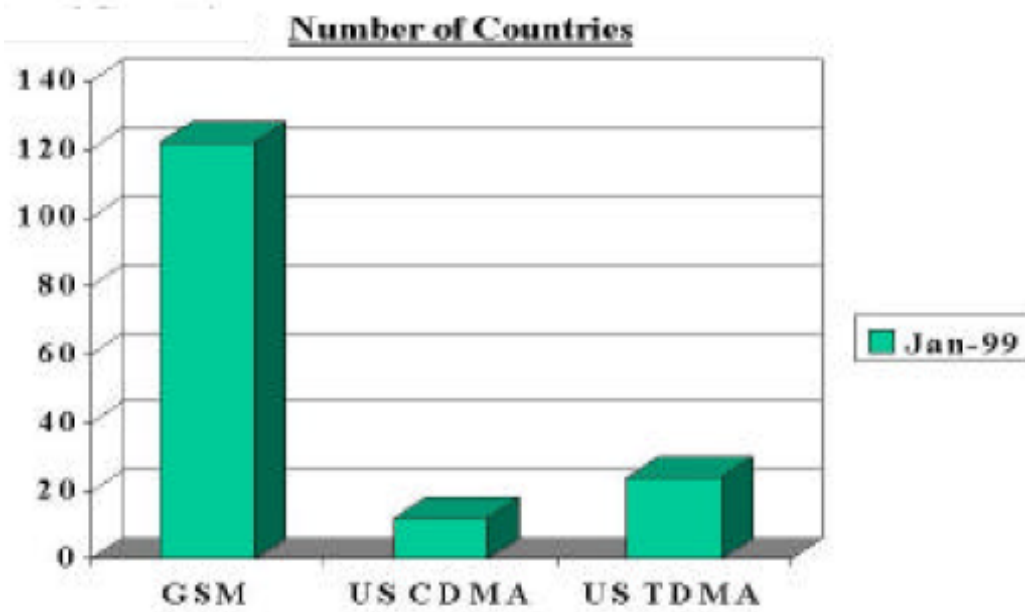
3.5.6 Το Τέλος του D-AMPS

Η AT&T Mobility, ο μεγαλύτερος αμερικανικός φορέας που υποστήριζε το D-AMPS, έκλεισε το υπάρχον δίκτυό του προκειμένου να ελευθερώσει το φάσμα στις πλατφόρμες του GSM και UMTS σε 19 ασύρματες αγορές, οι οποίες άρχισαν τον Μάιο του 2007. Το δίκτυο TDMA σε αυτές τις αγορές λειτούργησε στη συχνότητα των 1900MHz του και δεν συνυπήρξε με άλλο δίκτυο AMPS. Η υπηρεσία στις υπόλοιπες 850 MHz TDMA αγορές, διακόπηκε μαζί με την υπηρεσία AMPS στις 18 Φεβρουαρίου 2008, εκτός από στις περιοχές όπου η υπηρεσία παρέχεται από τις Dobson Communications. Το δίκτυο TDMA και AMPS της Dobson διακόπηκε στις 1 Μαρτίου, το 2008. Στις 31 Μαΐου 2007 η Rogers Wireless κατάργησε το δίκτυο D-AMPS και τα δίκτυα AMPS και μετακίνησε τους υπόλοιπους πελάτες από αυτά τα παλαιότερα δίκτυα επάνω στο δίκτυο GSM. Η Alltel έχει ολοκληρώσει το κλείσιμο των D-AMPS και AMPS δικτύων τον Σεπτέμβριο του 2008.

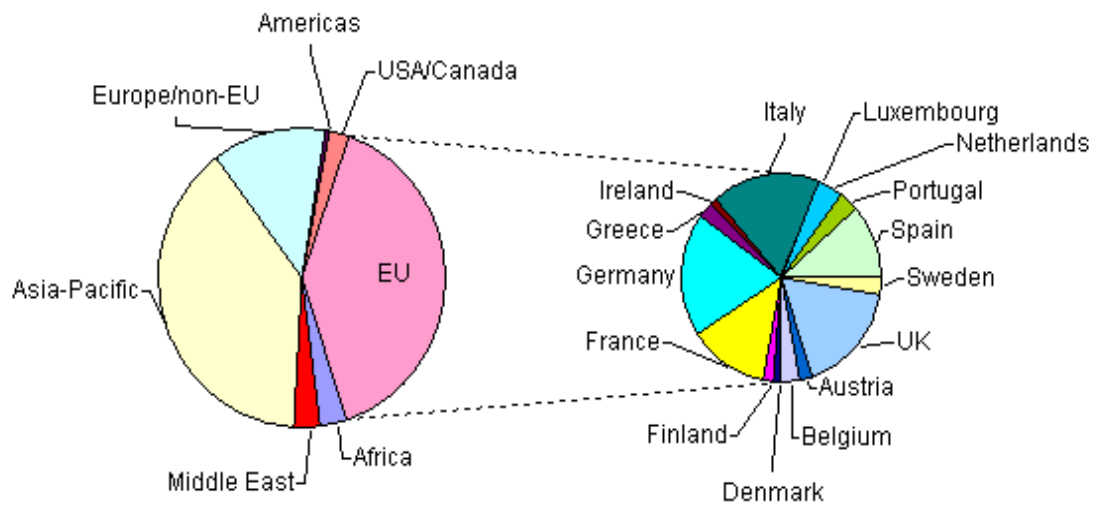
3.6 Πίνακες – Σχεδιαγράμματα Ψηφιακών Δικτύων



Συνδρομητές Αναλογικών και Ψηφιακών Δικτύων



Ψηφιακό Δίκτυο ανά αριθμό χωρών κατά το έτος 1999



Χρήση GSM Ανά Περιοχή

SPECIFICATION	GSM (EUROPE)	IS-54/136 (USA)	IS-95 (USA)	PDC (JAPAN)
1. SERVICE START	1992	1992	1995	1993
2. FREQUENCY:				
MOBILE TX	880-915 MHz	824-849 MHz	824-849 MHz	940-956 MHz/
BASE TX	1710-1785 MHz			1429-1453 MHz
SEPARATION	45 MHz/95 MHz	45 MHz	45 MHz	130 MHz/48 MHz
3. ACCESS METHOD/Duplex	TDMA/FDD	TDMA/FDD	CDMA/FDD	TDMA/FDD
4. CARRIER SPACING	200 kHz	30 kHz	1.25 MHz	25 kHz
5. TIME SLOTS/CARRIER	8 (16)	3 (6)	64 (128)	3 (6)
6. CARRIER BIT RATE	270.833 kbps	48.6 kbps	1228.8 kbps	42 kbps
7. MODULATION METHOD	GMSK	$\pi/4$ shifted QPSK	QPSK/BPSK	$\pi/4$ shifted QPSK
8. SPEECH CODEC	RPE-LTP	VSELP	Variable Rate CELP	VSELP/PSI CELP
9. SOURCE CODE RATE (Voice and data)	13 kbps } 22.8 kbps	7.95 kbps } 13 kbps	~8/13 kbps } ~76.8 kbps	6.7 } 11.2 } 3.45 } 5.6 kbps
10. ERROR CORRECTION DATA RATE	9.8 kbps	5.05 kbps		4.5 } 2.15 kbps

Χαρακτηριστικά 2G Συστημάτων

4. Γενεά 2.5G

Τα συστήματα HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*), GPRS (*General Packet Radio Service*) και EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) αποτελούν τη 2.5 γενιά κυψελοειδής τηλεφωνίας τα οποία βασίστηκαν στη τεχνολογία 2G και αποτέλεσαν το ενδιάμεσο διάστημα προς τη διέλευση της τρίτης γενιάς. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε κυρίως το GPRS που είναι και το πιο διαδεδομένο.

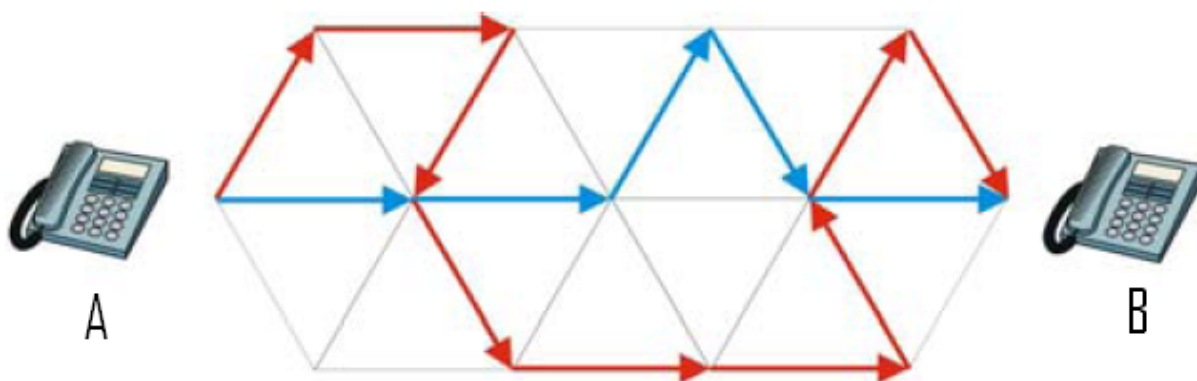
4.1 GPRS (General Packet Radio Service)

4.1.1 Εισαγωγή στο GPRS και Δομή GPRS

Το General Packet Radio Service (GPRS) είναι μια κινητή υπηρεσία δεδομένων διαθέσιμη στους χρήστες των κινητών τηλεφώνων GSM και IS-136. Παρέχει ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων από 56 μέχρι 114 Kbps. Τα κυψελοειδή συστήματα δεύτερης γενιάς που συνδυάζονται με GPRS περιγράφονται συχνά ως "2.5G", δηλαδή μια τεχνολογία μεταξύ της δεύτερης και τρίτης γενιάς της κινητής τηλεφωνίας. Παρέχει μέτρια ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, με τη χρησιμοποίηση Time Division Multiple Access (TDMA) καναλιών, παραδείγματος χάριν το σύστημα GSM. Τυποποιήθηκε αρχικά από το European Telecommunications Standards Institute (ETSI), αλλά τώρα είναι τυποποιημένο από το 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

Το GPRS είναι μια τεχνολογία κατά την οποία οι χρήστες μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα σε μορφή πακέτων πληροφοριών σε αντίθεση με τα συμβατικά διακοπτικά κυκλώματα επικοινωνίας. Το πλεονέκτημα των συστημάτων επικοινωνιών με πακέτα σε σχέση με τα συστήματα διακοπτικών κυκλωμάτων είναι ότι τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών με πακέτα παρέχουν υπηρεσίες δεδομένων στον χρήστη χωρίς αυτός να βρίσκεται αναγκαστικά σε μία

σύνδεση. Πριν τη διάδοση του GPRS, ο ήχος και τα ψηφιακά δεδομένα μεταδίδονταν από τα συμβατικά δίκτυα GSM χρησιμοποιώντας διακοπτικά κυκλώματα όπου στο χρήστη προσδιορίζετε μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα ακόμα και αν δεν υπάρχουν δεδομένα. Καθώς εξετάζουμε τη μετάδοση δεδομένων είναι πολύ σημαντικό να καταλάβουμε τη σχέση μεταξύ πληροφοριών που εξαρτάται από ένα σταθερό χρονικό διάστημα, όπως είναι η μετάδοση της φωνής ή τα “live video”, και τη μετάδοση δεδομένων που είναι χρονικά ανεξάρτητη. Η μετάδοση φωνής και “live video” απαιτεί μια σύνδεση χωρίς καθυστερήσεις. Οποιαδήποτε παραλλαγή στη μετάδοση περισσότερο από μερικών χιλιοστών του δευτερολέπτου θα προκαλούσε και τις χρονικές μετατοπίσεις των πληροφοριών, που καθιστούν δυσκολίες στην άμεση επικοινωνία. Τα δεδομένα που είναι χρονικά ανεξάρτητα όπως η μετάδοση δεδομένων μη άμεσου ήχου και “no real-time video” δεν εξαρτώνται από το τόσο μικρές καθυστερήσεις χρόνου(msec). Με τη χρησιμοποίηση πακέτων, στις διαβιβάζοντας και λαμβάνουσες μονάδες ανατίθενται διευθύνσεις IP και το δίκτυο δρομολόγησης πακέτων υπολογίζει πώς πακέτα θα δρομολογηθούν στην κατάλληλη συσκευή. Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν το σύστημα πακέτων λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο που λειτουργεί το ταχυδρομικό σύστημα όπου τα δεδομένα (γράμμα) που στέλνουμε τοποθετούνται σε πακέτα (φάκελο) για να σταλούν στο προορισμό τους. Τα πακέτα αυτά μεταφέρονται από διαφορετικά κέντρα μεταγωγής (κόμβους) μέχρι να φτάσουν στο δέκτη. Τα πακέτα αρχικά στέλνονται στο δίκτυο, το οποίο αποφασίζει πιο είναι το πιο αποδοτικό μονοπάτι ώστε τα πακέτα να μεταδοθούν από το χρήστη A στο χρήστη B. Τα πακέτα μπορεί να ακολουθήσουν διαφορετικούς κόμβους αλλά στο τέλος φτάνουν στον ίδιο προορισμό. Η διαδρομή που ακολουθεί το κάθε πακέτο καθορίζεται από το δίκτυο και εξαρτάται από το μέγεθος και τη χρήση του κάθε πακέτου.



Μετάδοση πακέτων από το χρήστη A στο χρήστη B

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα μια πληροφορία που στέλνει ο χρήστης A στο χρήστη B χωρίζεται σε 2 πακέτα (για το παράδειγμα) όπου το ένα πακέτο ακολουθεί τη μπλε διαδρομή και το άλλο πακέτο τη κόκκινη διαδρομή. Παρόλαυτα και τα δύο πακέτα φτάνουν στον ίδιο αποδέκτη.

Η μεταφορά δεδομένων GPRS χρεώνεται τυπικά ανά kilobyte των μεταφερόμενων δεδομένων (μέσω μιας πύλης χρέωσης που ονομάζεται **Charging Gateway**), ενώ η μετάδοση δεδομένων μέσω του παραδοσιακού circuit switching τιμολογείται ανά λεπτό του χρόνου σύνδεσης, ανεξάρτητα από το εάν ο χρήστης έχει μεταφέρει πραγματικά τα δεδομένα ή αν βρισκόταν σε κατάσταση αναμονής. Το GPRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις υπηρεσίες όπως το Wireless

Application Protocol (WAP), το Short Message Service (SMS), το Multimedia Message Service (mms), και για τις υπηρεσίες επικοινωνίας Διαδικτύου όπως η πρόσβαση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και World Wide Web. Το GPRS αλλάζει τη φιλοσοφία του GSM. Προηγουμένως, μία συχνότητα εκπομπής μοιραζόταν σε έως και 7 χρήστες και στον κάθε χρήστη παραχωρούνταν μία ολόκληρη χρονοθυρίδα. Έτσι, εκείνος στην ουσία δέσμευε ένα ολόκληρο κανάλι μετάδοσης για την πλήρη διάρκεια της σύνδεσής του, ακόμη κι αν δεν μετέδιδε δεδομένα. Έτσι, με το GPRS ο σκοπός ήταν να ξεπεραστεί αυτή η αδράνεια στις χρονοθυρίδες τοποθετώντας μερικούς χρήστες σε ένα κανάλι μετάδοσης την ίδια χρονική στιγμή. Με τη χρήση των GPRS δικτύων πολλοί χρήστες μπορούν να μοιραστούν ένα κανάλι ταυτόχρονα (μέχρι 19 χρήστες σε σχέση με 7 χρήστες στο GSM). Αυτό δείχνει πως με το GPRS ένας μεγάλος αριθμός χρηστών μπορεί να μοιραστεί το εύρος ζώνης μιας κυψέλης. Ο ακριβής αριθμός των ταυτόχρονων χρηστών εξαρτάται από το είδος εφαρμογών και του τρόπου που διαβιβάζονται τα δεδομένα.

Η φασματική αποδοτικότητα μπορεί να προσδιορισθεί μέσω της ταυτόχρονης διανομής των πακέτων στους σε πολλαπλούς χρήστες και μέσω της δυνατότητας της χρησιμοποίησης χρονοθυρίδων (slots) από περισσότερους από ένα χρήστες. Το GPRS χρειάζεται κάποιες τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική GSM, ώστε να είναι δυνατή η αποκρυπτογράφηση στοιχείων και για το λόγο αυτό προστίθονται δύο κόμβοι στη δομή του GSM :

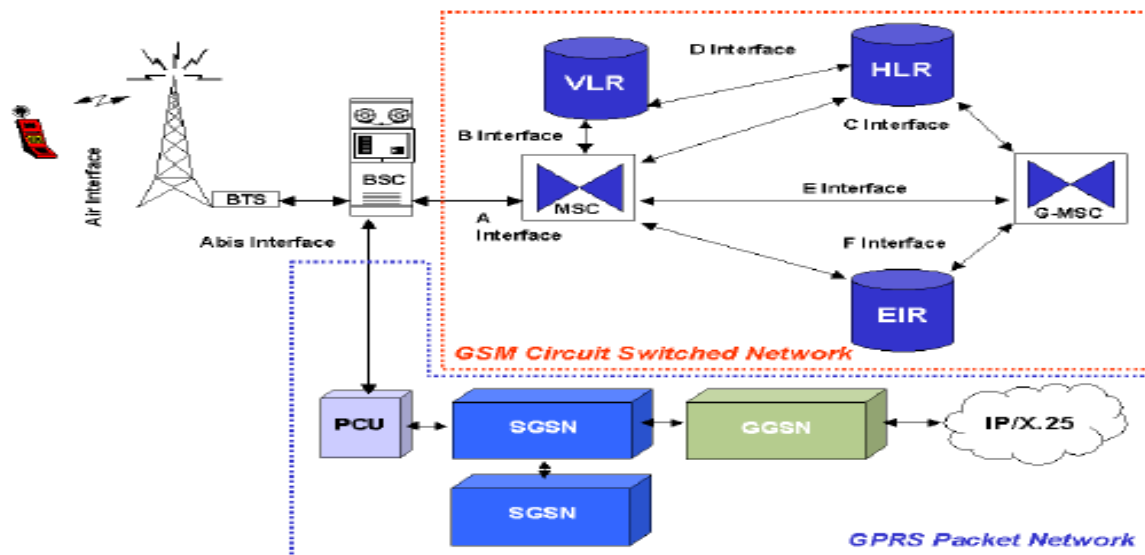
α) SGSN (Serving GPRS Support Node) ο οποίος είναι υπεύθυνος για την εξυπηρέτηση των κινητών σταθμών (Mobile Stations –MSs) που βρίσκονται στη δικαιοδοσία του. Ελέγχει τη δρομολόγηση πακέτων μεταξύ PCU και GGSN(βλέπε παρακάτω). Οι λειτουργίες του SGSN περιλαμβάνουν:

- Authentication, ciphering.
- Διαχείριση Κινητικότητας (Mobility Management –MM).
- Διαχείριση των λογικών συνδέσεων (Logical Link Management) στη διεύθυνση SGSN→MS.
- Δρομολόγηση και μετάδοση πακέτων.
- Χρέωση συνδρομητών.
- Διασύνδεση με τις βάσεις δεδομένων του GPRS (HLR, VLR, EIR).

β) GGSN (Gateway GPRS Support Node) ο οποίος αποτελεί και τη πύλη επικοινωνίας με εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Είναι κόμβος διασύνδεσης με τα PDNs(Packet Data Network) όπως το Internet και X.25. Παρέχει δρομολόγηση δεδομένων από ένα κινητό και προς ένα κινητό και συνδέεται με το κόμβο SGSN μέσω ενός κεντρικού δικτύου GPRS βασισμένο σε IP. Οι βασικές του λειτουργίες περιλαμβάνουν:

- Διαχείριση Κινητικότητας (Mobility Management –MM).
- Διασύνδεση με εξωτερικά δίκτυα δεδομένων (IP και X.25).
- Διασύνδεση με άλλα PLMNs.
- Δρομολόγηση και μετάδοση πακέτων.

Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ένα τυπικό δίκτυο GSM στο οποίο έχει προστεθεί μονάδες ελέγχου πακέτων GPRS και επίσης οι κόμβοι SGSN και GGSN.



GPRS δίκτυο σε GSM δίκτυο

Ένα GPRS δίκτυο βρίσκεται σε μορφή “Always on”. Η κινητή συσκευή συνάπτει μια ακολουθία διασύνδεσης GPRS (GPRS attach sequence) στο σύστημα λειτουργίας GPRS. Κατά τη διάρκεια της ακολουθίας διασύνδεσης GPRS, η κινητή συσκευή εξακριβώνει τη θέση της στο δίκτυο και την αντίστοιχη διεύθυνση με τη χρήση **Temporary Logical Link Identifier** ή **TLLI**. Μόλις γίνει η σύνδεση με το GPRS, η συσκευή μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει πακέτα.

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα η κινητή συσκευή στέλνει πακέτα πληροφοριών στο σταθμό βάσης και στη συνέχεια πάνε στο κόμβο SGSN μέσω της μονάδας **Packet Control Unit** ή **PCU** που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο της ροής των πακέτων. Η PCU είναι η μονάδα που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του Υποσυστήματος του Σταθμού Βάσης (BSS) με το υπόλοιπο δίκτυο μετατρέποντας τη κίνηση (traffic) των πακέτων σε PCU πλαίσια (frames) που έχουν ίδια διάταξη με τα πλαίσια της μονάδας Transcoder Rate Adaptor Unit ή TRAU που χρησιμοποιείται στα δίκτυα GSM για μετάδοση δεδομένων μέσω διακοπτικών κυκλωμάτων. Έτσι σε ένα GPRS δίκτυο οι υποσταθμοί βάσης BSS μπορούν να μεταδώσουν και πακέτα και δεδομένα διακοπτικών κυκλωμάτων. Για την μεταφορά των πακέτων από το κόμβο SGSN στο GGSN και αντίθετα χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο το οποίο ονομάζεται **GPRS tunnel protocol (GTP)**.

4.1.2 Μεταφορά πακέτων πληροφοριών GPRS κινητής μονάδας

Μια GPRS συσκευή καθιερώνει επικοινωνία με το GPRS δίκτυο μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται διασύνδεση GPRS (GPRS attach). Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την μεταφορά πακέτων μεταξύ του κινητού και του Σταθμού Βάσης. Όταν το κινητό εισέλθει σε GPRS mode, τότε θέτει σε λειτουργία μια ακολουθία διασύνδεσης. Υπάρχουν δύο ήδη ακολουθιών διασύνδεσης. Το πρώτο είδος ονομάζεται διασύνδεση GPRS και χρησιμοποιείται και στις τρεις

κλάσης κινητών (A, B και C που θα εξεταστούν παρακάτω). Η διασύνδεση GPRS επιτρέπει τη σύνδεση του κινητού με το δίκτυο και αν χρειαστεί αρχίζει η κίνηση πακέτων.

Η άλλη ακολουθία ονομάζεται συνδυασμένη διασύνδεση (combined attach). Αυτή η ακολουθία εφαρμόζεται στις κλάσης A και B. Σε αυτή τη περίπτωση το κινητό ενημερώνει το δίκτυο ότι επιθυμεί να είναι συνδεδεμένο τόσο σε λειτουργίες διακοπτικών κυκλωμάτων όσο και σε λειτουργίες κίνησης πακέτων. Το δίκτυο ελέγχει τα πακέτα δεδομένων, όπως και τη ποσότητα των πακέτων ανάλογα με τη δυνατότητα του κάθε κινητού.

Το κινητό αρχικά για να συνδεθεί με το δίκτυο, στέλνει ένα μήνυμα ακολουθίας διασύνδεσης στο δίκτυο, το οποίο περιέχει το International Mobile Subscriber Identifier ή IMSI, το οποίο επεξεργάζεται από το Packet-Temporary Mobile Subscriber Identity ή P-TMSI και ξαναστέλνεται πίσω στο κινητό. Κατά τη διαδικασία της συνδυασμένης διασύνδεσης (combined attach) πιστοποιείται το Home Location Register ή HLR (βάση δεδομένων που αφορούν πληροφορίες για το κινητό του χρήστη). Στη συνέχεια ο κόμβος SGSN στέλνει ένα μήνυμα “αποδοχής διασύνδεσης” στο κινητό και αυτό απαντάει με τη σειρά του “διασύνδεση ολοκληρώθηκε”. Το κινητό είναι πλέον συνδεδεμένο στο δίκτυο και χάρις στο Temporary Logical Link Identifier ή TLLI υπάρχει κίνηση πακέτων.

4.1.3 Κλάσης κινητών μονάδων GPRS

Υπάρχουν τρεις κλάσης κινητών μονάδων GPRS.

Class A

Οι κινητές μονάδες της κλάσης A υποστηρίζουν ταυτόχρονα GSM και GPRS υπηρεσίες τις οποίες ελέγχει ταυτόχρονα. Έτσι ο χρήστης μπορεί να μεταβεί από τη μία υπηρεσία στην άλλη χωρίς να διακόψει τη πρώτη.

Class B

Οι κινητές μονάδες της κλάσης B υποστηρίζουν και αυτές υπηρεσίες GSM και GPRS αλλά όχι ταυτόχρονα, έτσι αν χρήστης χρησιμοποιεί π.χ υπηρεσία GSM (φωνή, SMS) πρέπει να ολοκληρώσει την υπηρεσία αυτή για να μεταβεί (αυτόματα) σε υπηρεσία GPRS.

Class C

Οι κινητές μονάδες της κλάσης C συνδέονται είτε με υπηρεσία GPRS είτε με υπηρεσία GSM. Ο χρήστης πρέπει να επιλέγεται χειροκίνητα μεταξύ της μιας ή άλλης υπηρεσίας.

4.1.4 Διατάξεις κωδικοποίησης καναλιών (Channel Coding Schemes)

Στο GPRS σύστημα έχουμε τέσσερις διαφορετικές διατάξεις κωδικοποίησης καναλιών. Ο λόγος ύπαρξης πολλαπλών διατάξεων είναι η παροχή πολλαπλών βαθμών ρυθμού μετάδοσης, ανάλογα με το QOS – Quality Of Service (Ποιότητα της υπηρεσίας). Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι από εκτενής (CS1), όπου έχουμε υψηλή προστασία δεδομένων αλλά χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, μέχρι μικρή (CS4) όπου έχουμε υψηλό ρυθμό μετάδοσης

καθώς χρησιμοποιούνται λιγότερα μεταδιδόμενα bits για τη διόρθωση σφάλματος. Έτσι έχουμε :

CS1:9.05kbps/timeslot

CS2:13.4kbps/timeslot

CS3:15.6kbps/timeslot

CS4: 21.4 kbps/timeslot

Το GPRS μπορεί να διαχειρίζεται πολλαπλές θυρίδες downlink όσο και uplink. Έτσι στο GPRS έχουμε ένα πολυπλαίσιο (multiframe) των 52 frame. Σύμφωνα με τα παραπάνω στο GPRS δημιουργείται ένας καινούργιος όρος που ονομάζεται Multi-slot class και αφορά τον αριθμό των downlink και uplink slots (χρονοθυρίδων) που μπορεί να διαχειριστεί ένα κινητό. Υπάρχουν 45 τύποι Multi-slot class (από 1 μέχρι 45). Ένα σύνθετος Multi-slot class είναι το class 10 όπου παρέχονται 4 χρονοθυρίδες για downlink και 2 uplink.

4.1.5 Υπηρεσίες GPRS

Οι υπηρεσίες που παρέχει το GPRS είναι :

- Μεταφορά αρχείων – Κατέβασμα (downloading) αρχείων από το GPRS δίκτυο
- Δυνατότητα Chat – Το GPRS είναι μια προέκταση του Internet που επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν τα ήδη υπάρχοντα chat rooms.
- Υπηρεσίες πληροφοριών ως κείμενο και εικόνα – Στον χρήστη στέλνονται (όποτε αυτός θελήσει) πληροφορίες που αφορούν τον καιρό, αθλητικά, ειδήσεις ανά το κόσμο, εφημερεύοντα φαρμακεία – βενζινάδικα και άλλες πληροφορίες ανάλογα με το αίτημα του χρήστη.
- Απεικόνιση και λήψη φωτογραφιών – Τα περισσότερα κινητά που υποστηρίζουν GPRS χαρακτηρίζονται από οθόνες υψηλής ανάλυσης ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση φωτογραφιών. Επίσης μπορούν να διαθέτουν και ψηφιακή κάμερα για τη λήψη φωτογραφιών.
- Web Browsing – Χρησιμοποίηση browser για τη περιαγωγή στο Διαδίκτυο.
- Δυνατότητα προσδιορισμού θέσης του χρήστη – Γίνεται μέσω δορυφόρου ακόμα και αν ο χρήστης του GPRS κινητού δεν βρίσκεται σε κλήση, αρκεί να έχει ενεργοποιημένο το κινητό.

4.2 HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)

Το HSCSD αποτέλεσε την πρώτο βήμα για αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων στα τυπικά δίκτυα GSM. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί, αντί μίας, περισσότερων χρονοθυρίδων (time-slots) για μία σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν τον χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοθυρίδων επί τον ρυθμό μετάδοσης για μία χρονοθυρίδα. Το HSCSD χρησιμοποιεί μέχρι 4 χρονοθυρίδες GSM. Ένα βασικό πλεονέκτημα του HSCSD είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιεί χρονοθυρίδες (timeslots) ταυτόχρονα. Έτσι χρησιμοποιώντας το μέγιστο αριθμό χρονοθυρίδων δηλαδή τέσσερις, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να φτάσει τα 57,6 kbit/s και σε χειρότερες συνθήκες που απαιτείται μεγαλύτερο επίπεδο διόρθωσης

σφάλματος, φτάνει τα 38,4 kbit/s (4 φορές τα 9kbit/s που ισχύει στα διακοπτόμενα κυκλώματα CSD).

4.3 EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Ως αυξημένος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για GSM ή αλλιώς (EDGE), ονομάζουμε μια ψηφιακή τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας η οποία είναι προέκταση του GSM και η οποία επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Το EDGE είναι γνωστό και ως EGPRS (Enhanced GPRS). Το EDGE μπορεί να θεωρηθεί ως μια 3G ράδιο-τεχνολογία και είναι κομμάτι της προδιαγραφής 3G του ITU 3G αλλά είναι πιο γνωστό ως 2.75G. Το EDGE αναπτύχθηκε στα δίκτυα GSM στις αρχές του 2003 από την Cingular (τόρα AT&T) στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Το EDGE ορίστηκε από την 3GPP ως τμήμα της οικογένειας GSM, και είναι μια επέκταση που παρέχει τριπλάσια αύξηση στην χωρητικότητα των δικτύων GSM/GPRS. Η προδιαγραφή επιτυγχάνει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με χρήση πολυπλοκότερων μεθόδων κωδικοποίησης, μέσα στις υπάρχουσες χρονικές ζώνες GSM. Εισάγοντας 8PSK την κωδικοποίηση, το EDGE είναι σε θέση να μεταδώσει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων ανά ραδιο κανάλι σε καλές συνθήκες. Το EDGE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε εφαρμογή μεταστρεφόμενων πακέτων, όπως μια σύνδεση με το Διαδίκτυο. Οι εφαρμογές υψηλής ταχύτητας δεδομένων όπως οι βίντεο υπηρεσίες και άλλα πολυμέσα επωφελούνται από την αυξανόμενη χωρητικότητα στοιχείων του EGPRS.

4.3.1 Τεχνολογία και Τεχνικές Εκπομπής

Το EDGE αποτελεί συμπλήρωμα για τα 2G και 2,5G GSM και GPRS δίκτυα, κάνοντας ευκολότερο προς τους φορείς του GSM να το αναβαθμίσουν. Το EDGE/GPRS μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε δίκτυο που χρησιμοποιεί GPRS με την προϋπόθεση ότι το φέρον μπορεί να υποστηρίξει την αναβάθμιση του δικτύου. Παρόλο που το EDGE δεν απαιτεί αναβάθμιση στο λογισμικό ή τον εξοπλισμό στο δίκτυο GSM, οι σταθμοί βάσης πρέπει να αναβαθμιστούν. Θα πρέπει να εγκατασταθούν μονάδες εκπομπής και λήψης συμβατές με το EDGE και τα υποσυστήματα των σταθμών θα πρέπει να αναβαθμιστούν για να μπορούν να υποστηρίξουν το EDGE. Αν ο κάτοχος του δικτύου έχει φροντίσει για όλα τα παραπάνω τότε το δίκτυο μπορεί να αναβαθμιστεί σε EDGE απλά ενεργοποιώντας μια επιλογή στο λογισμικό. Σήμερα το EDGE υποστηρίζεται από όλους τους μεγάλους παροχής δικτύων του GSM. Επίσης απαιτείται καινούριες τερματικές συσκευές και λογισμικό για την αποκωδικοποίηση/κωδικοποίηση της νέας διαμόρφωσης.

Το EDGE χρησιμοποιεί GMSK και PSK/8 για την διαμόρφωση. Το EDGE χρησιμοποιεί επίσης μια λέξη των τριών bit (3-bit) για κάθε αλλαγή στην φάση του φέροντος σήματος. Το γεγονός αυτό τριπλασιάζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με το GSM. Το EDGE όπως και το GPRS χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, που προσαρμόζει την διαμόρφωση και τον ρυθμό κωδικοποίησης σε σχέση με την ποιότητα του ραδιοκαναλιού. Επίσης εισάγει μια νέα τεχνολογία για το GPRS, την IR (Incremental Redundancy) η οποία αντί να ξαναστέλνει διαταραγμένα πακέτα δεδομένων στέλνει

περισσότερες πληροφορίες πλεονασμού που συνδυάζονται στο δέκτη. Αυτό αυξάνει την πιθανότητα της σωστής αποκωδικοποίησης. Το EDGE μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες μετάδοσης ως και 236,8Kbit/s (με καθυστέρηση μικρότερη των 150ms) για 4 χρονικές ζώνες (μέγιστη θεωρητική ταχύτητα είναι 473,6Kbit/s για 8 χρονικές ζώνες) σε μορφή πακέτων. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χειριστεί τέσσερις φορές περισσότερη κυκλοφορία από το κανονικό GPRS.

4.3.2 EGPRS Διαμόρφωση και Σχέδιο Κωδικοποίησης

Σε καλές συνθήκες το EDGE μπορεί να είναι τέσσερις φορές πιο αποτελεσματικό από το GSM. Το GSM χρησιμοποιεί τέσσερα σχέδια κωδικοποίησης (CS-1 ως 4) ωστόσο το EDGE χρησιμοποιεί εννέα σχέδια διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

Σχέδιο Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης	Ταχύτητα (kbit/s/ζώνη)	Διαμόρφωση
MCS-1	18.80	GMSK
MCS-2	11.20	GMSK
MCS-3	14.80	GMSK
MCS-4	17.60	GMSK
MCS-5	22.40	8-PSK
MCS-6	29.60	8-PSK
MCS-7	44.80	8-PSK
MCS-8	54.40	8-PSK
MCS-9	59.20	8-PSK

5. 3^Η Γενιά Κινητής Τηλεφωνίας

5.1 Εισαγωγή στη 3^η γενιά κινητής τηλεφωνίας

Η ολοένα αύξηση της χρήσης και της ζήτησης νέων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, οδήγησε τον ευρωπαϊκό οργανισμό ETSI – European Telecommunications Standards Institute να ξεκινήσει τη προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων (3G) με αποτέλεσμα το σύστημα UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) το οποίο βασίζεται στη τεχνολογία WCDMA (Wideband CDMA). Ταυτόχρονα υπήρξαν και άλλοι οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα παγκοσμίως που είχαν ακριβώς τον ίδιο σκοπό. Η τεχνολογία 3G πρωτοστατεί στις εξελίξεις σε κυψελοειδή τεχνολογία μέχρι σήμερα, και τις συνδυάζει με συμπληρωματικές εξελίξεις και στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών καθορισμένων-γραμμών και στο διαδίκτυο. Το αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ενός δικτύου γενικότερου σκοπού, το οποίο προσφέρει την ευελιξία ώστε να παρασχεθεί και να υποστηριχθεί η πρόσβαση σε οποιαδήποτε υπηρεσία, ανεξάρτητα από τη θέση. Το κίνητρο για την ανάπτυξη των δικτύων 3^{ης} είναι κυρίως η παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε βρίσκεται ο χρήστης και σε κάθε στιγμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χρήστης δικτύων κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς, όπου και να μετακινείται, να εξυπηρετείται ακόμα και αν δεν υπάρχει κάλυψη στη περιοχή που βρίσκεται από δίκτυα 3^{ης} γενιάς, αλλά υπάρχουν άλλα ασύρματα δίκτυα όπως οικιακά ασύρματα δίκτυα, δορυφορικά δίκτυα και άλλα κυψελωτά

δίκτυα. Οι υπηρεσίες δικτύων 3^{ης} γενιάς κινητής τηλεφωνίας επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και υπηρεσίες πολυμέσων με ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που φτάνουν τη τάξη του Mbps. Με τον όρο υπηρεσίες πολυμέσων εννοούμε υπηρεσίες που προσφέρουν συνδυασμό εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον.

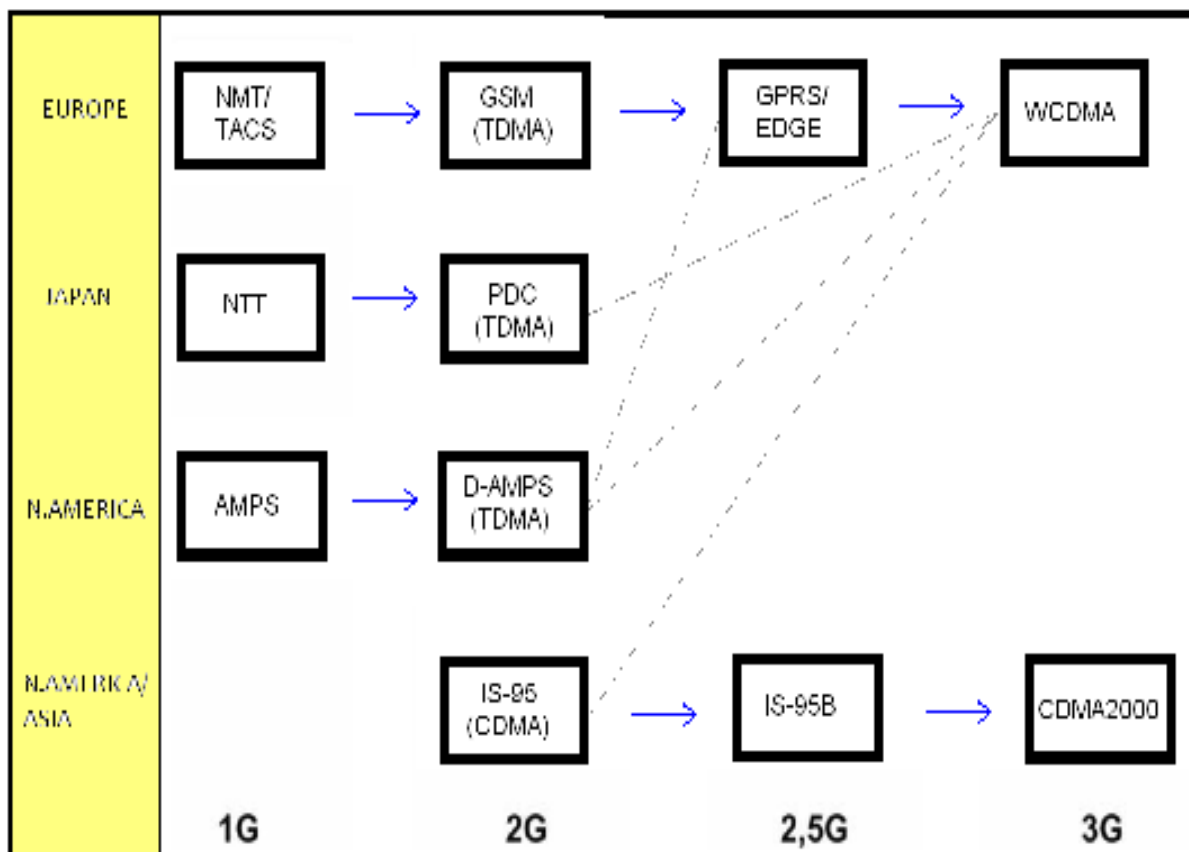
Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunications Union) έχει υποβάλει μια πρόταση (ITU-R M687-2) σχετικά με τι πρέπει να φέρει κάθε 3G σύστημα. Αυτή η πρόταση περιλαμβάνει :

1. Ένα QoS (ποιότητα υπηρεσιών) που είναι συγκρίσιμο με τα σταθερά δίκτυα φωνής
2. Μια συγχρονισμένη ανάπτυξη, που σε πρώτη φάση να υποστηρίζει ταχύτητες μέχρι 2Mbps.
3. Η ικανότητα να χτιστούν τερματικά που το μεγεθός τους να είναι μικρότερο από των 2G τερματικών αλλά να προσφέρουν πολλές παραπάνω υπηρεσίες.
4. Μια εύκαμπτη αρχιτεκτονική όπου μπορούμε εύκολα να προσθέσουμε τις επιπλέον εφαρμογές.

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU προγραμμάτισε επίσης μια διάσκεψη το 1992 για να καθορίσει ποιες ζώνες συχνότητας πρέπει να συστήσει για 3G. Η συνεδρίαση ήταν η World Administrative Radio Conference 1992 (WARC- 92). Η ITU προσδιόρισε τις συχνότητες γύρω στα 2GHz κατάλληλες για χρήση και δορυφορικών και επίγειων κινητών συστημάτων.

Το 1998 δημιουργήθηκε ο οργανισμός 3GPP 3rd Generation Partnership Project, ο οποίος είναι ένας οργανισμός που αναπτύσσει τις προδιαγραφές των συστημάτων 3ης γενιάς το οποίο είναι βασισμένο στη Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) διεπαφή και σε ένα εξελιγμένο δίκτυο GSM/GPRS. Το δίκτυο UTRA Network (UTRAN) που αναπτύσσεται από το 3GPP, περιλαμβάνει δύο τρόπους λειτουργίας: τον Frequency Division Duplex (FDD) και τον Time Division Duplex (TDD). Στον FDD ο ανερχόμενος και ο κατερχόμενος σύνδεσμος χρησιμοποιούν διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, κάθε μία από τις οποίες έχει εύρος ζώνης 5 MHz. Από την άλλη πλευρά, ο TDD διαφέρει από τον FDD στο γεγονός ότι και οι δύο κατευθύνσεις χρησιμοποιούν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Στην περίπτωση αυτή οι 15 χρονοσχισμές κάθε πλαισίου κατανομούνται δυναμικά μεταξύ του ανερχόμενου και του κατερχόμενου συνδέσμου.

Αρχικά το UTRAN θεωρήθηκε ένα ευρω-ιαπωνικό σύστημα που έχει στενή σχέση με το GSM. Αντίθετα, στις ΗΠΑ, το 1998 ένας άλλος οργανισμός δημιουργήθηκε που όριζε τις προδιαγραφές του CDMA2000 που ήταν το πιο διαδεδομένο σύστημα στις ΗΠΑ και ονομάστηκε 3GPP2. Παρόλα αυτά πλέον πολλές εταιρίες της Αμερικής έχουν υιοθετήσει το UTRAN ως σύστημα τρίτης γενιάς. Το 2000 προσδιορίστηκαν από τον οργανισμό 3GPP οι προδιαγραφές του πρώτου δικτύου UMTS.



Εξέλιξη των προτύπων για τα κυψελοτά κινητά δίκτυα μέχρι την τρίτη γενιά

5.2 Κύρια χαρακτηριστικά συστημάτων 3G

QoS (Quality of Service)

Το QoS καθορίστηκε από τον οργανισμό ITU με το πρότυπο X.902 ως “ένα σύνολο απαιτήσεων στη συλλογική συμπεριφορά ενός ή περισσοτέρων αντικειμένων”. Το QoS περιλαμβάνει όλες τις απαιτήσεις όλων των πτυχών μιας σύνδεσης, όπως ο χρόνος απόκρισης υπηρεσιών, απώλειες, ηχώ, παρεμβολές συνομιλιών και λοιπά. Ένα υποσύνολο του QoS είναι το GoS (Grade of Service) και περιλαμβάνει όλες της πτυχές και περιλαμβάνει τις πτυχές της σύνδεσης που έχουν σχέση με τη χωρητικότητα και τη κάλυψη ενός δικτύου. Σε WCDMA και cdma2000 συστήματα, ερευνητές συμπεριέλαβαν τις πτυχές QoS των συστημάτων από την αρχή έτσι ώστε τα συστήματα να υποστήριζαν εξολοκλήρου το QoS. Το GPRS έχει δυσκολίες στο να εγγυηθεί οποιοδήποτε QoS λόγω έλλειψης υποστήριξης στον ελεγκτή σταθμών βάσεων (BSC). Αυτή η κατάσταση δεν συμβαίνει με τα EDGE, WCDMA, ούτε cdma2000 συστήματα. Οι κατηγορίες του QoS είναι:

- **Συνομιλητική κατηγορία** : Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο (real – time applications) όπου απαιτείται η όσο τον δυνατόν

ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης. Η κυκλοφορία για αυτές τις περιπτώσεις είναι συνήθως συμμετρική. Οι εφαρμογές που απαιτούν τα πακέτα να φτάσουν σε μια ροή που η απόσταση μεταξύ των πακέτων κρατιέται σταθερή θα χρησιμοποιήσουν αυτή τη κατηγορία.

- **Κατηγορία Ροής** : Η κατηγορία αυτή εστιάζεται στη παράδοση των στοιχείων σε ένα σταθερό ρυθμό. Σε αυτή τη κατηγορία δεν δίνεται μεγάλη έμφαση στη καθυστέρηση επειδή οι περισσότερες εφαρμογές αυτής της κατηγορίας είναι ασύμμετρες και με λιγότερες αλληλεπιδράσεις σε σχέση με τη συνομιλητική κατηγορία. Στις εφαρμογές ροής (βίντεο, ήχος, τηλετύπα κειμένων, κ.α.), οι πληροφορίες μπορούν να εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη ακόμα και αν δεν έχει παραληφθεί ολόκληρο το αρχείο.
- **Κατηγορία Background** : Αυτή η κατηγορία είναι κατάλληλη για εφαρμογές που δεν εξαρτώνται από το χρόνο. Αφορά εργασίες που εκτελούνται στο “παρασκήνιο” ή εφαρμογές που εκτελούνται ενώ ο χρήστης δεν έχει ενεργή τη συσκευή του. Η καθυστέρηση μπορεί να είναι της τάξης μερικών δευτερολέπτων μέχρι και κάποιων λεπτών, ανάλογα με το φόρτο του δικτύου. Αυτή η κατηγορία είναι κατάλληλη για εφαρμογές μεγάλων δεδομένων, όπως για στοιχεία ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Ποσότητα των δυαδικών ψηφίων εξαρτώμενη από την απόσταση

Ένα χαρακτηριστικό των 3G συστημάτων είναι ότι το μέγιστο ποσοστό δυαδικών ψηφίων εξαρτάται από την απόσταση από το σταθμό βάσης. Έτσι όσο πιο μακριά απέχει ο χρήστης από ένα σταθμό βάσης τόσο και πιο δύσκολο είναι να έχει υψηλές ταχύτητες. Μέχρι ένα βαθμό η χρήση του QoS μπορεί να διορθώσει αυτή τη κατάσταση, αλλά υπάρχουν κάποιοι φυσικοί περιορισμοί που δεν μπορούν να παρακαμφτούν. Τα 3G συστήματα μπορεί να αποτελούνται συχνά από διαφορετικές τεχνολογίες μέσα στο ίδιο δίκτυο. Παραδείγματος χάριν, για WCDMA, η κάλυψη πρέπει να χτιστεί από την αρχή, αφήνοντας τις αγροτικές περιοχές ακάλυπτες στις πρόωρες φάσεις. Σε εκείνες τις περιοχές, το GPRS μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση, και το μικροτηλέφωνο WCDMA μπορεί να εκτελέσει μια παράδοση σε GPRS όταν τρέχει εκτός της κάλυψης WCDMA. Αυτή η διαδικασία τοποθετεί τις νέες απαιτήσεις πάνω στις εφαρμογές επειδή πρέπει να είναι ικανές να λειτουργούν ακόμη και όταν το ποσοστό δυαδικών ψηφίων μειώνεται αισθητά (διατηρώντας μερικές βασικές λειτουργίες). Όπως αναφέραμε πριν ένας χρήστης WCDMA μπορεί να χρειαστεί να χρησιμοποιήσει GPRS, ανάλογα με τη περιοχή που βρίσκεται, έτσι και ένας χρήστης CDMA2000 μπορεί να υποστεί ένα υποβιβασμό υπηρεσιών αν βρίσκεται σε περιοχή εκτός κάλυψης και εξυπηρετείτε από το CDMAone. Αυτή η κατάσταση δείχνει ότι οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη, ανεξάρτητα από την υποδομή, χρειάζονται το ίδιο μέγεθος γνώσης.

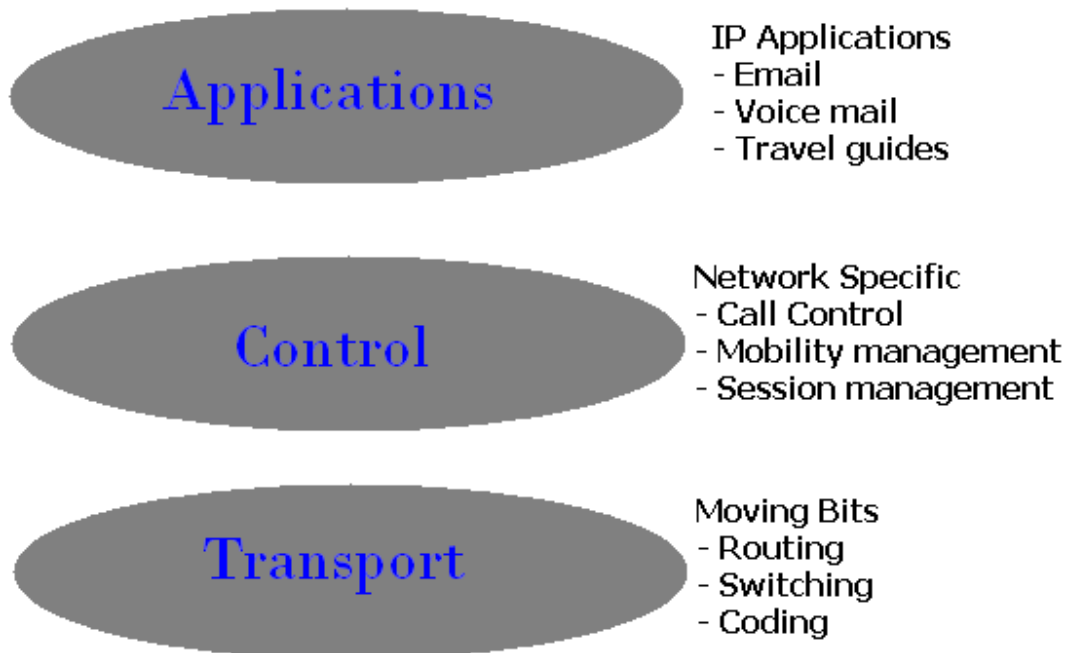
Υψηλότερος αριθμός δυαδικών ψηφίων

Αν και τα συστήματα 2.5G παρέχουν υψηλότερες ποσότητες δυαδικών ψηφίων από τα 2G, αυτό δεν είναι επαρκές καθώς οι χρήστες μοιράζονται το εύρος ζώνης και οι ταχύτητες δεν μπορούν να θεωρηθούν δεδομένες. Η ζήτηση για ολοένα αύξηση υπηρεσιών οδήγησε στη κατασκευή κινητών με μεγαλύτερες οθόνες που προσφέρουν υψηλότερες αναλύσεις και υπηρεσίες πολυμέσων κάτι που όμως απαιτεί και μεγαλύτερες ταχύτητες. Τα 3G δίκτυα επιτυγχάνουν τις ταχύτητες αυτές που φτάνουν της τάξης των Mbps. Μπορούμε να επιτύχουμε αυτές τις ταχύτητες για τα κανάλια που είναι είτε circuit switched είτε packet switched.

5.3 Αρχιτεκτονική Δικτύων 3G

Στα 3G δίκτυα είναι απαραίτητο να θεωρηθεί μια γενική αρχιτεκτονική (Layered) των δικτύων αυτών, η οποία επιτυγχάνεται με τη διαίρεση με τη διαίρεση του κεντρικού δικτύου σε επίπεδο εφαρμογών – υπηρεσιών, επίπεδο ελέγχου, και επίπεδο μεταφορών.

- **Επίπεδο Εφαρμογών - Υπηρεσιών** : Σε αυτό το επίπεδο φιλοξενούνται οι εφαρμογές και προσφέρονται οι ενισχυτικές υπηρεσίες. Το επίπεδο αυτό συνήθως καλείται δίκτυο υπηρεσιών.
- **Επίπεδο Ελέγχου** : Οι στόχοι αυτού του επιπέδου είναι η οργάνωση των κλήσεων, πιστοποίηση των χρηστών και η ομαλή λειτουργία του συστήματος στο δίκτυο.
- **Επίπεδο Μεταφοράς** : Το επίπεδο αυτό μεταφέρει τα bits πέρα του βασικού κορμού IP και του ασύρματου δικτύου πρόσβασης. Με τη χρησιμοποίηση αυτής της αρχιτεκτονικής, μια εφαρμογή σε ένα δίκτυο υπηρεσιών μπορεί να προσεγγιστεί από ένα χρήστη στο σταθερό δίκτυο και από ένα χρήστη κινητής συσκευής 3G. Ο διακομιστής εφαρμογών και το βασικό δίκτυο μεταφορών μπορεί να είναι τα ίδια. Καθώς το στοιχείο έρχεται πιο κοντά στο χρήστη, καθοδηγείται στο σωστό δίκτυο πρόσβασης (σταθερό ή ασύρματο). Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τους υπεύθυνους για τη βελτίωση των εφαρμογών που εκτελούνται, ανεξάρτητα των ελλοχεύοντα φορέα. Έτσι οποιαδήποτε IP εφαρμογή να μπορεί να λειτουργεί στα 3G δίκτυα.



5.4 Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)

Το Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) είναι σύστημα πρόσβασης για τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας το οποίο βρίσκει εφαρμογή στα (ψηφιακά) δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς, και συγκεκριμένα στο UMTS (FDD mode) στην Ευρώπη. Πριν την επεξήγηση των χαρακτηριστικών του WCDMA ακολουθεί μια αναφορά στο πρότυπο IMT-2000 και τον οργανισμό 3GPP.

IMT-2000

Ο οργανισμός ITU (International Telecommunication Union) δημιούργησε το IMT-2000 το οποίο περιλαμβάνει τις προδιαγραφές για τα συστήματα 3G. Ο αρχικός στόχος ήταν να δημιουργήσει ένα και μοναδικό σύστημα 3^{ης} γενιάς για όλη τη υφήλιο. Αυτό όμως δεν έγινε εφικτό εξαιτίας τεχνικών και πολιτικών λόγων. Στο πρότυπο IMT-2000 εντάχθηκαν πολλά συστήματα εξαιτίας της ελαστικής πολιτικής του οργανισμού ITU ως προς τις προδιαγραφές ένταξης. Έτσι το IMT-2000 μπορεί να θεωρηθεί μια οικογένεια προτύπων που τεχνικά δεν έχουν πολλά κοινά σημεία μεταξύ τους. Οι περισσότερες τεχνολογίες που εντάχθηκαν στο IMT-2000 έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο και εξέλιξη, σύμφωνα πάντα με τη συμβολή της βιομηχανίας. Τα βασικότερα συστήματα IMT-2000 είναι:

- IMT-DS Direct-Sequence
 - γνωστό και ως W-CDMA ή UTRA-FDD και χρησιμοποιείται στο UMTS.

- IMT-MC Multi-Carrier
 - γνωστό και ως CDMA2000.

- IMT-TD Time-Division
 - Περιλαμβάνει TD-CDMA (Time Division - Code Division Multiple Access) και TD-SCDMA (Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access).

- IMT-SC Single Carrier
 - γνωστό και ως UWC - Universal wireless communications (συχνά εφαρμοσμένο με EDGE).

- IMT-FD Frequency Time
 - γνωστό και ως DECT.

Στις 18 Οκτωβρίου 2007 ο οργανισμός ITU αποφάσισε να προσθέσει στα πρότυπα του IMT-2000 τη τεχνολογία Wi-MAX

3GPP (3rd Generation Partnership Project)

Το Third Generation Partnership Project (3GPP) είναι ένας οργανισμός που αναπτύχθηκε το 1998, αρχικά για να ορίσει τις μελλοντικές προδιαγραφές για το GSM. Το 1999 το 3GPP προσδιόρισε τις προδιαγραφές για το πρώτο δίκτυο που χρησιμοποίησε τεχνολογία WCDMA (UMTS). Στον οργανισμό αυτό συμμετείχαν διάφοροι οργανισμοί από διάφορες χώρες όπως ARIB (Ιαπωνία), ETSI (Ευρώπη), TTA (Κορέα), TTC (Ιαπωνία) και TTP1 (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής). Αργότερα, το 2001 και ο Κινέζικος οργανισμός CWTS (China Wireless Telecommunication Standard) έγινε μέλος του 3GPP. Αντίθετα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής δημιουργήθηκε ο οργανισμός 3GPP2 που προσδιορίζει το κοινό σε χρήση δίκτυο 3^{ης} γενιάς στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το CDMA2000.

WCDMA (Wideband CDMA)

Το WCDMA πρότυπο εξελίχθηκε μέσα από το έργο εταιρικής συνεργασίας τρίτης γενιάς (3GPP), η οποία αποσκοπεί στην εξασφάλιση της λειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων δικτύων 3G. Το πρότυπο που προέκυψε μέσα από αυτή την εταιρική σχέση βασίζεται στο UMTS Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) και είναι κοινώς γνωστό ως UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA). Εξ' ορισμού το εύρος ζώνης ενός συστήματος WCDMA είναι 5 MHz ή και μεγαλύτερο. Αυτή η τιμή των 5 MHz είναι το ονομαστικό εύρος ζώνης όλων των WCDMA προτάσεων για την τρίτη γενιά. Ονομάστηκε wideband (ευρείας ζώνης) διότι το φάσμα των 5 MHz είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το φάσμα που χρησιμοποιεί το αντίστοιχο σύστημα CDMA των Η.Π.Α. Για την ακρίβεια, το σύστημα CDMA2000 χρησιμοποιεί ένα φάσμα των 1,25 MHz. Αυτή η κοινή επιλογή δεν είναι τυχαία διότι επαρκεί για την παροχή ρυθμών μετάδοσης των 144 και 384 Kbps (πρόκειται για τους βασικούς ρυθμούς μετάδοσης στους οποίους στοχεύουν τα συστήματα τρίτης γενιάς), ενώ ταυτόχρονα δε δημιουργεί προβλήματα στον καταμερισμό της ζώνης συχνοτήτων. Η τελευταία παράμετρος είναι πολύ σημαντική αν σκεφτεί κανείς ότι πολλά συστήματα θα κληθούν να χρησιμοποιήσουν τις ίδιες ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούν ήδη συστήματα δεύτερης γενιάς.

Στο σύστημα αυτό, ο αποστολέας της πληροφορίας, πριν αποστείλει τα δεδομένα, τα πολλαπλασιάζει με τον κώδικα του. Ο παραλήπτης γνωρίζει εκ των προτέρων τον κώδικα του αποστολέα. Επιπλέον, οι κώδικες που χρησιμοποιούνται από διαφορετικά ζεύγη πρέπει να είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι. Όταν ο παραλήπτης πολλαπλασιάσει τα δεδομένα που έλαβε, με τον κώδικα του αποστολέα τότε προκύπτουν τα αρχικά δεδομένα. Μετά από αυτόν τον υπολογισμό, τα υπόλοιπα δεδομένα που ανταλλάχθηκαν από άλλους χρήστες, έχουν απορριφθεί από τον παραλήπτη ως θόρυβος.

Για την κατανόηση της φιλοσοφίας του WCDMA ας αναλογιστούμε ένα απλό παράδειγμα: Έστω ότι οι χρήστες είναι μια ομάδα εφήβων σε ένα δωμάτιο και ο σκοπός είναι η διαβίβαση ενός μηνύματος από κάθε έφηβο σε έναν μοναδικό ενήλικα που παρευρίσκεται στο ίδιο δωμάτιο. Μια απλοϊκή λύση θα ήταν να πείσουμε τους εφήβους να μιλήσουν ένας ένας αλλά αυτή η διαδικασία θα μας κόστιζε σε χρόνο, ο οποίος ως γνωστόν είναι πολύτιμος. Αυτό που κάνει το WCDMA είναι ότι αναθέτει στον κάθε έφηβο να μιλά με μια διαφορετική γλώσσα. Ο παραλήπτης ενός συγκεκριμένου μηνύματος θα αρκεί να εστιάσει στην προσοχή του στην αντίστοιχη γλώσσα και τα δεδομένα των υπολοίπων εφήβων δεν θα ενοχλούν αφού θα είναι σε άλλη γλώσσα και θα ηχούν ως ασυναρτησίες.

Επιπλέον οι εταιρίες Ericsson και Nokia ήταν οι κύριοι συνεισφορείς κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του WCDMA, με την Ericsson να είναι η πρώτη εταιρία που έκανε παρουσίαση της

λειτουργίας του handover από WCDM στο GSM. Το handover είναι ένας παράγοντας που εξασφαλίζει την ενδολειτουργία μεταξύ WCDMA δικτύων και GSM δικτύων.

Στο WCDMA, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας:

TDD: Σε αυτή τη μέθοδο διπλής όψης, οι uplink και downlink μεταδόσεις πραγματοποιούνται κατά την ίδια ζώνη συχνοτήτων χρησιμοποιώντας συγχρονισμένα χρονικά διαστήματα. Έτσι χρονοθυρίδες σε ένα φυσικό κανάλι χωρίζονται σε μέρη μετάδοσης και λήψης.

FDD: uplink και downlink, διαχωρίζονται σε ζώνες συχνοτήτων για αυτή την αμφίδρομη μέθοδο. Ένα ζευγάρι με καθορισμένες ζώνες συχνοτήτων έχει εκχωρηθεί για μια σύνδεση. Δηλαδή uplink και downlink έχουν διαφορετικές συχνότητες.

Δεδομένου ότι διαφορετικές περιοχές έχουν διαφορετική κατανομή συχνοτήτων για διάφορα συστήματα, η δυνατότητα να λειτουργεί είτε FDD ή TDD mode επιτρέπει την αποτελεσματική αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος.

Όπως προαναφέραμε το UMTS χρησιμοποιεί το πρότυπο WCDMA. Υιοθετεί ένα εύρος ζώνης καναλιών 5 MHz. Χρησιμοποιώντας αυτό το εύρος ζώνης έχει την ικανότητα να μεταφέρει 100 ταυτόχρονες κλήσεις φωνής, ή είναι σε θέση να μεταφέρει δεδομένα με ταχύτητες έως και 2 Mbps με την αρχική μορφή του. Παρόλα, το UMTS (θα εξεταστεί παρακάτω αναλυτικότερα) όπως και άλλα ασύρματα δίκτυα 3^{ης} γενιάς έχουν ενσωματώσει τη μέθοδο HSDPA, με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων να αυξάνεται στα 14,4Mbps.

Βασικά χαρακτηριστικά του WCDMA

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά του WCDMA διεπαφών αναφέρονται παρακάτω:

1. Υποστήριξη υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων: 384 Kbps με ευρεία κάλυψη, 2 Mbps με τοπική κάλυψη.
2. Υψηλή ευελιξία των υπηρεσιών: Υποστήριξη πολλαπλών παράλληλων υπηρεσιών για κάθε σύνδεση.
3. Συχνότητα Division Duplex (FDD) και Time Division Duplex (TDD).
4. Ενσωματωμένη υποστήριξη για τη μελλοντική ικανότητα κάλυψης τεχνολογιών. Υποστήριξη μεταξύ άλλων συστημάτων παλαιότερης γενιάς, συμπεριλαμβανομένου και του GSM, με δυνατότητα παροχής παρόμοιων υπηρεσιών σε αυτά τα συστήματα.
5. Η αποτελεσματική πρόσβαση στα πακέτα δεδομένων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του WCDMA

Πολλαπλό σύστημα πρόσβασης	DS-CDMA
Αμφίδρομη λειτουργία	FDD/TDD
Εύρος ζώνης Ράδιο καναλιού	5 MHz

Ρυθμός ακολουθίας ψευδό-θορύβου	3.84 Mcps(chip/sec)
Υποστήριξη ασύγχρονης λειτουργίας	Ναι
Αποστολή με πολυκωδικοποίηση	Ναι
Βιώσιμη κινητή αποστολή	Ανά 10ms
Προσαρμόσιμος έλεγχος ισχύος	Βασισμένος στο SIR

5.5 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

5.5.1 Εισαγωγή στο UMTS

Το UMTS είναι το σύστημα που συνδυάζει το πρότυπο WCDMA με το GSM. Πρόκειται για το σύστημα 3^{ης} γενιάς που έχει επικρατήσει στην Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται και στην Βόρεια Αμερική.

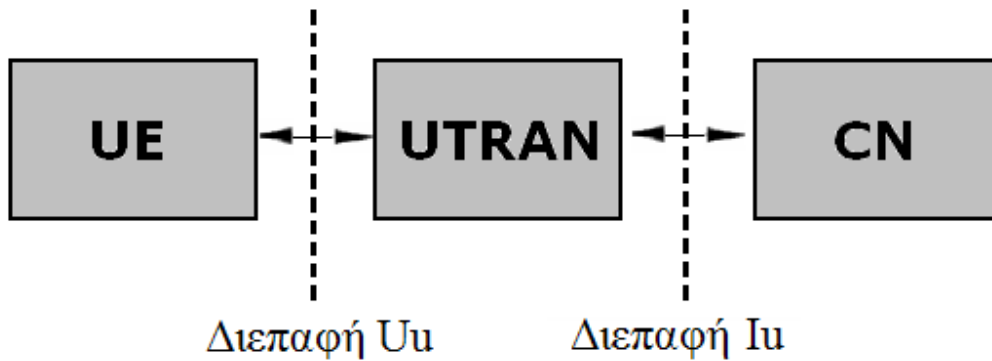
Το 1995 πρωτοεμφανίστηκε το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα ACTS (Advanced Communication Technologies and Services), για την υποστήριξη της ανάπτυξης των κινητών επικοινωνιών. Σε αυτό το πρόγραμμα δημιουργήθηκε ένα project που ονομάστηκε FRAMES (Future Radio Wideband Multiple Access System), για να καθορίσει το πρότυπο που θα χρησιμοποιηθεί για το σύστημα UMTS. Οι κύριοι βιομηχανικοί συνεργάτες σε αυτό το project ήταν οι εταιρίες Nokia, Siemens, Ericsson, France Telecom και CSEM/Pro Telecom. Όλες οι προτάσεις στάλθηκαν στον οργανισμό ETSI και από αυτές πέντε ήταν οι επικρατέστερες προτάσεις προτύπων για το UMTS σύστημα :

- Wideband CDMA (WCDMA)
- Wideband TDMA (WTDMA)
- Wideband TDMA/CDMA
- OFDMA
- ODMA

Αν και τα περισσότερα από τα παραπάνω πρότυπα κάλυπταν τις απαιτήσεις του συστήματος UMTS, η τελική απόφαση πάρθηκε μεταξύ του WCDMA και του υβριδικού TDMA/CDMA (wideband TDMA/CDMA). Σύμφωνα με το πρότυπο TDMA/CDMA, κάθε πλαίσιο του TDMA διαιρείται σε οκτώ χρονοσχισμές. Σε κάθε χρονοσχισμή, τα διαφορετικά κανάλια πολυπλέκονται με χρήση της μεθόδου CDMA. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του προτύπου είναι ότι δανείζεται τη δομή του κάθε πλαισίου από το σύστημα GSM. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει συμβατότητα προς τα πίσω. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη πρόταση του ETSI δεν υποστηρίζεται πια και το πρότυπο έχει εγκαταλειφθεί. Έτσι το 1998 πάρθηκε η απόφαση της επιλογής του WCDMA ως πρότυπο UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

5.5.2 Δομή του UMTS

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός συστήματος UMTS. Όπως βλέπουμε αποτελείται από το UE (User Equipment), το UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) και από το κεντρικό δίκτυο CN (Core Network).



Αρχιτεκτονική UMTS Συστήματος

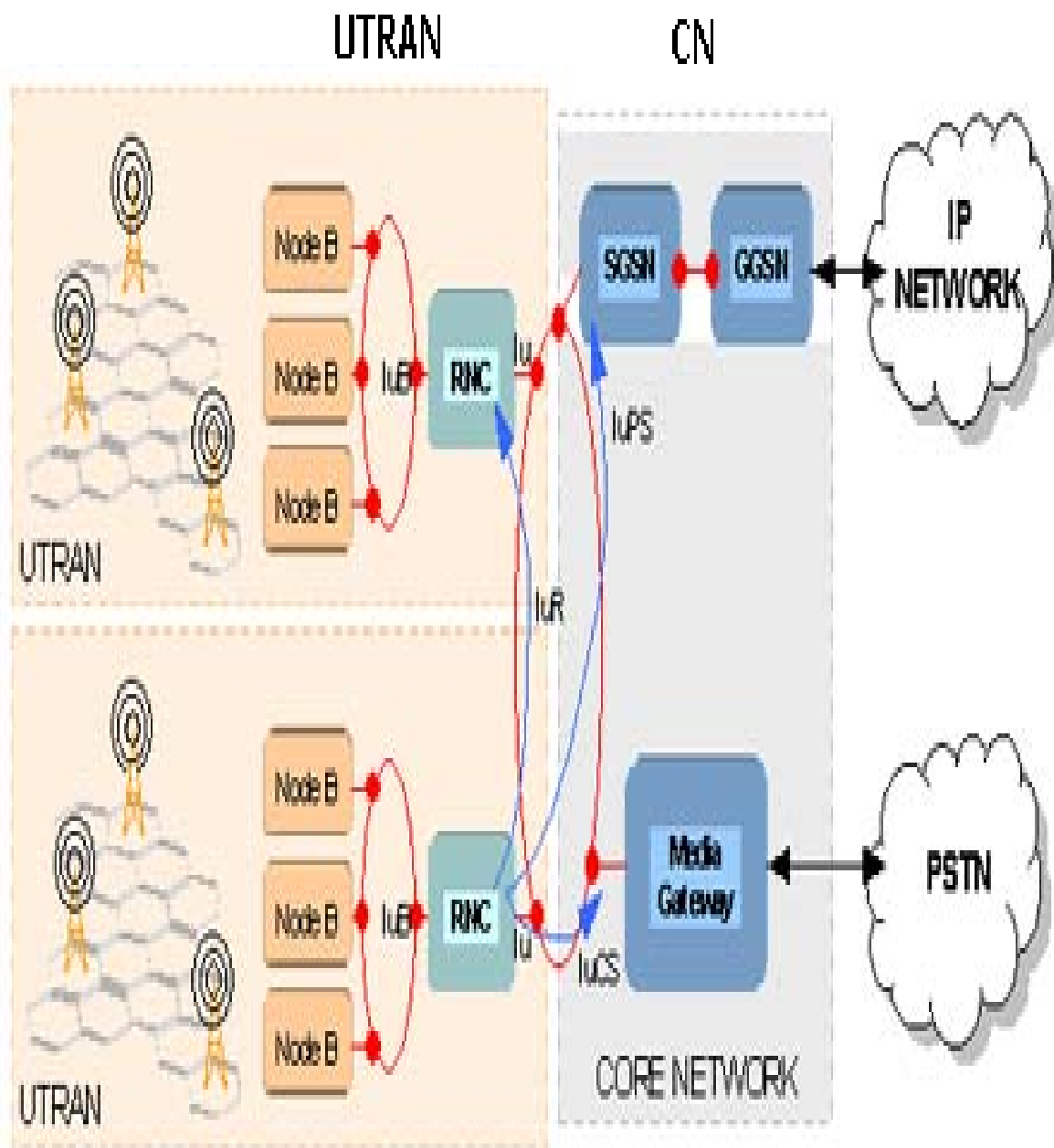
A) User Equipment (UE) : Το UE για το UMTS/WCDMA είναι ισοδύναμο με τον κινητό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στα δίκτυα GSM. Ουσιαστικά είναι το τηλέφωνο, αν και έχοντας πρόσβαση στις πολύ υψηλότερες μεταδόσεις στοιχείων ταχύτητας, μπορεί να είναι πιο ευπροσάρμοστο, περιέχοντας πολλές περισσότερες εφαρμογές. Αποτελείται από ποικίλα διαφορετικά στοιχεία συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων κυκλώματος RF, της επεξεργασίας, της κεραίας, της μπαταρίας, κ.λπ. Η μορφή της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται για W-CDMA απαιτεί τη χρήση ενός γραμμικού ενισχυτή. Αυτοί παίρνουν πιο πολύ ρεύμα από τους μη γραμμικούς ενισχυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μορφή της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται στο GSM. Αναλόγως για να διατηρήσουν τη ζωή μπαταριών λήφθηκαν μέτρα σε πολλά από τα σχέδια για να εξασφαλίσουν την μέγιστη αποδοτικότητα. Το UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με παραπάνω από μία κυψέλη.

Το UE αποτελείται από δύο μέρη:

- Το **Mobile Equipment**: αποτελείται από το ίδιο το hardware της φορητής συσκευής.
- Την **κάρτα USIM (Καθολικό Μοντέλο Ταυτότητας Χρήστη)**: Η κάρτα USIM είναι μία κάρτα αντίστοιχη της κάρτας SIM των δικτύων GSM. Η χωρητικότητα μίας κάρτας SIM είναι 8 ή 32 Kbytes ενώ η χωρητικότητα της κάρτας USIM μπορεί να φτάσει το μέγεθος των MB. Η κάρτα USIM περιέχει το διεθνή αριθμό ταυτότητας συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας (IMSI) καθώς επίσης και τον διεθνή ISDN αριθμό κινητού σταθμού (MSISDN). Άλλες πληροφορίες που το USIM φυλάσσει περιλαμβάνουν την προτιμημένη γλώσσα για να επιτρέψουν στις σωστές γλωσσικές πληροφορίες να παρουσιαστούν, ειδικά όταν ταξιδεύει ο χρήστης στο εξωτερικό, και έναν κατάλογο με τα διαθέσιμα ή απαγορευμένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (PLMN). Το USIM περιέχει επίσης μια μικρή περιοχή αποθήκευσης μηνυμάτων που επιτρέπει στα μηνύματα να

παραμένουν στον χρήστη ακόμα και όταν αυτός αλλάξει τηλέφωνο. Ομοίως οι αριθμοί κινητών και οι πληροφορίες κλήσης των αριθμών εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων καταχωρούνται στην USIM.

B) UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) : Το UTRAN είναι ένα δίκτυο ασύρματης πρόσβασης σχεδιασμένο για το UMTS. Η βασικότερη λειτουργία του UTRAN είναι η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου. Το UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs (σε ένα απλό Radio access Network έχουμε ένα μόνο RNC). Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσότερων κελιών. Οι ομάδες Nodes B συνδέονται, μέσω της διεπαφής Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις πάνω στην ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσεων προς τα UEs και δίνει αναφορές στον RNC. Ο κόμβος RNC μαζί με τους συνδεδεμένους κόμβους Node Bs αποτελούν ένα RNS – Radio Network Subsystem. Ο RNC συλλέγει τις πληροφορίες που λαμβάνει από τους συνδεδεμένους σε αυτόν κόμβους Node B και προσαρμόζει τις παραμέτρους του ασύρματου συστήματος (π.χ. η ισχύς του ασύρματου σχήματος προς τη συσκευή). Επίσης, ο RNC είναι υπεύθυνος για την ανάθεση του κώδικα WCDMA που θα χρησιμοποιήσουν ο Node B και το UE στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Άλλη μια λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα, προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur. Επίσης οι κόμβοι RNC συνδέονται μέσω μιας διεπαφής Iu, με το κεντρικό δίκτυο CN. Η διεπαφή Iu περιλαμβάνει δύο συνιστώσες : τη συνιστώσα Iu-PS (Iu-Circuit Switched) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (φωνή) και τη συνιστώσα Iu-PS (Iu-Packet Switched) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (υπηρεσίες δεδομένων).



Δομή UTRAN

Γ) Core Network (CN) : Το CN είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή και δρομολόγηση των συνδέσεων προς τα εξωτερικά δίκτυα κλήσεων (όπως το PSTN) και δεδομένων (PDNs – Public Data Networks). Το CN είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών καθώς και για άλλες πολλές βασικές λειτουργίες. Κάθε CN διαιρείται σε δύο πεδία: το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) και το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS).

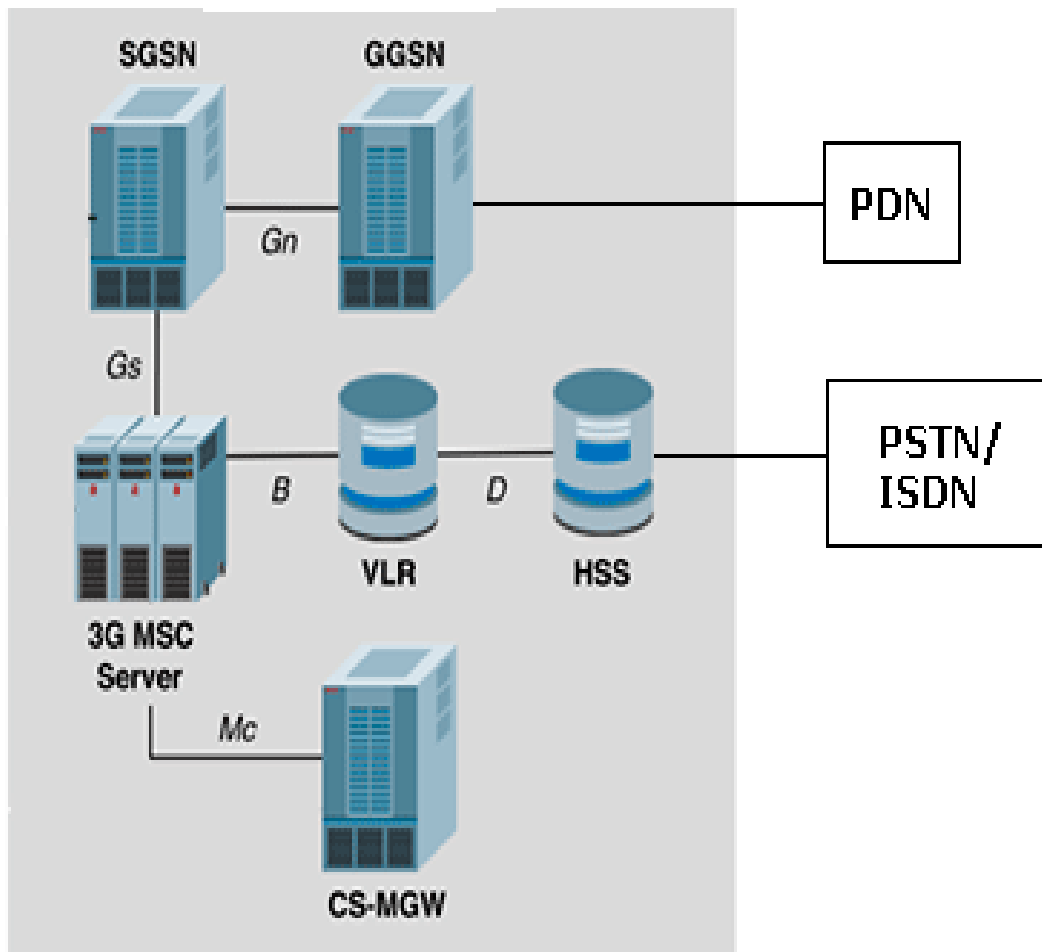
Το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος CS περιλαμβάνει :

- **Mobile Services Switching Center (MSC):** ο κόμβος MSC είναι ένας κόμβος μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Οι κόμβοι MSC διαχειρίζονται πολλά RNCs τα οποία μέσω της διεπαφής Iu-CS συνδέονται σε αυτούς. Επίσης ο κάθε κόμβος MSC είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων Visitor Location Register (VLR).
- **Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC):** Ο κόμβος GMSC είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC και διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.
- **Visitor Location Register (VLR):** Ο κόμβος VLR αποτελεί μια βάση δεδομένων. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC (στον οποίο αντιστοιχεί ο κόμβος VLR). Η βάση VLR λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της.
- **Home Subscriber Server (HSS) :** Αποτελεί τη βασική βάση δεδομένων του χρήστη, καθώς περιέχει τις πληροφορίες συνδρομής για την πραγματοποίηση των κλήσεων.

Το πεδίο Packet Switched (PS) περιλαμβάνει :

- **Serving GPRS Support Node (SGSN):** Ο SGSN αποτελεί τον αντίστοιχο κόμβο του MSC στο πεδίο CS. Αναλαμβάνει τη δρομολόγηση δεδομένων των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων εντός του δικτύου UMTS. Επιπλέον, διαχειρίζεται τους κόμβους RNCs οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-PS. Επίσης αλληλεπιδρά με βάσεις δεδομένων, όπως τη βάση HLR και τη VLR.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN):** Πρόκειται για έναν κόμβο αντίστοιχο του GMSC του πεδίου CS. Διασυνδέει τους κόμβους SGSNs με εξωτερικά δίκτυα πακέτων όπως το Internet και το X.25 (βλέπε GSM).

Core Network

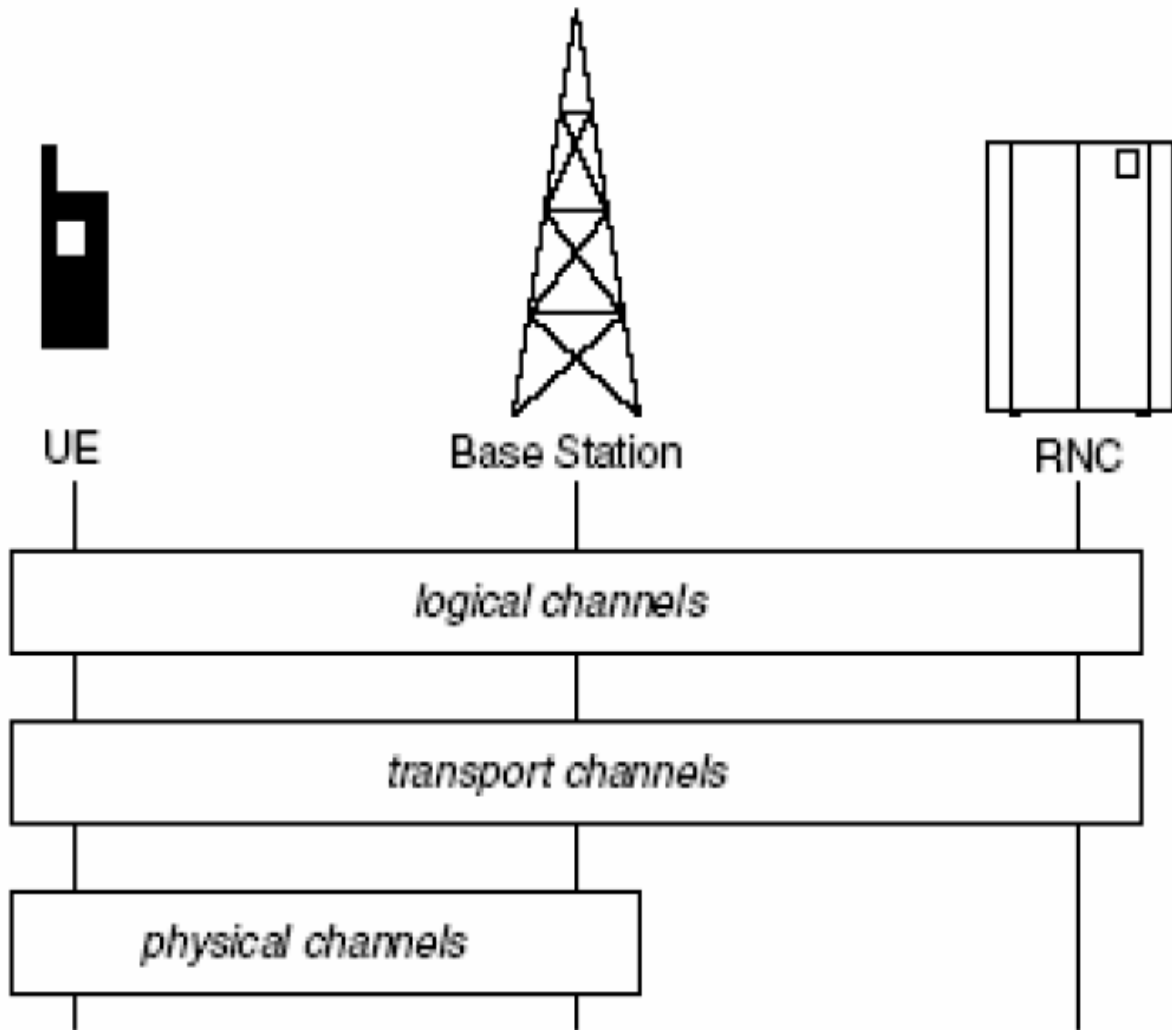


Δομή Core Network (CN)

Η **διεπαφή Uu** πρόκειται για μια ραδιοκυματική διεπαφή του WCDMA. Πρόκειται για τη διεπαφή μέσω της οποίας ο εξοπλισμός του χρήστη (User Equipment) έχει πρόσβαση στο σταθερό τμήμα του συστήματος και για το λόγο αυτό η λειτουργία της αποτελεί τη βασικότερη διεπαφή στο δίκτυο UMTS. Η **διεπαφή Iu** χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση του UTRAN με το Core Network και δίνει τη δυνατότητα στους παροχής του UMTS να αποκτήσουν το UMTS και CN από διαφορετικούς κατασκευαστές. Η **διεπαφή Iub** πρόκειται για μια ενσύρματη διεπαφή η οποία συνδέει ένα κόμβο Node B με τους κόμβους RNC. Η **διεπαφή Iur** είναι υπεύθυνη για τη διασύνδεση των RNCs. Η διεπαφή αυτή χρησιμοποιείται στα UMTS δίκτυα σε αντίθεση με τα GSM όπου δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ των κόμβων αυτών και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων και πληροφορίας.

5.5.3 Κανάλια UTRAN

Στο UTRAN υπάρχουν τρία είδη καναλιών : Τα λογικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα φυσικά κανάλια.



Δομή καναλιών UMTS

Λογικά Κανάλια

Τα λογικά κανάλια χρησιμοποιούνται στη διεπαφή μεταξύ των επιπέδων RLC και MAC (ο ρόλος του πρωτοκόλλου MAC είναι να αντιστοιχίζει τα λογικά κανάλια σε κανάλια μεταφοράς) και προσδιορίζουν τον τύπο της πληροφορίας που μεταδίδεται. Τα κανάλια αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες: τα κανάλια ελέγχου και τα κανάλια κίνησης. Στη συνέχεια,

ένα κανάλι ελέγχου μπορεί να είναι είτε κοινό είτε αφιερωμένο. Κοινά λέγονται τα κανάλια point-to-multipoint, ενώ αφιερωμένα λέγονται τα κανάλια point-to-point, δηλαδή αυτά που χρησιμοποιούνται μόνο από ένα χρήστη. Τα λογικά κανάλια ελέγχου είναι :

- **Broadcast control channel (BCCH)** : Είναι ένα downlink κανάλι που μεταφέρει όλες τις πληροφορίες του γενικού συστήματος που χρειάζεται το UE για να επικοινωνήσει με το δίκτυο.
- **Paging control channel(PCCH)** : Είναι ένα κανάλι downlink που μεταφέρει πληροφορίες σελίδας από το δίκτυο για να πληροφορήσει το χρήστη ότι υπάρχει αίτημα επικοινωνίας
- **Dedicated Control Channel (DCCH)** : Είναι ένα κανάλι διπλής κατεύθυνσης για μεταφορά πληροφοριών αφιερωμένου ελέγχου.
- **Common Control Channel (CCCH)** : Είναι ένα κανάλι διπλής κατεύθυνσης για τη μεταφορά πληροφοριών ελέγχου μεταξύ του δικτύου και των εξοπλισμών των χρηστών (UE).

Τα λογικά κανάλια κίνησης είναι :

- **Dedicated Traffic Channel (DTCH)** : Είναι αφιερωμένο κανάλι για τη μεταφορά πληροφοριών για ένα UE.
- **Common Traffic Channel (CTCH)** : Είναι ένα κατερχόμενο κανάλι point-to-multipoint για μεταφορά πληροφοριών για όλους ή μία ομάδα UEs.

Κανάλια Μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφερθούν τα δεδομένα από το επίπεδο φυσικού μέσου. Τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται στη διεπαφή που βρίσκεται μεταξύ του πρωτοκόλλου MAC και του αμέσως κατώτερου επιπέδου. Τα κανάλια μεταφοράς χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : Τα κοινά κανάλια (common channels) και τα αφιερωμένα (dedicated channels).

Τα κοινά κανάλια είναι :

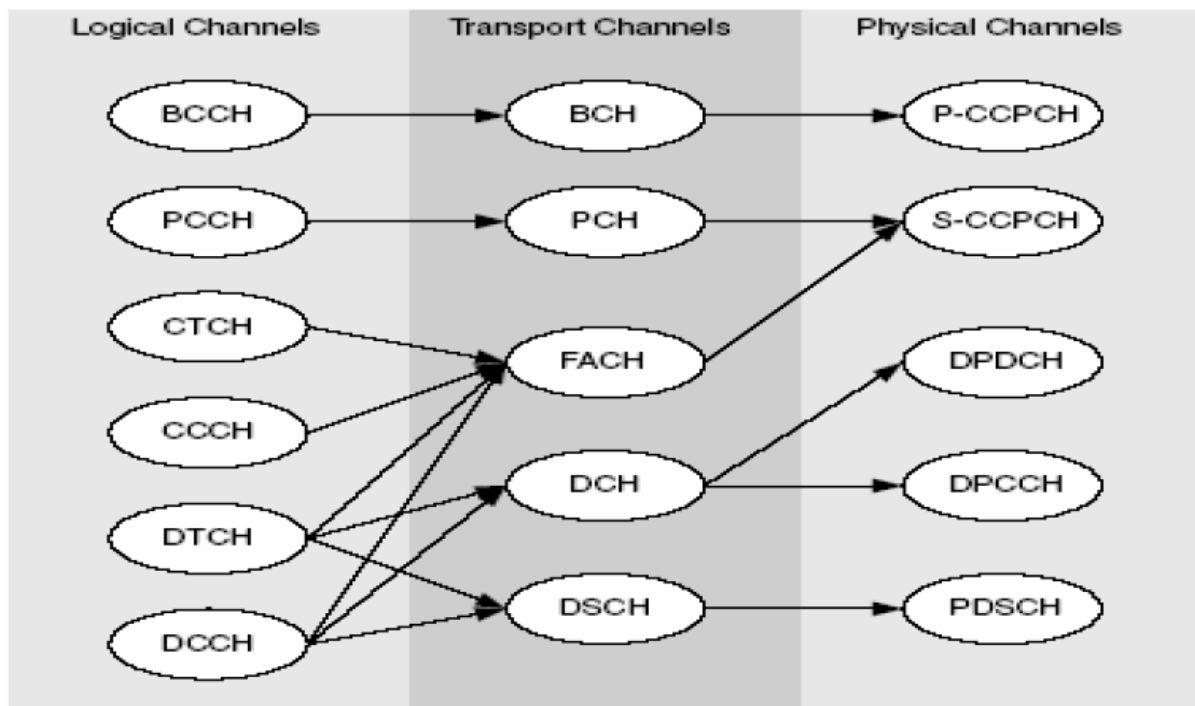
- **Broadcast Channel (BCH)** : Κατερχόμενο κανάλι για broadcasting πληροφοριών
- **Paging Channel (PCH)** : Κατερχόμενο κανάλι μεταφορά πληροφορίας paging
- **Random Access Channel (RACH)** : Ανερχόμενο κανάλι για αρχική πρόσβαση στο δίκτυο
- **Common Packet Channel (CPCH)** : Ανερχόμενο κανάλι για μετάδοση καταιγιστικής πληροφορίας.
- **Forward Access Channel (FACH)** : Κατερχόμενο κανάλι για μετάδοση μικρών ποσοτήτων πληροφορίας
- **Downlink Shared Channel (DSCH)** : Κατερχόμενο κανάλι για μεταφορά αφιερωμένων δεδομένων ελέγχου και κίνησης.

- **High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)** : Κατερχόμενο κανάλι βελτιστοποιημένο για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Το κανάλι HS-DSCH υποστηρίζει άμεση προσαρμοστικότητα της ισχύος. Το κανάλι αυτό υλοποιεί την τεχνολογία High-Speed Downlink Packet Access (HSPDA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτερη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης.
- **Uplink Shared Channel (USCH)** : Ανερχόμενο κανάλι για μεταφορά αφιερωμένων δεδομένων ελέγχου και κίνησης.

Στα αφιερωμένα κανάλια έχουμε το **Dedicated Channel (DCH)**, το οποίο είναι κανάλι διπλής κατεύθυνσης αφιερωμένο αποκλειστικά σε ένα UE. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα DCH δεσμευθεί είτε ως ανερχόμενος είτε ως κατερχόμενος σύνδεσμος, τότε πρέπει να δεσμευθεί και για την αντίθετη κατεύθυνση.

Φυσικά Κανάλια

Τα φυσικά κανάλια προσδιορίζουν τα ακριβή χαρακτηριστικά του φυσικού μέσου. Αυτό οφείλεται ότι στο γεγονός ότι τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται στο επίπεδο φυσικού μέσου της ασύρματης επαφής. Το φάσμα συχνοτήτων που διατίθεται σε αυτά τα κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους και έτσι με βάση τον τρόπο διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων τα φυσικά κανάλια διαχωρίζονται σε FDD και TDD φυσικά κανάλια.



Τύποι καναλιών UTRAN

5.5.4 Μετάδοση πακέτων

Για να μπορέσει μια κινητή συσκευή να ανταλλάξει δεδομένα με ένα PDN (Private Data Network) θα πρέπει να υπάρξει μια εικονική σύνδεση μεταξύ της συσκευής και του PDN. Η μετάδοση πακέτων μεταξύ της κινητής συσκευής και του PDN γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου PDP (Packet Data Protocol). Για κάθε σύνοδο του εξοπλισμού του χρήστη (κινητή συσκευή), δημιουργείται μια δομή PDP, που περιέχει τις παραμέτρους της συνόδου (διευθύνσεις εμπλεκόμενων κόμβων, επίπεδο QoS κ.α.). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για τη δομή του PDP και για τη μεταφορά δεδομένων είναι το GTP (GPRS Tunnelling Protocol). Το πρωτόκολλο αυτό βασίζεται στο IP που χρησιμοποιείται στα UMTS δίκτυα και αρχικά δημιουργήθηκε από τον οργανισμό ETSI για το GSM. Αργότερα το πρωτόκολλο αυτό τροποποιήθηκε από τον οργανισμό 3GPP για τη χρησιμοποίησή του στα UMTS δίκτυα. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές κατηγορίες του πρωτοκόλλου GTP : GTP-C, η GTP-U και η GTP'. Το πρωτόκολλο GTP-C χρησιμοποιείται στο CN για τη σηματοδότηση μεταξύ των SGSNs και των GGSNs και ο ρόλος του είναι να διαχειριστεί μία δομή PDP (μπορεί να ενεργοποιήσει μια σύνοδο για ένα συγκεκριμένο χρήστη, να την απενεργοποιήσει, να ρυθμίσει τις παραμέτρους του QoS και να ανανεώσει μια σύνοδο ενός συνδρομητή που προέρχεται από διαφορετικό SGSN). Το πρωτόκολλο GTP-U χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των πακέτων πληροφορίας μέσα στο Core Network – CN ή μεταξύ του UTRAN και του CN. Τα δεδομένα του χρήστη μπορεί να μεταφερθούν σε μορφή IPv4, IPv6 και PPP. Το πρωτόκολλο GTP' χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων χρέωσης του συνδρομητή από τους κόμβους SGSNs και GGSNs προς το μηχανισμό χρέωσης του δικτύου.

5.5.5 Συχνότητες UMTS

Υπάρχουν έξι ζώνες που προσδιορίζονται για τη χρήση του UMTS/WCDMA αν και η λειτουργία σε άλλες συχνότητες δεν αποκλείεται. Εντούτοις ένα μεγάλο μέρος της εστίασης για το UMTS είναι για συχνότητες γύρω από τα 2 GHz. Στην παγκόσμια διοικητική ράδιο διάσκεψη το 1992, οι ζώνες των 2110 - 2200 MHz και 1885 - 2025 MHz τέθηκαν κατά μέρος για τη χρήση σε παγκόσμια βάση από τις υπηρεσίες που επιθυμούν να εφαρμόσουν τη διεθνές κινητή τηλεπικοινωνία-2000 (IMT-2000). Ο στόχος ήταν ότι η δέσμευση του φάσματος σε παγκόσμια βάση θα διευκόλυνε την εύκολη περιπλάνηση για τους χρήστες UMTS/WCDMA. Μέσα σε αυτές τις ζώνες οι παρακάτω συχνότητες έχουν δεσμευτεί για διαφορετικές χρήσεις:

- Οι ζώνες 1920 – 1980MHz και 2110 – 2170MHz είναι για FDD.
- Οι ζώνες 1900 – 1920MHz και 2010 – 2025 MHz είναι για TDD
- Οι ζώνες 1980 – 2010MHz και 2170 – 2200 MHz είναι για δορυφορικές uplink και downlink συνδέσεις.

Οι συχνότητες φέροντος υποδεικνύονται από έναν απόλυτο αριθμό καναλιών ραδιοσυχνότητας UTRA (UARFCN). Αυτός ο αριθμός μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$\text{UARFCN} = 5 \times (\text{συχνότητα σε MHz})$$

Το UMTS χρησιμοποιεί ευρείας ζώνης CDMA ως μηχανισμό ραδιομεταφορών. Τα κανάλια χωρίζονται με ένα κενό διάστημα των 5 MHz. Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται είναι διαφορετική στο uplink και στο downlink. Το downlink χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση μετατόπισης φάσης 90 μοιρών (QPSK) για όλα τα κανάλια μεταφορών. Εντούτοις το uplink χρησιμοποιεί δύο χωριστά κανάλια έτσι ώστε η μετάβαση του εκπομπού από on σε off να μην προκαλεί παρεμβολές στις ηχητικές γραμμές, ένα πρόβλημα που εμφανιζόταν και στο GSM. Τα διπλά κανάλια (διπλή διαμόρφωση μετατόπισης φάσης καναλιών) επιτυγχάνονται χάρις την εφαρμογή των κωδικοποιημένων στοιχείων χρηστών στην in-phase είσοδο του διαμορφωτή DQPSK, και το στοιχείο ελέγχου που έχει κωδικοποιηθεί χρησιμοποιώντας έναν διαφορετικό κώδικα στο q ή τη φάση 90 μοιρών που εισάγεται στο διαμορφωτή.

5.5.6 Χαρακτηριστικά UMTS

Τα δίκτυα UMTS διέπονται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Πολυμέσα – Ψυχαγωγία
- Υπηρεσίες Δεδομένων
- Υπηρεσίες ρυθμού μετάδοσης άνω των 200kbps (κυρίως με τη χρήση HSDPA και HSUPA)
- Υποστήριξη υψηλής πυκνότητας χρηστών
- Μικρές και άνετες συσκευές
- Συμβατότητα με δορυφορικά και οικιακά ασύρματα δίκτυα
- Ομιλία υψηλής ποιότητας
- Παγκόσμια περιαγωγή
- Υπηρεσίες νοήμονος δικτύου
- Εναλλαγή μεταξύ φορέων πραγματικού χρόνου και όχι

Αν και τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά των UMTS δικτύων καλύπτονται και από τα GSM δίκτυα, κάποια από αυτά ισχύουν μόνο στα UMTS δίκτυα χάρις στην πιο ευέλικτη διεπαφή CDMA που χρησιμοποιούν τα UMTS δίκτυα, έτσι ώστε μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικούς τύπους φορέα ταυτόχρονα.

5.5.7 High Speed Packet Access (HSPA)

Το HSPA (High Speed packet Access) είναι μια συλλογή πρωτοκόλλων κινητής τηλεφωνίας τα οποία επεκτείνουν και βελτιώνουν τις επιδόσεις των υπαρχόντων δικτύων UMTS. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα πρότυπα HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) και HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), ενώ στη συνέχεια δημιουργήθηκε το HSPA+.

Το HSUPA προσφέρει βελτιωμένες επιδόσεις uplink μέχρι 5.76 Mbit/s θεωρητικά. Πρακτικά στη Σιγκαπούρη η εταιρία Starhub ανακοίνωσε τον Αύγουστο του 2007 την έναρξη υπηρεσίας HSUPA της τάξης των 1.9 Mbit/s . Επίσης, την ίδια εποχή η Φιλανδική εταιρία Elisa έθεσε στην αγορά τη λειτουργία HSPUA της τάξης των 1.4 Mbit/s. Τέλος στην Ιταλία ανακοινώθηκε τον Ιούλιο του 2008 από την εταιρία Ericsson μια σειρά από επιτυχημένα τεστ πάνω στην υπηρεσία HSPUA με ανερχόμενο ρυθμό 5.8 Mbit/s. Το HSDPA προσφέρει θεωρητικά κατερχόμενο ρυθμό μετάδοσης (downlink) 14.4 Mbit/s. Η βασική ιδέα του HSDPA είναι η προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλούς ρυθμούς

μετάδοσης. Πρόκειται για το κανάλι High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση του ρυθμού απόδοσης (throughput) μόνο του κατερχόμενου συνδέσμου. Στο κανάλι αυτό έχουν ενσωματωθεί διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτιστοποίησή των δυνατοτήτων του όσον αφορά ρυθμό μετάδοσης. Πρακτικά, στις περισσότερες χώρες χρησιμοποιείται λειτουργία HSDPA με ρυθμό 7,2 Mbit/s.

5.6 CDMA2000

Τα δίκτυα cdma 2000 είναι κυρίως αναπτυγμένα στην Ασία και στην Αμερική. Είναι μια υβριδική 2.5G/3G τεχνολογία από πρότυπα κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιούν το CDMA. Θεωρείται ως 2G τεχνολογία για το 1xRTT και 3G τεχνολογία για το EVDO. Το CDMA2000 έχει αρκετά μεγάλη ιστορία ανάπτυξης και παραμένει συμβατό με παλιότερες μεθόδους CDMA. Τα πρότυπα του CDMA2000 είναι το CDMA2000 1xRTT, το CDMA2000 EV-DO και το CDMA2000 EV-DV. Το CDMA2000 έχει κατοχυρωθεί από το TIA-USA (Οργανισμός Βιομηχανιών Τηλεπικοινωνιών Αμερικής) αλλά όχι σαν γενικός όρος όπως το CDMA. Το CDMA2000 θεωρείται ανταγωνιστής με ένα άλλο πρότυπο 3G, το UMTS. Έχει οριστεί να λειτουργεί στις συχνότητες των 450MHz, 700 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz και 2100 MHz.

5.6.1 CDMA2000 1xRTT

Το πρότυπο CDMA2000 1xRTT είναι ο πυρήνας του CDMA2000 για το ασύρματο δίκτυο και είναι αλλιώς γνωστό ως 1x, 1xRTT και IS-2000. ο δείκτης 1x δείχνει το ίδιο εύρος συχνοτήτων RF με αυτό του IS-95: ένα διπλό ζευγάρι ράδιο-καναλιών συχνότητας 1.25MHz, σε αντίθεση με το 3xRTT που χρησιμοποιεί κανάλια 3 φορές πιο πλατιά (3.75MHz). Το 1xRTT σχεδόν διπλασιάζει την χωρητικότητα του IS-95, προσθέτοντας 64 επιπλέον κανάλια κυκλοφορίας στον αρχικό αριθμό των υπάρχοντων 64 καναλιών. Αν και είναι ικανό για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, οι περισσότερες εφαρμογές του περιορίζονται στα 144 Kbit/s. Το 1xRTT θεωρείται τυπικά 3G τεχνολογία αν και πολλοί το θεωρούν ως 2G τεχνολογία. Αυτό του επιτρέπει να λειτουργεί στο 2G φάσμα σε κάποιες χώρες που περιορίζουν το φάσμα σε κάποια 3G συστήματα.

5.6.2 CDMA2000 3x (ή EV-DO)

Το CDMA2000 3x ή αλλιώς CDMA2000 EV-DO είναι το 2ο πρότυπο του CDMA2000 για την ασύρματη εκπομπή δεδομένων μέσω ράδιο-σημάτων. Χρησιμοποιεί τεχνικές πολυπλεξίας όπως το CDMA και TDMA, για να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου προς το τελικό χρήστη. Αρχικά σχεδιάστηκε ως μια εξέλιξη του CDMA2000 (IS 2000) για να αυξηθούν οι ρυθμοί μετάδοσης. Έχει το ίδιο εύρος καναλιού με το CDMA2000 1xRTT (1.25MHz) αλλά η δομή των καναλιών είναι αρκετά διαφορετική με το 1xRTT. Μέχρι τώρα έχουν βγει αρκετές αναβαθμίσεις και εκδόσεις του 3x με την παλαιότερη να είναι η Έκδοση 0 (Rev 0) να ακολουθεί η Έκδοση A (Rev A) και τελικά το 2006 να βγαίνει η Έκδοση B (Rev B). Η αναβάθμιση από Rev A σε Rev B απαιτεί αναβάθμιση στο λογισμικό των σταθμών βάσης και επιπλέον εξοπλισμό για τα νέα EV-DO σήματα φορείς.

A) CDMA2000 3x (ή EV-DO rev 0)

Το αρχικό σχέδιο του CDMA2000 EV-DO αναπτύχθηκε το 1999 για να καλύψει τις ανάγκες για μεγαλύτερες ταχύτητες downlink. Αρχικά το πρότυπο είχε την ονομασία HDR (High Data Rate) αλλά αργότερα μετονομάστηκε από το ITU με την κωδική ονομασία TIA-856. Το κύριο χαρακτηριστικό που διαχωρίζει ένα κανάλι EV-DO από ένα κανάλι 1xRTT είναι ότι το πρώτο χρησιμοποιεί πολυπλεξία χρόνου για επικοινωνία από τον σταθμό βάσης προς το κινητό (forward link). Αυτό σημαίνει πως ένα κινητό θα έχει όλο το forward link στην διάθεσή του σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή σε μία δεδομένη χρονική ζώνη. Χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνική το EV-DO είναι σε θέση να διαμορφώσει την χρονική ζώνη κάθε χρήστη ανεξάρτητα. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες που βρίσκονται σε καλές RF συνθήκες να εξυπηρετούνται με πολύπλοκες τεχνικές διαμόρφωσης, αλλά και οι χρήστες που δεν βρίσκονται σε καλές RF συνθήκες να εξυπηρετούνται με πιο απλές τεχνικές διαμόρφωσης.

Το κανάλι προώθησης (forward) είναι χωρισμένο σε ζώνες, η διάρκεια των οποίων είναι 1.667ms για κάθε μία. Επιπλέον τα overhead κανάλια διαπλέκονται μέσα στην ροή. Αυτά περιλαμβάνουν το pilot (ένα κανάλι που βοηθά το κινητό να βρει και να αναγνωρίσει το κανάλι), το κανάλι πρόσβασης πληροφοριών (Media Access Channel ή MAC) το οποίο ενημερώνει την συσκευή για το πότε να περιμένει δεδομένα και το κανάλι ελέγχου (Control Channel) που περιέχει πληροφορίες για το δίκτυο τις οποίες πρέπει να γνωρίζουν οι τερματικές συσκευές.

Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με ένα κινητό εξαρτάται από το ίδιο το κινητό. Ανάλογα τη κυκλοφορία του καναλιού και την ισχύς του σήματος λήψης, το ίδιο το κινητό κάνει μια εκτίμηση του μέγιστου ρυθμού δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει χωρίς να αυξηθεί το ποσοστό σφάλματος πάνω από το όριο του 1%-2%. Ύστερα στέλνει αυτήν την πληροφορία πίσω στον τομέα υπηρεσίας με την μορφή ενός ακεραίου από το 1 ως το 12 στο κανάλι ελέγχου ψηφιακού ρυθμού (DRC). Εναλλακτικά το κινητό μπορεί να επιλέξει ένα μηδενικό ρυθμό (DRC 0), δείχνοντας ότι η συσκευή είτε δεν μπορεί να αποκωδικοποιήσει δεδομένα αυτήν την στιγμή ή ότι προσπαθεί να επικοινωνήσει με κάποιον τομέα υπηρεσιών.

Οι DRC τιμές έχουν ως ακολούθως:

Τιμή DRC	Ρυθμός Μετάδοσης (Kbps)	Θυρίδες σχεδιασμού	Μέγεθος Φορτίου (bits)	Ρυθμός Κωδικοποίησης	Διαμόρφωση	SNR
1	38.4	16	1024	1/5	QPSK	-12
2	76.8	8	1024	1/5	QPSK	-9.6
3	153.6	4	1024	1/5	QPSK	-6.8
4	307.2	2	1024	1/5	QPSK	-3.9
5	307.2	4	2048	1/5	QPSK	-3.8
6	614.4	1	1024	1/3	QPSK	-0.6
7	614.4	2	2048	1/3	QPSK	-0.8
8	921.6	2	3072	1/3	8-PSK	1.8
9	1228.8	1	2048	2/3	QPSK	3.7
10	1228.8	2	4096	1/3	16-QAM	3.8
11	1843.2	1	3072	2/3	8-PSK	7.5
12	1457.6	1	4096	2/3	16-QAM	9.7

B) CDMA2000 3x (ή EV-DO rev A)

Η Έκδοση A του EV-DO κάνει αρκετές προσθήκες στο πρωτόκολλο και ταυτόχρονα διατηρεί τη συμβατότητα με την Έκδοση 0. Εισάγει αρκετές αλλαγές όπως καινούργιους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων για το forward link που κυμαίνονται από 2.45Mbit/s ως 3.1Mbit/s. Επίσης προσθέτει την δυνατότητα σε περισσότερα από ένα κινητά να μοιράζονται την ίδια χρονική ζώνη . Οι νέοι ρυθμοί φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τιμή DRC	Ρυθμός Μετάδοσης (Kbps)	Θυρίδες Σχεδιασμού	Μέγεθος Φορτίου (bits)	Ρυθμός Κωδικοποίησης	Διαμόρφωση
13	1536	2	5120	5/12	16-QAM
14	3072	1	5120	5/6	16-QAM

Πέρα από τις αλλαγές στο forward link, επίσης και το reverse link ενισχύθηκε για να υποστηρίζει μεγαλύτερης πολυπλοκότητας διαμόρφωση. Επίσης προστέθηκε και ένα δεύτερο πιλοτικό κανάλι το οποίο ενεργοποιείται από το κινητό όταν προσπαθεί να επιτύχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Το reverse link έχει μέγιστο ρυθμό τα 1.8Mbit/s, αλλά υπό κανονικές συνθήκες οι χρήστες συνήθως χρησιμοποιούν ταχύτητες της τάξης των 500-700Kbit/s.

Γ) CDMA2000 3x (ή EV-DO rev B)

Το CDMA2000 3x ή αλλιώς CDMA2000 EV-DO rev B είναι μια εξέλιξη της προηγούμενης προδιαγραφής (rev A). Περιέχει όλες τις δυνατότητες της προηγούμενης προδιαγραφής και ταυτόχρονα παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες:

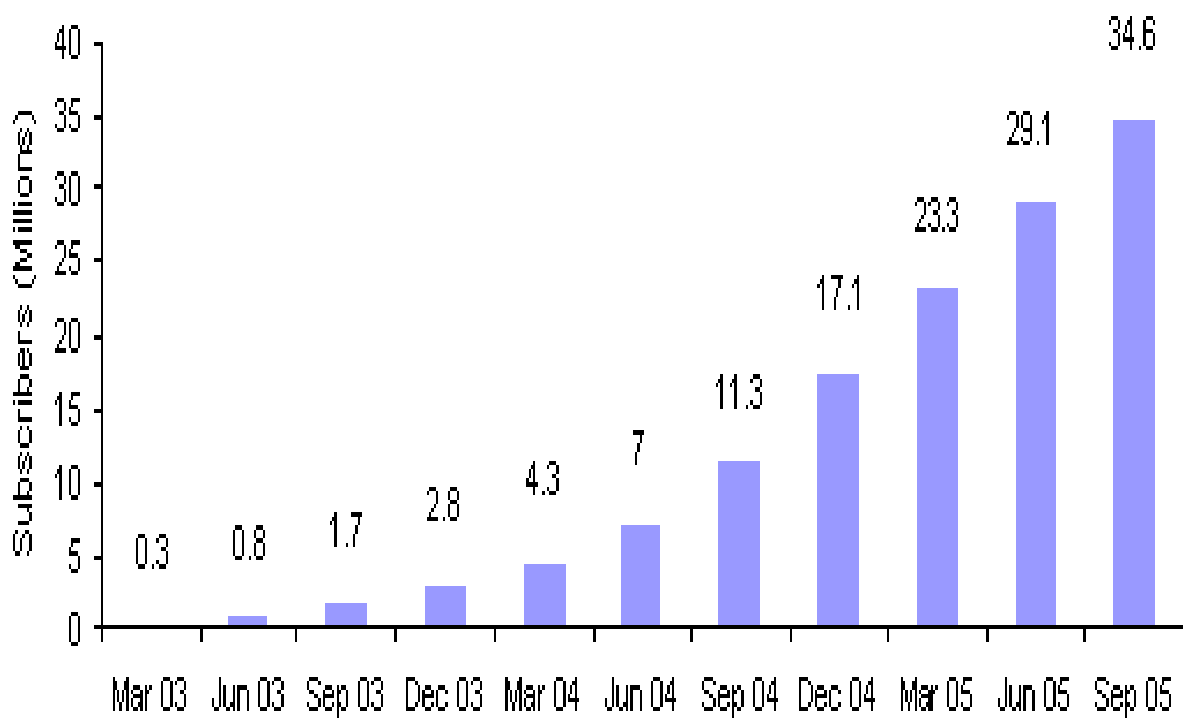
- Υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης ανά φέρον (ως 4.9Mbit/s για το φέρον του downlink) Ωστόσο για τυπικές εφαρμογές που περιέχουν 3 φέρον σήματα ο μέγιστος ρυθμός φτάνει τα 14.7Mbit/s.
- Υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης με το να ομαδοποιεί πολλαπλά κανάλια, να βελτιώνει την επικοινωνία του χρήστη με το υπόλοιπο δίκτυο και να προσφέρει νέες υπηρεσίες.
- Κάνει χρήση στατικής πολυπλεξίας μεταξύ των καναλιών ώστε να μειώσει την καθυστέρηση για υπηρεσίες που επηρεάζονται από αυτή όπως τα παιχνίδια, η βίντεο-τηλεφωνία, η απομακρυσμένη πρόσβαση και η πλοήγηση στο διαδίκτυο.
- Αυξημένοι χρόνοι ομιλίας και αναμονής κλήσης
- Υβριδική συχνότητα χρήσης η οποία μειώνει την παρεμβολή από άλλους τομείς και βελτιώνει του ρυθμούς ειδικά για τους χρήστες που βρίσκονται στα όρια της κυψέλης.
- Υποστήριξη για υπηρεσίες που έχουν ασύμμετρους ρυθμούς για download και upload, όπως μεταφορά φακέλων και πλοήγηση στο διαδίκτυο.

5.6.3 CDMA2000 EV-DV

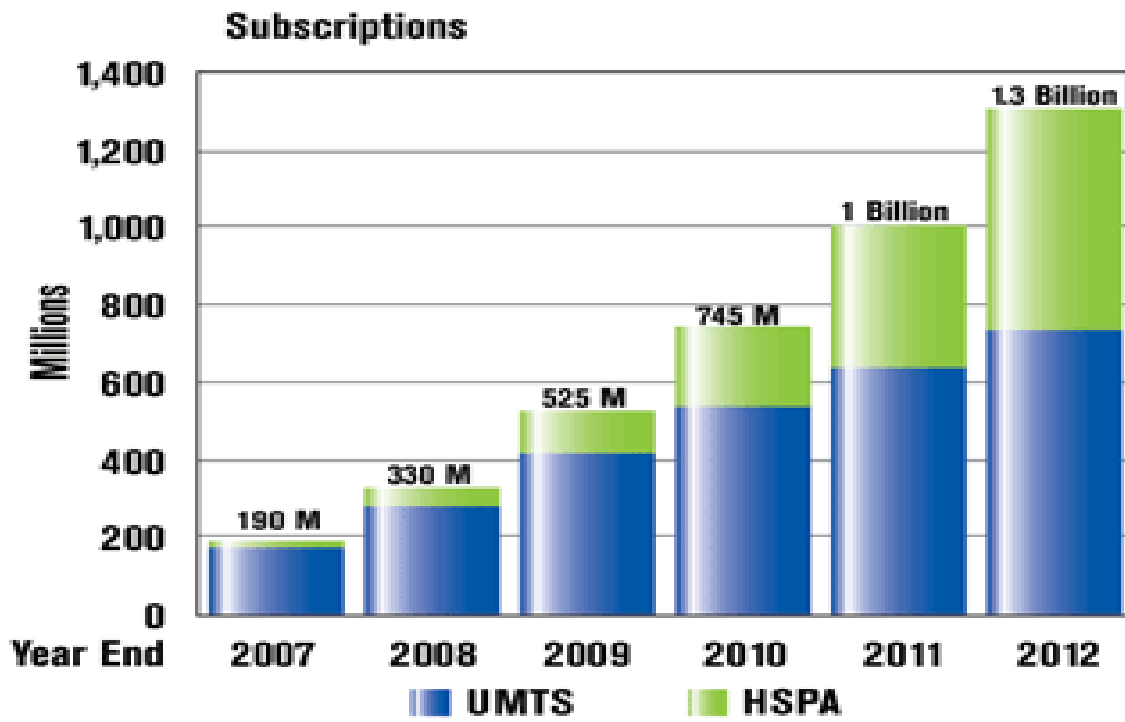
Το CDMA2000 EV-DV είναι το τρίτο πρωτόκολλο της οικογένειας CDMA2000. Υποστηρίζει ρυθμούς downlink έως και 3.1Mbit/s ενώ για το uplink ως και 1.8Mbit/s. Το EV-DV υποστηρίζει επίσης ταυτόχρονη παροχή υπηρεσιών σε χρήστες του 1x και EV-DV μέσα στο ίδιο ράδιο-κανάλι. Το 2004-2005 υπήρξε μια διαφωνία ως προς την υποστήριξη του EV-DV σε σχέση με το EV-DO. Οι παροχές που είχαν ήδη δίκτυα φωνής προτιμούσαν την ανάπτυξη του DV μιας και δεν απαιτεί επικάλυψη. Οι νεότεροι παροχές που δεν είχαν δίκτυα φωνής τύπου 1x, προτιμούσαν το EV-DO αφού δεν χρειαζόταν να είναι συμβατό με παλαιότερες εκδόσεις και έτσι έδινε μεγαλύτερη ελευθέρια στην ανάπτυξη των δικτύων. Επίσης ο εξοπλισμός για το EV-DV δεν ήταν αρκετά διαθέσιμος για να καλύψει τις ανάγκες της αγοράς σε αντίθεση με τον εξοπλισμό του EV-DO που ήταν ήδη διαθέσιμος και δοκιμασμένος προτού ακόμα ολοκληρωθεί το EV-DV πρότυπο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να προτιμηθεί το EV-DO και να σταματήσει η ανάπτυξη του EV-DV.

5.7 Σχεδιαγράμματα Ανάπτυξης 3G Συστημάτων

Στα παρακάτω σχεδιαγράμματα παρατηρούμε την εξέλιξη των 3G δικτύων, καθώς και τις μελλοντικές προβλέψεις.

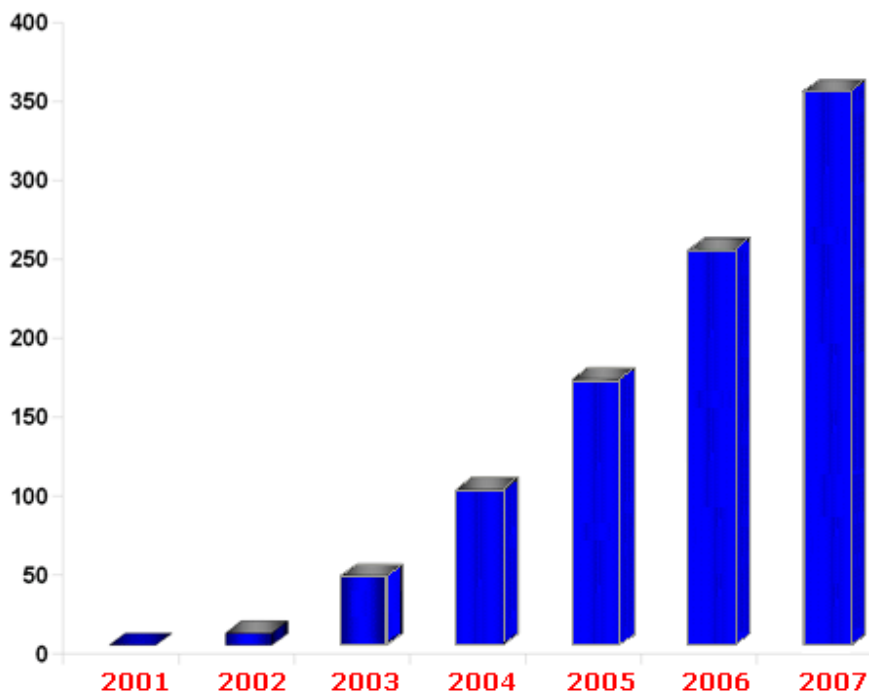


Χρήστες UMTS δικτύων μέχρι το 2005

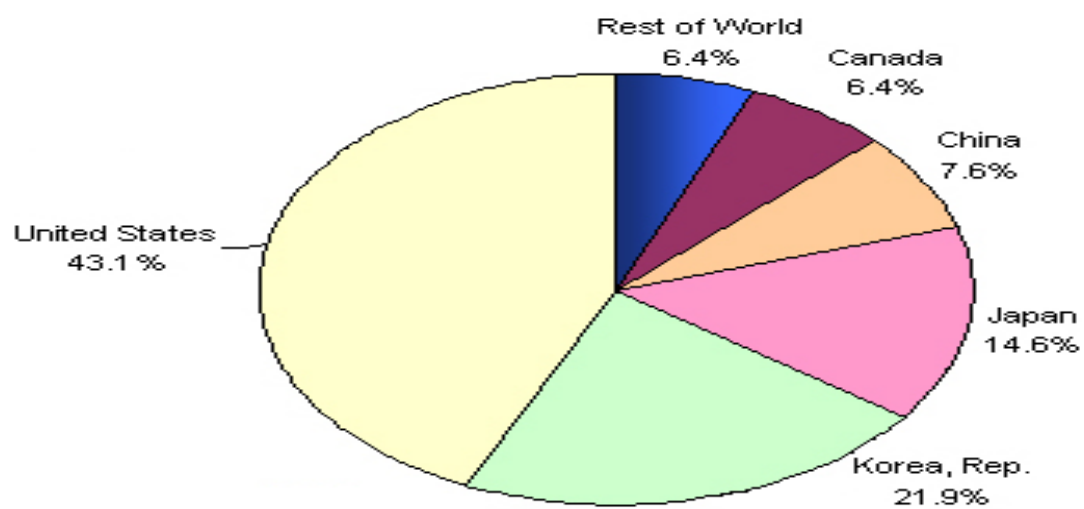


Χρήστες UMTS/HSPA μέχρι το 2012

**CDMA2000
subscribers on millions**



Συνδρομητές CDMA 2000



Ποσοστά χρήσης CDMA2000 ανά περιοχή το 2004

6. 4^H Γενεά Κινητής Τηλεφωνίας

6.1 Εισαγωγή στα 4G

Ο όρος 4G χρησιμοποιείται για να περιγράψει την επόμενη ολοκληρωμένη εξέλιξη στις ασύρματες επικοινωνίες. Ένα σύστημα 4G θα είναι σε θέση να παρέχει υψηλότερες ταχύτητες στην μεταφορά δεδομένων και φωνής από τις προηγούμενες γενιές, ενώ ταυτόχρονα θα είναι σε θέση να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας σε όλους τους χρήστες οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε αυτοί βρίσκονται. Όπως συνέβη και με τις παλαιότερες γενιές, όπου η κάθε καινούργια αντικαθιστούσε πλήρως την παλαιότερη, έτσι και το 4G δεν γίνεται να θεωρηθεί απλά ως μια εξέλιξη του 3G αλλά ως ο αντικαταστάτης του. Όλοι οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς που ασχολούνται με την εμπορική ανάπτυξη του 4G εκτιμούν πως το 4G θα αντικαταστήσει το 3G την περίοδο μεταξύ 2012-2015. Ουσιαστικά δεν υπάρχει ακριβής ορισμός για το τι είναι το 4G. Ωστόσο υπάρχουν συγκεκριμένοι στόχοι οι οποίοι προβάλλονται μέσα από το 4G. Αυτοί οι στόχοι είναι: Το 4G θα είναι βασισμένο σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα IP. Το 4G θα είναι ικανό να παρέχει ταχύτητες μεταξύ των 100Mbit/s και 1Gbit/s με όσο δυνατόν καλύτερη ποιότητα και ασφάλεια. Πολλές εταιρίες έχουν δικούς τους ορισμούς και παραλλαγές για το 4G, λέγοντας πως ήδη έχουν πρωτόκολλα 4G στην αγορά όπως το WiMAX, το οποίο όμως η ITU το έχει κατατάξει ως πρότυπο για 3G. Άλλες εταιρίες επίσης έχουν φτιάξει πρωτότυπα συστήματα τα οποία αποκαλούν 4G. Ίσως κάποιες από τις τεχνολογίες αυτές να γίνουν στο μέλλον τμήμα του 4G, αλλά από την στιγμή που δεν έχει οριστεί καν το 4G πρότυπο είναι αδύνατο για οποιαδήποτε εταιρία να προβάλει αυτές τις τεχνολογίες ως 4G. Τέτοιες δηλώσεις το μόνο που εξυπηρετούν είναι να μπερδεύουν τους αναλυτές και τους εφευρέτες της ασύρματης τεχνολογίας

6.1.1 Στόχοι Συστημάτων 4G

Το 4G αναπτύσσεται για να εξυπηρετήσει την ποιότητα υπηρεσιών (QoS) των σύγχρονων αναγκών για ταχύτερη και πιο αξιόπιστη επικοινωνία. Υπηρεσίες όπως η βίντεο-τηλεφωνία, τα MMS, η υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση, είναι όλες υπηρεσίες οι οποίες θα είναι σε θέση να αναπτυχθούν σε πλήρη εφαρμογή με τις δυνατότητες που θα παρέχει το 4G στην ασύρματη τηλεφωνία. Παρακάτω ακολουθούν οι στόχοι του 4G πρωτοκόλλου:

- Ένα σύστημα λειτουργικό σε όλο το φάσμα (σε bits/s/Hz και bits/s/Hz/site)
- Μεγάλη χωρητικότητα δικτύου: Περισσότεροι χρήστες ανά κυψέλη.
- Ρυθμός μετάδοσης των 100Mbit/s καθώς ο χρήστης μετακινείται συνεχώς σε σχέση με τον σταθμό βάσης και ταχύτητες έως και 1Gbit/s όταν ο χρήστης βρίσκεται σε καθορισμένη θέση σε σχέση με τον σταθμό βάσης.
- Ρυθμό μετάδοσης που ξεκινά τουλάχιστον από τα 100Mbit/s μεταξύ τυχαίων δύο σημείων σε όλο το πλανήτη.
- Ομαλές δοσοληψίες μεταξύ δύο ετερογενών δικτύων.
- Παγκόσμια κάλυψη σε όλα τα δίκτυα ανά τον κόσμο
- Υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την νέα γενιά πολυμέσων

- Συμβατότητα με τα υπάρχον πρότυπα κινητής επικοινωνίας
- Ένα δίκτυο βασισμένο στην IP δομή

6.1.2 Στοιχεία Προτύπου και OFDM(Orthogonal frequency-division multiplexing)

Καθώς τα ασύρματα πρωτόκολλα εξελίχθηκαν, ταυτόχρονα και οι τεχνικές πρόσβασης επέδειξαν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και προσαρμοστικότητα. Η πρώτη γενιά πρωτοκόλλων κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούσε TDMA και FDMA. Όμως το TDMA απαιτούσε πολύ χρόνο για να χειριστεί τα κανάλια με υψηλό ρυθμό μετάδοσης ενώ το FDMA απαιτούσε μεγάλο εύρος ζώνης για να αποτρέψει παρεμβολές από τα άλλα κανάλια. Στα συστήματα δεύτερης γενιάς προστέθηκε το πρωτόκολλο CDMA το οποίο αύξησε την χωρητικότητα των δικτύων και τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Το CDMA χρησιμοποιήθηκε ως τεχνική πρόσβασης και στα συστήματα τρίτης γενιάς. Το μόνο μειονέκτημά του ήταν η χαμηλή ευελιξία φάσματος.

Πρόσφατα νέα σχέδια πρόσβασης όπως το Ορθογώνιο FDMA (OFDMA), το FDMA μονού φέροντος (SC-FDMA), το MC-CDMA, IFDMA, αρχίζουν και αποκτούν μεγαλύτερη σημασία για τα συστήματα επόμενης γενιάς. Το Wimax χρησιμοποιεί OFDMA τόσο για το downlink όσο και για το uplink. Το UMTS επόμενης γενιάς, χρησιμοποιεί OFDMA για το downlink και το IFDMA για το uplink. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτών των σχεδίων πρόσβασης είναι ότι ενώ προσφέρουν μεγάλη αποτελεσματικότητα όπως και παλαιότερες τεχνολογίες, επιτυγχάνουν πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι τα παραπάνω σχέδια πρόσβασης δεν απαιτούν πολύπλοκες τεχνικές αντιστάθμισης από τον δέκτη.

OFDM

Στο πρότυπο OFDM η βασική ιδέα είναι η διαίρεση των ροών δεδομένων σε περαιτέρω ροές (υποκανάλια). Κάθε μία από αυτές τις ροές έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης από την αρχική. Στη συνέχεια οι υποροές διαμορφώνονται με χρήση κωδίκων οι οποίοι είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι. Εξαιτίας της ορθογωνιότητας τα υποκανάλια μπορούν να πλησιάζουν πολύ κοντά μεταξύ τους (ή ακόμα και να επικαλύπτονται) χωρίς να υπάρχει κίνδυνος παρεμβολής. Επίσης λόγω των χαμηλών ρυθμών μετάδοσης αποφεύγεται και το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί με πολύ αποδοτικό τρόπο το παρεχόμενο φάσμα συχνοτήτων.

6.1.3 IPv6

Σε αντίθεση με το 3G το οποίο είναι βασισμένο σε δύο παράλληλες υποδομές που αποτελούνται και από μεταστρεφόμενα κυκλώματα και από μεταστρεφόμενα πακέτα, το 4G βασίζεται μόνο σε μεταστρεφόμενα πακέτα. Αυτό απαιτεί χαμηλή καθυστέρηση στην μετάδοση δεδομένων

Μέχρι την ολοκλήρωση του 4G αναμένεται να έχουν εξαντληθεί οι διευθύνσεις του IPv4. Το πρότυπο IPv4 χρησιμοποιεί 32bit (π.χ. 192.168.0.1) και επιτρέπει τέσσερα δισεκατομμύρια διευθύνσεις IP. Έτσι επιβάλλεται η ανάπτυξη του IPv6 για να είναι σε θέση να υποστηρίξει τον τεράστιο αριθμό ασύρματων συσκευών που θα βασίζονται στο 4G. Το πρότυπο IPv6 χρησιμοποιεί 128-bit διευθύνσεις που γράφονται ως οκτώ 16-bit δεκαεξαδικοί αριθμοί Αυξάνοντας τον αριθμό των διευθύνσεων IP, το IPv6 αφαιρεί την ανάγκη για χρήση NAT (Network Address Translation), μια τεχνική η οποία επιτρέπει σε ορισμένες συσκευές να μοιράζονται μερικά IP από κοινού. Εκτός όμως από αυτό το IPv6 επιτρέπει και την λειτουργία υπηρεσιών που με μεγαλύτερη ασφάλεια, αξιοπιστία και ποιότητα. Ο μεγάλος αριθμός νέων διευθύνσεων και νέων bit διεύθυνσης που προσφέρει το IPv6 δίνει επίσης την δυνατότητα ανάπτυξης νέων σχεδίων κωδικοποίησης και άλλων εφαρμογών που θα υποστηρίξουν την ανάπτυξη της τεχνολογίας 4G

6.1.4 Προηγμένα Συστήματα Κεραιών

Είναι προφανές ότι οι επιδόσεις των ράδιο-επικοινωνιών εξαρτώνται από τις αντίστοιχες επιδόσεις των συστημάτων λήψης και αποστολής και πιο συγκεκριμένα από τις κεραιές. Πρόσφατα εμφανίζονται αρκετές νέες τεχνολογίες κεραιών με σκοπό να εκπληρώσουν τους στόχους του 4G για μεγαλύτερη αξιοπιστία, μεγαλύτερη εμβέλεια και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Στις αρχές της δεκαετίας του 90 πολλά νέα σχέδια εκπομπής αναπτύχθηκαν με σκοπό να καλυφθεί η ανάγκη για πιο υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Η χωρική πολυπλεξία (spatial multiplexing) είναι μια τεχνολογία που έγινε αρκετά δημοφιλής για το εύρος ζώνης συνομιλίας που παρείχε και την απόδοσή της σε θέμα ενέργειας. Η χωρική πολυπλεξία περιλαμβάνει την χρήση πολλαπλών κεραιών στον εκπομπό και στον δέκτη. Έτσι ανεξάρτητα σήματα μπορούν να εκπέμπονται ταυτόχρονα από όλες τις κεραιές αυξάνοντας δραματικά τον ρυθμό μετάδοσης. Η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή και ως MIMO. Επίσης η χρήση πολλαπλών κεραιών στον εκπομπό και δέκτη αυξάνει την αξιοπιστία στην μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας.

6.2 Πρότυπα 4G

Η δημοτικότητα του 4G είναι τέτοια ώστε ήδη έχουν αναπτυχθεί αρκετά πρότυπα τα οποία έχουν ως στόχο να ενσωματωθούν με αυτό στο μέλλον. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι :

- WIMAX
- 3GPP LTE (Long Term Evolution)

6.2.1 3GPP LTE(Long Term Evolution)

Το 3GPP LTE είναι ένα σχέδιο της 3GPP για να βελτιώσει το UMTS πρότυπο ώστε να είναι συμβατό με τις νέες τεχνολογίες στην κινητή τηλεφωνία. Οι στόχοι του είναι να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα του δικτύου, να μειώσει το κόστος, να βελτιώσει υπηρεσίες και να είναι συμβατό με άλλα νέα πρότυπα. Ενώ η 3GPP έκδοση 8 ακόμα δεν έχει επικυρωθεί ως πρότυπο, ένα μεγάλο μέρος του προτύπου θα προσανατολιστεί γύρω από την αναβάθμιση του UMTS σε

μια αποκαλούμενη τέταρτη γενιά κινητής επικοινωνίας παραγωγής, ουσιαστικά ένα ασύρματο ευρυζωνικό σύστημα Διαδικτύου με τη φωνή και άλλες υπηρεσίες να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Το πρότυπο περιλαμβάνει:

- Μέγιστο ρυθμό μεταφόρτωσης τα 326.4 Mbit/s για 4x4 κεραίες και 172.8 Mbit/s για 2x2 κεραίες, για κάθε 20MHz του φάσματος
- Μέγιστο ρυθμό upload τα 86.4 Mbit/s για κάθε 20MHz του φάσματος
- 5 διαφορετικές τελικές κλάσεις έχουν καθοριστεί από μια κεντρική κλάση φωνής μέχρι ένα υψηλό τερματικό τελών που υποστηρίζει τους μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Όλο το τερματικό θα είναι σε θέση να επεξεργαστεί το εύρος ζώνης των 20 MHz
- Τουλάχιστον 200 ενεργοί χρήστες σε κάθε 5MHz κυψέλη
- Καθυστέρηση μικρότερη από 5ms για μικρά IP πακέτα
- Αυξανόμενη ευελιξία φάσματος, με τμήματα φάσματος τόσο μικρά όσο 1,5 MHz (και τόσο μεγάλα όσο 20 MHz). Το W- CDMA απαιτεί τμήματα των 5MHz, που οδηγούν σε μερικά προβλήματα στις χώρες όπου 5 MHz είναι ένα συνήθως δεσμευμένο ποσό φάσματος, και είναι συχνά ήδη σε χρήση από πρότυπα όπως 2G το GSM και CDMAone.
- Μέγιστο μέγεθος κυψέλης για τέλεια απόδοση τα 5km, λογική απόδοση κυψέλης όταν το μέγεθος φτάσει τα 30km και μέγιστο μέγεθος κυψέλης με αποδεκτή απόδοση τα 100km.
- Συνύπαρξη με τα πρότυπα κληρονομιών (οι χρήστες μπορούν να αρχίσουν μια κλήση ή μια μεταφορά δεδομένων σε μια περιοχή χρησιμοποιώντας πρότυπα LTE και εάν η κάλυψη δεν είναι διαθέσιμη, να συνεχίσουν τη λειτουργία χωρίς οποιαδήποτε ενέργεια από τη μεριά τους χρησιμοποιώντας GSM/GPRS ή άλλα δίκτυα UMTS που παρέχουν κάλυψη στην περιοχή).
- Υποστηρίζει MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network). Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να παραδώσει υπηρεσίες όπως η κινητή τηλεόραση χρησιμοποιώντας την υποδομή LTE.

Ένα μεγάλο ποσό της εργασίας στοχεύει στην απλούστευση της αρχιτεκτονικής του συστήματος, καθώς διέρχεται από το υπάρχον κύκλωμα UMTS μαζί με το συνδυασμένο δίκτυο εναλλακτικής μετάδοσης πακέτου πληροφοριών, σε ένα επίπεδο σύστημα αρχιτεκτονικής IP. Οι προκαταρκτικές απαιτήσεις έχουν εκδοθεί για LTE Advanced, και αναμένεται να είναι μέρος της έκδοσης 10 της 3GPP. Εφόσον είναι πιθανό, το LTE Advanced θα είναι μια βελτίωση λογισμικού για τα δίκτυα LTE και θα επιτρέψει μέγιστους ρυθμούς μεταφόρτωσης των 1Gbit/s, που υποστηρίζουν πλήρως τις 4G απαιτήσεις όπως καθορίζονται από το ITU-R. Στοχεύει επίσης στη γρηγορότερη μετάβαση μεταξύ των ενεργειακών καταστάσεων και της βελτιωμένης απόδοσης στην άκρη των κυψέλων. Ένα πρώτο σύνολο απαιτήσεων εγκρίθηκε τον Ιούνιο του 2008.

Ένα χαρακτηριστικό όλων των αποκαλούμενων "4G δικτύων" όπως το LTE, είναι ότι είναι πλήρως βασισμένα στο TCP/IP, το βασικό πρωτόκολλο του Διαδικτύου, που παρέχει υπηρεσίες πιο υψηλού επιπέδου για την φωνή, το βίντεο, και το μήνυμα. Το 2004, η 3GPP πρότεινε αυτό ως το μέλλον του UMTS και άρχισε μελέτες για ένα δίκτυο αποκλειστικά βασισμένο σε IP

(AIPN). Με μια ματιά, το οπίσθιο μέρος UMTS γίνεται προσιτό μέσω ποικίλων μέσων, όπως το GSM δίκτυο (GERAN, UTRAN, και e - UTRAN), WiFi, και ακόμη και από ανταγωνιστικά συστήματα όπως CDMA2000 και WiMAX. Στους χρήστες των δικτύων μη-UMTS, θα παρέχετε ένα σημείο εισόδου στο δίκτυο IP, με διαφορετικά επίπεδα ασφάλειας ανάλογα με την αξιοπιστία του δικτύου που χρησιμοποιούν για να κάνουν τη σύνδεση. Οι χρήστες των δικτύων GSM/UMTS θα χρησιμοποιούν ένα ενσωματωμένο σύστημα όπου όλη η πιστοποίηση ταυτότητας σε κάθε επίπεδο του συστήματος θα καλύπτεται από ένα ενιαίο σύστημα, ενώ οι χρήστες που έχουν πρόσβαση στο δίκτυο UMTS μέσω WiMAX και άλλων παρόμοιων τεχνολογιών θα χειρίζονται τη WiMAX σύνδεση με μονόδρομο τρόπο (παραδείγματος χάριν, να επικυρώνονται μέσω μιας διεύθυνσης MAC ή ESN) και την σύνδεση UMTS με άλλο τρόπο.

6.2.1.1 E-UTRA (Evolved UTRA)

Το E-UTRA είναι το διασυνδεδετικό στοιχείο αέρα για το LTE. Το προτεινόμενο σύστημα E-UTRA χρησιμοποιεί OFDMA για την downlink transmission (πύργος προς κινητό) και τον ενιαίο μεταφορέα FDMA (SC-FDMA) για uplink και υιοθετεί MIMO με μέχρι τέσσερις κεραίες ανά σταθμό. Η χρήση OFDM επιτρέπει στο E-UTRA για να είναι πιο εύκαμπτο στην χρήση φάσματος σε σχέση με τα παλαιότερα βασισμένα στο CDMA συστήματα που κυριάρχησαν στο 3G. Τα δίκτυα CDMA απαιτούν μεγάλα τμήματα του φάσματος να δεσμευθούν σε κάθε μεταφορέα, για να διατηρήσουν τα υψηλά ποσοστά chip, και να μεγιστοποιήσουν έτσι την αποδοτικότητα τους. Η οικοδόμηση ραδιοκυμάτων ικανών να λειτουργούν με διάφορους ρυθμούς chip είναι πιο σύνθετη από την δημιουργία ραδιοκυμάτων που στέλνουν μόνο και λαμβάνουν ένα μέγεθος του μεταφορέα. Το OFDM έχει μια φασματική αποδοτικότητα συνδέσεων μεγαλύτερη από CDMA, και όταν συνδυάζεται με μορφές διαμόρφωσης όπως 64QAM, και τεχνικές όπως MIMO, E-UTRA έχει αποδειχθεί αρκετά αποδοτικότερο από το W-CDMA με HSDPA και HSUPA.

Downlink transmission

Το διάστημα υπομεταφορέων στην downlink transmission OFDM είναι 15 kHz και υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός 1200 υπομεταφορέων διαθέσιμων. Ο αριθμός υπομεταφορέων εξαρτάται από το χρησιμοποιημένο εύρος ζώνης (1.4MHz και μέχρι 20Mhz). Οι υπομεταφορείς δεν καταλαμβάνουν το 100% του χρησιμοποιημένου εύρους ζώνης δεδομένου ότι τα κυκλικά προθέματα (φρουρές) καταλαμβάνουν ένα μέρος από αυτό. Οι κινητές συσκευές πρέπει να είναι ικανές να λαμβάνουν όλους τους υπομεταφορείς αλλά ένας σταθμός βάσης χρειάζεται να διαβιβάζει μόνο 72 υπομεταφορείς. Η μετάδοση διαιρείται εγκαίρως σε χρονικές αυλακώσεις της διάρκειας 0,5ms και υποπλαίσια της διάρκειας 1,0ms. Ένα ραδιο πλαίσιο είναι της τάξης των 10ms.

Uplink transmission

Η uplink μετάδοση χρησιμοποιεί SC-FDMA πολυπλεξία και διαμόρφωση QPSK ή 16QAM (64QAM προαιρετικά). Η SC-FDMA πολυπλεξία χρησιμοποιείται επειδή έχει μικρό Peak-to-

Average Power Ratio (PAPR). Ο ρυθμός μετάδοσης στην Uplink μετάδοση μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με τον αριθμό κεραιών του σταθμού βάσης.

6.2.2 WiMAX

6.2.2.1 Εισαγωγή στο WiMAX και στο Mobile WiMAX

WiMAX αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης με εμβέλεια που φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω. Σε αντίθεση με άλλα ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το Wi-Fi όπου ο χρήστης πρέπει να βρίσκεται κοντά σε ένα σημείο εκπομπής (hotspot) το οποίο δεν έχει εμβέλεια πάνω από λίγα εκατοντάδες μέτρα, ο χρήστης καλύπτεται από το δίκτυο WiMAX σε οποιαδήποτε σημείο βρίσκεται. Αυτό σημαίνει ότι το WiMAX μπορεί να αντικαταστήσει εκτός από τα υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα και τα ενσύρματα δίκτυα καθώς παρέχει τις ίδιες (και παραπάνω) υπηρεσίες με λιγότερο κόστος από το να φτιαχτεί από την αρχή ένα ενσύρματο δίκτυο. Μερικές από τις υπηρεσίες που προσφέρει το WiMAX είναι : διαδραστική (interactive) ψηφιακή τηλεόραση, video, μουσική, σταθερή τηλεφωνία, υψηλότερη ταχύτητα πρόσβασης στο διαδίκτυο και βιντεοκλήση. Η εφαρμογή του WiMAX στα κινητά τηλέφωνα ονομάζεται mobile WiMAX. Εντός της σφαίρας του ανταγωνισμού, το Mobile WiMax έχει να αντιμετωπίσει κυρίως τα υπάρχοντα διαδεδομένα αναπτυσσόμενα ασύρματα συστήματα όπως είναι το UMTS και το CDMA 2000. Το Mobile WiMAX υπόσχεται ρυθμούς μετάδοσης 70 Mbit/s σε αποστάσεις 48 χιλιομέτρων. Βέβαια αυτό δεν είναι εύκολο στην υλοποίηση καθώς πρόκειται για ιδανικές συνθήκες. Πρακτικά, σε περιβάλλοντα όπως είναι οι επαρχιακές περιοχές όπου οι κεραιές μετάδοσης θα έχουν οπτική επαφή και θα απέχουν μεταξύ τους 10 χιλιόμετρα οι ταχύτητες θα είναι της τάξης των 10 Mbit/s. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει το mobile WiMAX είναι ότι ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί υπηρεσίες διαδικτύου πληρώνοντας ένα πάγιο, ανεξάρτητα με το τι θα “κατεβάσει”, σε αντίθεση με τα δίκτυα GSM/GPRS και UMTS όπου έχουμε ογκοχρέωση του χρήστη. Τα συστήματα WiMax και Mobile WiMax που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα βασίζονται στο IEEE 802.16e-2005, το οποίο καθιερώθηκε το Δεκέμβριο του 2005.

6.2.2.2 Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC layer/ Data Link Layer)

Στο WiFi το MAC layer (media access controller) χρησιμοποιεί ανταγωνιστική πρόσβαση, δηλαδή όλοι οι συνδρομητές που επιθυμούν να μεταφέρουν δεδομένα μέσω ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης (wireless access point ή AP) συναγωνίζονται συνεχώς για “το ποιος θα τραβήξει την προσοχή του access point”. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να γίνει αιτία ώστε ένας απομακρυσμένος χρήστης από το AP να μην μπορεί επανειλημμένα να αποκτήσει πρόσβαση, ή να διακόπτεται διαρκώς η σύνδεση του εξ αιτίας πιο κοντινών στο AP χρήστες με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η εκπομπή και η μεταφορά δεδομένων. Επομένως η σύνδεση δεν χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα, και εφαρμογές που βασίζονται στην ποιότητα δεν μπορούν να εκτελεστούν σωστά. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η Voice over IP (VoIP) και η IPTV, για τις οποίες η ποιότητα της σύνδεσης είναι κύριο χαρακτηριστικό και

καθορίζει, το ποσοστό των δεδομένων που μεταφέρονται και το αν η μεταφορά θα είναι επιτυχής, συνεχής και δε θα διακόπτεται.

Αντίθετα το 802.16 MAC χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο για τον οποίο ο συνδρομητής «συναγωνίζεται» μια μόνο φορά (με την αρχική εγγραφή του στο δίκτυο). Από εκεί και έπειτα έχει καθοριστεί ο τρόπος σύνδεσης του από το base station πρόσβασης. Ο χρόνος σύνδεσης με τον καιρό μπορεί να ποικίλει, είτε να μεγαλώνει είτε να μικραίνει, ωστόσο η σύνδεση θα πραγματοποιείται. Ο αλγόριθμος του πρωτοκόλλου 802.16 είναι αρκετά σταθερός ακόμα και όταν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και ο αριθμός των συνδεδεμένων συνδρομητών είναι πολύ μεγάλος (αντίθετα με το 802.11). Ο αλγόριθμος επίσης επιτρέπει στο σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) κατανέμοντας το χρόνο που χρειάζεται να διαθέσει για τις διάφορες εφαρμογές των συνδρομητών.

6.2.2.3 Φυσικό επίπεδο

Αρχικά το πρωτόκολλο του WiMAX όριζε το WiMax στο εύρος των 10 με 66 GHz. Το πρωτόκολλο 802.16a αναβαθμίστηκε το 2004 σε 802.16-2004 προσθέτοντας προδιαγραφές για το εύρος 2 με 11 GHz. Το 802.16-2004 αναβαθμίστηκε στο 802.16e το 2005 και χρησιμοποιεί τύπο συχνότητας scalable orthogonal frequency-division multiple access (SOFDMA) ο οποίος συγκρούεται με την έκδοση OFDM-256 που χρησιμοποιείται από το 802.16d. Οι πιο εξελιγμένες μορφές πρωτοκόλλων, συμπεριλαμβανομένου και του 802.16e, χρησιμοποιούν Multiple Antenna Support δια μέσω του συστήματος Multiple-input multiple-output (MIMO) το οποίο παραπέμπει στη χρήση Multiple Antenna και από τον πομπό και από τον δέκτη. Αυτό μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της κάλυψης, της ατομικής εγκατάστασης, της αποτελεσματικής χρήσης και της ευρυζωνικής αποτελεσματικότητας. Το 802.16e προσθέτει την ικανότητα για κάλυψη σε περίπτωση κίνησης του χρήστη. Οικονομικό και εμπορικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στα πρωτόκολλα 802.16d και 802.16e, αφού οι χαμηλότερες συχνότητες όταν χρησιμοποιούνται σε αυτές τις παραλλαγές δεν χαρακτηρίζονται από έμφυτη εξασθένιση του σήματος και γι' αυτό διαθέτουν βελτιωμένο εύρος και ικανότητα στη διαπερατότητα κτηρίων. Ήδη σήμερα, αρκετά δίκτυα ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν για εμπορικούς σκοπούς πιστοποιημένο εξοπλισμό με WiMax, συμβατό με το υποπρωτόκολλο 802.16d.

6.3 Συμπεράσματα

Η κινητή τηλεφωνία από την εποχή των αναλογικών δικτύων μέχρι τα 3G (τα 4G δίκτυα τώρα αρχίζουν τις πρώτες εμπορικές εφαρμογές στη κινητή τηλεφωνία), έχει υποστεί τεράστιες βελτιώσεις και επιπλέον παρέχει ολοένα και περισσότερες υπηρεσίες. Όπως σε κάθε μετάβαση από τη μία γενεά σε άλλη έχουμε ριζική αλλαγή δικτύων έτσι και τα 4G δίκτυα θα αλλάξουν ως προς τη δομή και τη ποιότητα υπηρεσιών σε σχέση με τα 3G, καθώς πλέον τα 4G θα είναι IP δίκτυα.

Βιβλιογραφία

Ηλεκτρονικές Διευθύνσεις

www.howstuffworks.com

www.syros.aegean.gr

<http://conta.uom.gr/>

www.privateline.com

<http://www.forum.nokia.com/>

<http://encyclopedia.thefreedictionary.com>

www.chu.edu.tw

<https://jyx.jyu.fi/dspace/>

www.site.uottawa.ca

www.iec.org/

<http://library.igcar.gov.in/>

www.arcx.com

<http://searchmobilecomputing.techtarget.com>

<http://sss-mag.com/>

www.infosecwriters.com

<http://en.wikipedia.org>

www.iro.umontreal.ca

www.ituaj.jp

www.freewebs.com

<http://arxiv.org>

www.aeroflex.com

<http://members.tripod.com>

www.rfcafe.com

<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/>

www.ebusiness-lab.gr

www.wirelessweek.com

www.wimax-industry.com

www.cdg.org

www.itu.int

<https://oa.doria.fi>

www.ctiforum.com/factory/others/www.adlinkchina.com.cn

www.ccpu.com

<http://code.google.com/p/hss/>

<http://el.wikipedia.org>

Βιβλία

1. “Κινητή Τηλεφωνία”
Σ. ΚΩΤΣΟΠΟΥΛΟΣ – Γ. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΗΣ ΕΚΔ. ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ
2. “MOBILE RADIO COMMUNICATIONS”
RAYMOND STEELE ΕΚΔ. PENTECHPRESS