

**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε.  
ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας**

## **ΘΕΜΑ**

**Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών:  
Δομή, Λειτουργία και Προοπτικές**

**Ραγγούσης Χρήστος (ΑΜ: 00543)**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Κούγιας Ιωάννης**

**Σεπτέμβριος 2016**

## Εισαγωγή

Η επικοινωνία των ανθρώπων από οπουδήποτε και αν βρίσκονται και σε οποιονδήποτε εάν θέλουν, ήταν μια ανάγκη η οποία αναπτυσσόταν συνεχώς όσο αναπτυσσόταν και ο πολιτισμός. Σε αυτό ήρθαν να δώσουν λύση τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Η ενημέρωση και η ψυχαγωγία προστέθηκαν αργότερα σε μετέπειτα γενιές των κινητών τηλεφώνων μέσω της πρόσβασης στο διαδίκτυο, γεγονός που χαίρει μεγάλης αναγνώρισης και γρήγορης εξέλιξης. Εξαπλώθηκε σε ολόκληρη την ήπειρο και έχει γίνει ένα απαραίτητο εργαλείο όχι μόνο για σκοπούς τηλεφωνικής επικοινωνίας όπως ξεκίνησε αλλά και για ανταλλαγή δεδομένων, ενημέρωση, διασκέδαση και πολλά-πολλά άλλα.

Σε αυτή την εργασία ασχολήθηκα με τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, μαθαίνοντας την ιστορία τους από την πρώτη μορφή κινητής επικοινωνίας που υπήρξε και το πως εξελίχθηκε όλα αυτά τα χρόνια έως και σήμερα. Θα δούμε ότι τα πρώτα χρόνια η εξέλιξη ερχόταν αργά, ενώ στη συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια η ανάπτυξη ήταν ραγδαία, αναφέροντας τι βελτιώσεις γινόταν από κάθε καινούργια γενιά όπως επίσης και το πάντρεμα με την ευρυζωνική σύνδεση δικτύων και τι σημαντικότητα του mobile internet στις μέρες μας.

Στην αρχή είχαμε τις πρώτες μεγάλες δύσχρηστες και ακριβές συσκευές με ασπρόμαυρες και μικρές οθόνες όπου μια υπηρεσία φωνητικής κλήσης στοίχιζε πολύ και ήταν για λίγους, και που έχουμε φτάσει σε μια εποχή με τεράστιο αριθμό συνδρομητών οι οποίοι μπορούν πλέον με ένα κινητό τηλέφωνο να συντάξουν γραπτό μήνυμα (SMS), να ανταλλάξουν πληροφορίες και δεδομένα, να έχουν έγχρωμη εικόνα με πολύ υψηλή ανάλυση οθόνης αφής, να επικοινωνήσουν με βιντεοκλήσεις, να πλοηγηθούν στο διαδίκτυο με την ευρυζωνική κάλυψη έχοντας τις μεγαλύτερες ταχύτητες που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά αλλά και με τεράστια εμβέλεια σε όλα τα μέρη του πλανήτη, να παίζουν παιχνίδια υψηλής ανάλυσης με άλλους χρήστες σε πραγματικό χρόνο και γενικότερα να χρησιμοποιούν ένα πλήθος εφαρμογών και πολυμέσων που μπορούν και κάνουν τη ζωή μας ευκολότερη.

Επίσης θα μιλήσουμε για την δομή των δικτύων η οποία έδωσε λύση στη συνεχόμενη αύξηση των συνδρομητών αυξάνοντας τη χωρητικότητα των δικτύων, την ευρυζωνικότητα, την ποιότητα των φωνητικών κλίσεων αλλά και γενικότερα τις κάθε υπηρεσίας. Ακόμη πραγματεύεται την αρχιτεκτονική δίνοντας στον αναγνώστη με απλά λόγια το τρόπο που λειτουργεί ένα ασύρματο δίκτυο κινητής επικοινωνίας, ομαδοποιώντας τις λειτουργίες του δικτύου σε ένα σύνολο υποσυστημάτων, όπου το καθένα είναι υπεύθυνο για ένα τμήμα της διαχείρισης του δικτύου. Τέλος θα δούμε τις μελλοντικές προοπτικές για τις οποίες γίνεται λόγος σήμερα, δίνοντας μια ιδέα για το τι περιμένουμε από την επόμενη γενιά 5G, τι δυνατότητες θα μας προσφέρει και το πότε θα είναι διαθέσιμη.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	1
Περιεχόμενα.....	2
Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή και η χρήση των πρώτων δικτύων .....	4
1.1 Τα πρώτα βήματα στην ασύρματη επικοινωνία.....	4
1.2 Πρώτη γενιά (1G).....	5
Κεφάλαιο 2: Δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) .....	7
2.1 GSM .....	7
2.2 Γενιά 2.5G και 2.75G.....	10
2.2.1 GPRS .....	10
2.2.2 EDGE.....	11
2.3 Κινητά τηλέφωνα 2 <sup>ης</sup> γενιάς.....	12
Κεφάλαιο 3: Το κυψελωτό δίκτυο .....	12
3.1 Δομή .....	12
3.2 Τύποι κυψελών.....	13
3.3 Ισχύς κεραιών.....	14
3.4 Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων .....	15
3.5 Κυψελοειδής διάσπαση .....	16
3.6 Μεταγωγή (Handover) .....	17
Κεφάλαιο 4: Αρχιτεκτονική.....	19
4.1 Κινητή Μονάδα.....	19
4.2 Υποσύστημα Σταθμού Βάσης (BSS) .....	20
4.2.1 BTS.....	20
4.2.2 BSC.....	21
4.3 Υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής (NSS).....	22
4.3.1 MSC.....	23
4.3.2 Βάσεις Δεδομένων Του Δικτύου .....	24
Κεφάλαιο 5: Δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) .....	25
5.1 UMTS.....	25
5.2 HSPA.....	27
5.3 Evolved HSPA .....	28
5.4 Κινητά τηλέφωνα 3 <sup>ης</sup> γενιάς.....	29

Κεφάλαιο 6: Δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G) .....	30
6.1 4G.....	30
6.2 LTE.....	31
6.3 WiMAX.....	33
6.4 Κινητά τηλέφωνα 4 <sup>ης</sup> γενιάς.....	34
Κεφάλαιο 7: Προοπτικές και τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) .....	35
7.1 Οι προοπτικές της πέμπτης γενιάς .....	35
7.2 Internet of Things .....	36
Κεφάλαιο 8: Κινητή τηλεφωνία στην Ελλάδα .....	37
8.1 Ζώνες συχνοτήτων .....	37
8.2 Χάρτες κάλυψης ελληνικών δικτύων.....	38
8.3 Σύγκριση Πρωτοκόλλων .....	39
8.4 Μετρήσεις Speed Test.....	39
Βιβλιογραφία .....	41

## Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή και η χρήση των πρώτων

### δικτύων

#### 1.1 Τα πρώτα βήματα στην ασύρματη επικοινωνία

Από πολύ παλιά υπήρχε η ανάγκη του ανθρώπου για επικοινωνία όταν αυτοί βρισκόταν σε μακρινή απόσταση. Αυτή γινόταν ανάλογα με τα μέσα της εποχής και του κάθε πολιτισμού. Μερικά από τα πιο γνωστά σύμφωνα με την ιστορία είναι τα σήματα καπνού, οι αγγελιοφόροι, τα ταχυδρομικά περιστέρια, το ταχυδρομείο και ο τηλεγράφος. Την πρώτη άμεση επικοινωνία φωνής έχουμε το 1876, όπου ανακαλύπτοντας ότι μόνο ένα σταθερό ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να διαβιβάσει την ομιλία, ο αμερικανικός εφευρέτης Alexander Graham Bell παρήγαγε το πρώτο σταθερό τηλέφωνο και η επικοινωνία έγινε άμεση. Με το πέρασμα των χρόνων η ιδέα για ένα τηλέφωνο χωρίς καλώδια, το οποίο μπορούμε να το έχουμε μαζί μας όπου θέλουμε μας έφερε στην εφεύρεση του κινητού τηλεφώνου.

Τα πρώτα πειράματα λοιπόν ξεκίνησαν μετά το τέλος του Β' Παγκόσμιου πολέμου το 1946 από τους Φιλανδούς τους Σουηδούς και τους Αμερικάνους. Οι επιστήμονες συνειδητοποίησαν ότι ένας πομπός μικρής εμβέλειας μπορεί να μεταμορφωθεί σε πομπό μεγάλης εμβέλειας συνδέοντας πολλές κυψέλες ενός τοπικού δικτύου. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν σε αστυνομικά οχήματα και ουσιαστικά βασιζόταν στην τεχνολογία του ραδιοφώνου. Λίγο αργότερα η AT&T έβγαλε για εμπορική χρήση την υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας Mobile Telephone Service (MTS). Ωστόσο ήταν ογκώδη για να τα κουβαλάμε πάνω μας, ζύγιζαν περίπου 36 κιλά κι έτσι ήταν εγκατεστημένα σε αυτοκίνητα. Η σύνδεση για μια κλήση γινόταν χειροκίνητα από έναν χειριστή ο οποίος σύνδεε τους δυο χρηστές μεταξύ τους και ο καθένας για να μιλήσει έπρεπε να πατήσει ένα κουμπί, και για να ακούσει, να το αφήσει. Επειδή υπήρχαν μόνο τρία ραδιοφωνικά κανάλια, επιτρεπόταν μόνο τρεις ταυτόχρονες συνομιλίες σε κάθε πόλη και οι υπόλοιποι έπρεπε να περιμένουν, γι αυτό και η υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας ήταν πολύ ακριβή.

Το 1964 υπήρξε η πρώτη βελτίωση στο χώρο της κινητής τηλεφωνίας με το προφανές όνομα Improved Mobile Telephone Service (IMTS) η οποία χρησιμοποιούσε επιπλέον κανάλια με περισσότερες επιτρεπόμενες κλήσεις την ίδια στιγμή αλλά πάλι όχι σε ικανοποιητικό βαθμό, περίπου 20 ταυτόχρονες συνομιλίες. Δεν χρειαζόταν πλέον ο χειριστής γιατί ο ίδιος ο συνδρομητής έκανε την κλήση και επίσης μειώθηκε το βάρος και το μέγεθος του εξοπλισμού.

Ο χρήστης όταν ήταν σε μια τηλεφωνική κλήση, έπρεπε να μείνει μέσα στην ίδια κυψέλη αλλιώς εάν απομακρυνόταν το σήμα εξασθενούσε και χανόταν. Αυτό λύθηκε το 1972 από τον Amos Edward Joel με το σύστημα handover. Έτσι λοιπόν όταν ένα τηλέφωνο απομακρύνεται πάρα πολύ από μια κυψέλη, ένα σύστημα ηλεκτρονικών υπολογιστών στέλνει εντολή στο τηλέφωνο και σε μια πιο κοντινή κυψέλη να αναλάβουν τις μεταξύ τους επικοινωνίες χωρίς διακοπή της κλήσης. Οι

τεχνολογίες MTS και IMTS θεωρούνται “0G” με άλλα λόγια εισαγωγικές στο χώρο της ασύρματης επικοινωνίας. Όπως επίσης και οι ορολογίες 1G και 2G βγήκαν αργότερα μαζί με τον όρο 3G για να μπορέσουμε να κατατάξουμε σε επίπεδα τις παλιότερες γενιές.



E 1.1.1: SRA/Ericsson MTA, 1956

E 1.1.2: Motorola Car Telephone Model TLD-1100, 1964

## 1.2 Πρώτη γενιά (1G)

Το πρώτο κινητό που δεν ήταν εγκατεστημένο σε αυτοκίνητο ήταν το μοντέλο της Motorola DynaTAC8000X το 1983, το οποίο αν και έκανε την πρώτη του κλίση το 1973, του πήρε μία δεκαετία να βγει στην αγορά. Ο δημιουργός του είναι ο Αμερικάνος μηχανικός Martin Cooper ο οποίος θεωρείται ένας από τους πρωτοπόρους στον χώρο των ασύρματων επικοινωνιών, στον τομέα της διαχείρισης του ραδιοφάσματος και ο πατέρας των κινητών τηλεφώνων. Η πρώτη κλίση έγινε στους δρόμους της Νέας Υόρκης από τον ίδιο τον Martin Cooper στον ανταγωνιστή του Joel S. Engel από την Bell Labs. Είναι το πρώτο κινητό τσέπης με βάρος 800 γραμμάρια (το αρχικό βάρος του το 1973 ήταν ένα κιλό αλλά όταν βγήκε στην αγορά έγινε ελαφρύτερο κατά 200 γραμμάρια), με αποθηκευτική μνήμη 30 τηλέφωνα, του έπαιρνε 10 ώρες να φορτίσει πλήρως και η μπαταρία του κρατούσε μέχρι 30 λεπτά ομιλίας πριν κλίσει εντελώς. Η τιμή του 4000 δολάρια δηλαδή με τα σημερινά δεδομένα κοντά στα 8500€, πολύ υψηλή για εκείνη την εποχή γι αυτό ήταν προνόμιο λίγων. Υπήρξε η ναυαρχίδα των λεγόμενων κινητών πρώτης γενιάς (Βλέπε Εικόνα 1.3).

Όσο η Motorola προσπαθούσε να αναπτύξει ένα κινητό τηλέφωνο η Bell Labs δούλεψε πάνω σ ένα σύστημα με το όνομα Advanced Mobile Phone System (AMPS) και το 1978 κατάφερε και κατασκεύασε το πρώτο δοκιμαστικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Πέντε χρόνια αργότερα, το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς (1G) λειτούργησε το 1983 στο Σικάγο και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε από αρκετές άλλες χώρες της Αμερικής και της Ευρώπης. Θεωρείται το πρώτο αναλογικό κυψελωτό δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας.

Χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας ήταν τα αναλογικά κυβελωτά δίκτυα με χαμηλή ποιότητα μετάδοσης της φωνής και με αρκετά προβλήματα σύνδεσης. Οι συσκευές ήταν ογκώδης και βαριές, το οποίο βέβαια βελτιωνόταν συνεχώς με την πάροδο των χρόνων. Αν και στην παραπάνω παράγραφο είπαμε για το πρώτο κινητό τσέπη στην πραγματικότητα ήταν το πρώτο κινητό τηλέφωνο το οποίο μπορούσαμε να το πάρουμε μαζί μας όπου θέλουμε αλλά με τέτοιο μέγεθος δεν ήταν εύκολο να μπει σε μία τσέπη, και για να γίνει εφικτό κάτι τέτοιο πέρασε πάνω από μια δεκαετία. Επίσης υπήρχε χαμηλό επίπεδο ασφάλειας και ήταν ευάλωτο σε υποκλοπές φωνητικών κλήσεων. Τέλος επέτρεπε την φωνητική επικοινωνία μόνο σε μία χώρα και φυσικά υπήρχε έλλειψη των ποικίλων υπηρεσιών που χρησιμοποιούμε σήμερα αφού ο μοναδικός σκοπός τους την περίοδο εκείνη ήταν μόνο η φωνητική επικοινωνία.

Οι **τεχνολογίες** που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- Το AMPS (Advanced Mobile Phone System) ήταν μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στην Αμερική από τα εργαστήρια της Bell το 1978. Χρησιμοποιεί ξεχωριστές συχνότητες-κανάλια για κάθε συνομιλία και γι' αυτό απαιτεί ιδιαίτερο εύρος ζώνης για ένα μεγάλο αριθμό χρηστών. Σε γενικές γραμμές το AMPS είναι αρκετά παραπλήσιο με το προκάτοχό του το IMTS. Ήταν πολύ ευαίσθητο στο θόρυβο και στην υποκλοπή και λειτουργεί σε συχνότητες των 800MHz (824-894MHz) βασισμένο στην τεχνολογία FDMA. Μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε λίγο αργότερα το NAMPS (Narrowband AMPS), το οποίο ενσωμάτωνε κάποια ψηφιακή τεχνολογία προκειμένου να επιτρέψει στο σύστημα να αυξήσει τη χωρητικότητά του έως και 3 φορές περισσότερες κλήσεις από το αρχικό AMPS. Το NAMPS μπορεί να έκανε κάποια χρήση ψηφιακής τεχνολογίας, αλλά κατά βάση ήταν αναλογικό.
- Το TACS (Total Access Communication System) ήταν μια αντίστοιχη τεχνολογία του AMPS που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του '80. Ξεκίνησε από το Ηνωμένο Βασίλειο το 1982 και λειτουργούσε σε συχνότητες των 900MHz υποστήριζε και διάφορες υπηρεσίες, όπως πληροφορίες χρέωσης.
- Το C-Network ή αλλιώς C-Netz ήταν η τρίτη και τελευταία αναβάθμιση του αναλογικού συστήματος πρώτης γενιάς (1G). Εγκαταστάθηκε και ξεκίνησε να λειτουργεί το 1985 στη Γερμανία, Πορτογαλία και Νότιο Αφρική. Είναι η πρώτη τεχνολογία που υποστήριζε να μεταφέρεται το σήμα από τη μια κυψέλη στην άλλη χωρίς να διακόπτεται.



Ε 1.2.1: Motorola DynaTAC8000X, 1983

Ε 1.2.2: Motorola MicroTAC, 1989 (Το πρώτο κινητό με πορτάκι και το πρώτο με τηλεφωνικό κατάλογο)

## Κεφάλαιο 2: Δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G)

### 2.1 GSM

Μπαίνοντας στην καινούργια δεκαετία έρχεται και η δεύτερη γενιά κινητής τηλεφωνίας η οποία σηματοδοτεί την απογείωση των κινητών τηλεφώνων, με την ψηφιοποίηση δικτύων και συσκευών. Όταν μιλάμε για δίκτυα δεύτερης γενιάς όλα ξεκινούν από το σύστημα GSM που σημαίνει Global System for Mobile communications (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών). Αρχικά το GSM σήμαινε Group Special Mobile αλλά αργότερα μετονομάστηκε σε παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών για να κάνει εμφανή την παγκόσμια φύση του, αφού ο στόχος του Ευρωπαϊκού Τηλεπικοινωνιακού Συμβουλίου το 1982, ήταν η δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς το οποίο θα μπορεί να υποστηρίξει τη δυνατότητα να χρησιμοποιούμε το κινητό μας τηλέφωνο όχι μόνο στη χώρα μας αλλά οπουδήποτε στο πλανήτη συνδεδεμένοι σε ένα διαφορετικό σύστημα του εξωτερικού.

Το GSM λοιπόν είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα χρονικής πολυπλεξίας TDMA το οποίο είναι η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα συγκεκριμένο αριθμό καναλιών και στη συνέχεια την διαίρεση αυτών σε πολύ μικρές χρονικές στιγμές που ονομάζονται χρονοθυρίδες. Κάθε κανάλι έχει εύρος 200 KHz και χωρίζεται σε 8 ή 16 ίσες χρονοθυρίδες. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η μετάδοση σημάτων από τα κινητά



στις κεραίες και αντίστροφα. Κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής κλήσης ο χρήστης δεσμεύει μια από τις χρονοθυρίδες.

Τα ραδιοσήματα που χρησιμοποιούν τα δίκτυα πρώτης γενιάς είναι αναλογικά, ενώ τα δεύτερης γενιάς δίκτυα χρησιμοποιούν ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν την ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους ραδιοπύργους (δηλαδή τους πύργους που επικοινωνούν με τα κινητά τηλέφωνα) με το υπόλοιπο τηλεφωνικό σύστημα.

Η εμπορική διάθεση του GSM ξεκίνησε από την Ευρώπη το 1991, ενώ στην **Ελλάδα** η κινητή τηλεφωνία έκανε την εμφάνισή της το 1992, με τη χορήγηση δύο αδειών, οι οποίες κατοχυρώθηκαν μετά από διαδικασίες στην Panafon (Vodafone) και την Telestet (WIND). Η Telestet ξεκίνησε την εμπορική της εκμετάλλευση στις 29 Ιουνίου 1993 και η Panafon στις 1 Ιουλίου του ίδιου χρόνου. Αργότερα μπήκε στο παιχνίδι η Cosmote το 1998 και η Q το 2002 όπου μετέπειτα εξαγοράστηκε από τη TIM (WIND). Αλλά δεν έμεινε μόνο στην Ευρώπη, αφού υιοθετήθηκε από πολλές άλλες χώρες και έγινε ο κύριος τρόπος επικοινωνίας παγκοσμίως. Επίσης μεταγενέστερα δίκτυα κινητών επικοινωνιών όπως το GPRS και το UMTS στηρίζονται στην υποδομή και στη φιλοσοφία του GSM και δεν αναιρεί σημαντικές πτυχές του τρόπου λειτουργίας του, γι αυτό και στη συνέχεια θα μιλήσουμε αναλυτικότερα για τον τρόπο λειτουργίας και την αρχιτεκτονική του.

Οι ζώνες συχνοτήτων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Network type	Frequency band UL/DL	implementations
GSM 900	890 - 915/935 - 960 MHz	GSM 900
GSM 1800	1710 - 1785/1805 -1880 MHz	GSM 1800
GSM 1900	1850 - 1910/1930 -1990 MHz	GSM 1900

- GSM 900:** Τα πρώτα δίκτυα GSM άρχισαν να λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link). Οι περιοχές (ζώνες) των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος

ζώνης 200 KHz. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή Standard GSM.

- **GSM 1800:** Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα GSM-1800 η αλλιώς μερικές φορές αναφέρεται και ως DCS “Digital Cellular System”, στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Up link και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Down link. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374 (+ 1 ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχείς κινητής τηλεφωνίας. Έτσι, όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα (GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους.
- **GSM 1900:** Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής, διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Up link και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Down link. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+ (1 ελεύθερο) κανάλια συχνοτήτων και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz.
- **E-GSM:** Το E-GSM είναι μια επεκταμένη ζώνη του υπάρχον GSM 900 το οποίο καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Up link και 925 έως 960 MHz Down link. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

Παρακάτω θα αναφέρουμε τα **πλεονεκτήματα** της χρήσης ψηφιακών συστημάτων μετάδοσης και γενικότερα των δικτύων δεύτερης γενιάς:

- Τα ψηφιακά δεδομένα φωνής μπορούν να συμπιεστούν και να πολυπλεχθούν αποτελεσματικότερα μέσω της χρήσης διάφορων κωδικοποιητών και πρόσφεραν και συνεχίζουν να προσφέρουν μεγαλύτερη χωρητικότητα (capacity) δικτύου έτσι επιτρέπεται σε περισσότερες κλήσεις να συγκεντρώνονται στο ίδιο ποσό εύρους ζώνης.
- Τα ψηφιακά συστήματα σχεδιάστηκαν για να εκπέμπουν τα τηλέφωνα λιγότερη ραδιοδύναμη. Αυτό σημαίνει ότι οι κυψέλες θα μπορούσαν να είναι

μικρότερες και περισσότερες στο χώρο με τους πύργους κυψελών και το σχετικό εξοπλισμό να γίνετε φθηνότερος και συνεπώς χαμηλότερο κόστος και για τους χρήστες.

- Τα ραδιοσήματα χαμηλότερης δύναμης απαιτούν λιγότερη δύναμη μπαταριών, έτσι τα τηλέφωνα διαρκούν πολύ περισσότερο μεταξύ των φορτίσεων, και οι μπαταρίες μπορούν να είναι μικρότερες, άρα και οι συσκευές μικρότερες.
- Οι χαμηλότερες εκπομπές ισχύος βοήθησαν να μειωθούν οι επιπτώσεις στην υγεία.
- Έχουμε μεγάλη αντίσταση στο θόρυβο που κάνει την ψηφιακή μετάδοση σχεδόν ανεξάρτητη της απόστασης της ζεύξης. Επιπλέον η ψηφιακή κωδικοποίηση φωνής επέτρεψε τον ψηφιακό έλεγχο λάθους ο οποίος μπόρεσε να αυξήσει την ποιότητα ήχου, μειώνοντας τον θόρυβο.
- Εύκολος τρόπος ελέγχου και συντήρησης του ψηφιακού υλικού.
- Έχουμε πολύ μεγαλύτερη ασφάλεια όσο αναφορά τις υποκλοπές κλήσεων που πλέον είναι δύσκολο να υποκλαπούν.
- Οι υπηρεσίες που παρέχονται στους χρήστες είναι περισσότερες.

## 2.2 Γενιά 2.5G και 2.75G

Με την συνεχόμενη εξέλιξη των δικτύων αναπτύχθηκαν καινούργιες τεχνολογίες με σκοπό την προσφορά ποιοτικότερων και περισσότερων υπηρεσιών και την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Αυτή ήταν μια μεταβατική διαδικασία αναβάθμισης η οποία είναι το ενδιάμεσο βήμα πριν περάσουμε ολοκληρωτικά στα δίκτυα τρίτης γενιάς, η οποία ονομαστικέ 2.5G με το GPRS και 2.75G με το EDGE.

### 2.2.1 GPRS

Το **GPRS** (General Packet Radio Service) ξεκίνησε το 2000 σαν μια υπηρεσία μεταγωγής πακέτων που χρησιμοποιείτε για τη μεταφορά δεδομένων. Επιτρέπει την αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας GSM. Μέχρι τότε η μετάδοση των δεδομένων γινόταν με το CSD (Circuit Switched Data) με ταχύτητες που περιοριζόταν στα 9,6kbps/s και το κύκλωμα δεσμευόταν καθ' όλη τη διάρκεια της χρήσης, ανεξάρτητα από το αν πραγματοποιούνταν μεταφορά δεδομένων, με αποτέλεσμα την άσκοπη σπατάλη των διαθέσιμων πόρων του δικτύου. Αντίθετα με το GPRS χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία TDMA (Time division multiple access) με την οποία επιτρέπετε η ταυτόχρονη χρήση των ίδιων κυκλωμάτων από πολλούς κινητούς σταθμούς αφού αυτά αξιοποιούνται μόνο όταν πραγματοποιείται μεταφορά δεδομένων. Εφόσον λοιπόν τα διαθέσιμα κυκλώματα του δικτύου χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη μεταφορά δεδομένων, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δε χρεώνουν το GPRS με χρονοχρέωση, δηλαδή ανάλογα με τη διάρκεια της

σύνδεσης, αλλά με ογκοχρέωση, δηλαδή με την ποσότητα των πληροφοριών που μεταφέρονται.

Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων είναι σαφώς καλύτερη, θεωρητικά μπορούμε να φτάσουμε έως τα 114 kbps αλλά στην πραγματικότητα ήταν δύσκολο να πάμε πάνω από τα 53 kbps. Άλλες σημαντικές υπηρεσίες που παρείχε είναι η γρηγορότερη μεταφορά sms (περίπου 30 sms το λεπτό, ενώ με το GSM είναι έως 10 sms το λεπτό) και η χρήση του MMS που μπορούσες να κάνεις μεταφορά κάποιας εικόνας, ήχου ή ένα μικρό βιντεάκι έως 40 δευτερολέπτων. Έτσι λοιπόν σίγουρα έχουμε το πλεονέκτημα της ταχύτητας και της αδιάκοπης σύνδεσης στο διαδίκτυο, καθώς και τη πρόσβαση σε νέες, εξελιγμένες υπηρεσίες.

### 2.2.2 EDGE

Το **EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution) επίσης γνωστό και ως EGPRS (Enhanced GPRS) είναι μια αναβάθμιση του υπάρχοντος GPRS. Ξεκίνησαν να το λειτουργούν στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και είχε μεγάλη υποστήριξη από πολλές εταιρίες κινητής τηλεφωνίας που επέλεξαν τον EDGE για αναβάθμιση. Όμως στον υπόλοιπο κόσμο έρχεται αντιμέτωπο με το UMTS και πολλοί πάροχοι δικτύων GSM θεωρούν ότι το UMTS αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή για την αναβάθμιση των δικτύων τους.

Το EDGE δίνει στα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας την απαιτούμενη χωρητικότητα και ταχύτητα, ώστε να επιτραπεί η χρήση τους για την παροχή υπηρεσιών τρίτης γενιάς. Μπορούν να εξυπηρετήσουν τρεις φορές περισσότερους συνδρομητές ανά περιοχή απ ότι το GPRS και να τριπλασιαστεί η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων ή απλά να απελευθερωθεί χώρος για την βελτίωση της ποιότητας των φωνητικών υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται με την βελτίωση της χρήσης του φάσματος συχνοτήτων αλλά και με την επιπλέον χωρητικότητα από την προσθήκη ενός ακόμη φυσικού layer. Όπως επίσης και με την αλλαγή του τρόπου διαμόρφωσης των δεδομένων που μεταφέρονται. Έτσι παρουσιάζει μια νέα κωδικοποίηση των καναλιών, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή, τόσο με τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων όσο και κυκλωμάτων, δεδομένα και φωνή.

Επίσης έχει την ικανότητα της επαναμετάδοσης ενός πακέτου πληροφοριών, που δεν κωδικοποιήθηκε σωστά, με ένα ισχυρότερο σχήμα κωδικοποίησης. Τέλος οι υπηρεσίες δεν αλλάζουν, αφού το EDGE βασίζεται στα ήδη καθορισμένα πρότυπα, χωρίς να δημιουργεί νέα. Έτσι η χρήση και η εγκατάστασή του από τις εταιρίες παροχής υπηρεσιών κρίνεται ως ιδιαίτερα προσιτή αφού δεν θα απαιτεί την χρήση νέου εξοπλισμού, παρά μόνο τη βελτίωση του ήδη υπάρχοντος και δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων θεωρητικά μπορούν να φτάσουν τα 384 kbps αλλά στο πραγματικό κόσμο δεν ξεπερνάνε τα 217 kbps. Τέλος μπήκαν στη ζωή μας υπηρεσίες όπως το 3G, video streaming και το web browsing με αργές ταχύτητες φυσικά.

## 2.3 Κινητά τηλέφωνα 2<sup>ης</sup> γενιάς

Την δεκαετία του 90' λοιπόν έχουμε μια επανάσταση στο χώρο της ασύρματης επικοινωνίας. Τα δίκτυα αρχίζουν να παίρνουν τα πάνω τους και μπορούν πλέον να σηκώσουν μεγάλο αριθμό συνδρομητών, το ίδιο και τα κινητά τηλέφωνα που συνεχώς γίνονται μικρότερα και ελαφρύτερα, η τιμή τους αρχίζει να είναι πιο ευάλωτη και ο ανταγωνισμός των κατασκευαστών μεγαλύτερος. Με το μοντέλο της Motorola StarTAC το 1996 έχουμε το πρώτο κινητό σε φυσιολογικό μέγεθος (με τα σημερινά δεδομένα) με πορτάκι που έμπαινε εύκολα στη τσέπη και ζύγιζε 88 γραμμάρια. Οι κεραίες των κινητών έγιναν εσωτερικές και από τα τέλη της δεκαετίας του 90' προστέθηκαν διάφορες υπηρεσίες και χαρακτηριστικά όπως η σύνταξη γραπτών μηνυμάτων, υπήρχε η λειτουργία της δόνησης, μπορούσαμε να παίζουμε παιχνίδια, και από της αρχές του 2000 που αρχίσαμε να μπαίνουμε σιγά-σιγά στην τρίτη γενιά, άρχισε η ενσωμάτωση διαφόρων χαρακτηριστικών όπως το ξυπνητήρι, το χρονόμετρο, το κομπιουτεράκι, το ραδιόφωνο, η έγχρωμη οθόνη και η δυνατότητα λήψης φωτογραφιών με ενσωματωμένη κάμερα πάνω στο τηλέφωνο.



E 2.3.1: Motorola StarTAC, 1996

E 2.3.2: Nokia 3310, 2000

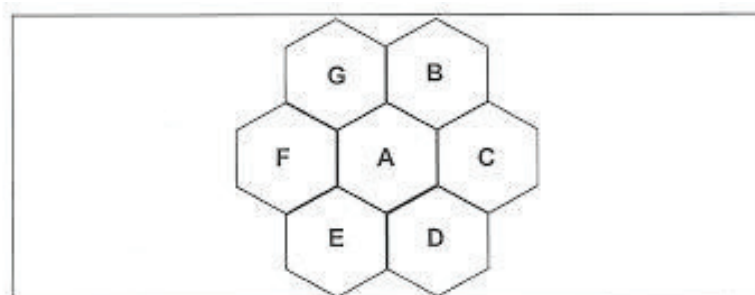
## Κεφάλαιο 3: Το κυβελωτό δίκτυο

### 3.1 Δομή

Η κατασκευή ενός δικτύου GSM γίνεται με το να διαιρέσουμε μία γεωγραφική περιοχή σε μικρά μέρη τα οποία ονομάζουμε κυψέλες. Κάθε κυψέλη έχει

τουλάχιστον ένα σταθμό βάσης (Base Station). Οι κυψέλες εφάπτονται μεταξύ τους σχηματίζοντας νοητά εξάγωνα δημιουργώντας ένα δίκτυο με πολλές κυψέλες, τη μία δίπλα στην άλλη.

Το όνομα για την δομή των δικτύων κινητής τηλεφωνίας δεν είναι καθόλου τυχαίο, αφού η ιδέα προέρχεται από τη κυψέλη των μελισσών. Το εξαγωνικό της σχήμα είναι το πιο κατάλληλο διότι απλώνεται όμορφα στο χώρο καλύπτοντας κάθε χρήστη σε κάθε περιοχή και ταυτόχρονα χωρίς να εισβάλει σε κάποια γειτονική. Αν πχ χρησιμοποιούσαμε τετραγωνικό σχήμα για την κάλυψη των δικτύων, οι χρήστες των κινητών τηλεφώνων οι οποίοι βρίσκονταν στις γωνίες του τετραγώνου, δεν θα είχαν καθόλου καλό σήμα, λόγω αδυναμίας των κεραιών να μπορούν να καλύψουν σε τέτοια σημεία. Αυτό θα γινόταν αν χρησιμοποιούσαμε κάθε σχήμα το οποίο έχει κλειστές γωνίες όπως ορθογώνιο, τρίγωνο, ρόμβο κτλ. Αν χρησιμοποιούσαμε το κυκλικό σχήμα, για να μπορέσουμε να καλύψουμε κάθε περιοχή, ο ένας κύκλος θα εισέρχονταν μέσα σε άλλους με αποτέλεσμα την παρεμβολή του σήματος. Αυτό δεν το θέλουμε σε καμία περίπτωση γιατί κάθε σταθμός βάσης εκπέμπει διαφορετικό εύρος συχνοτήτων από τους γειτονικούς του και οι παρεμβολές θα μέρδευαν το κινητό τηλέφωνο. Το ραδιοσήμα του σταθμού βάσης πρέπει να είναι τόσο ισχυρό ώστε να φθάνει στα κινητά τηλέφωνα τα οποία βρίσκονται στα όρια της κυψέλης, αλλά δεν πρέπει να είναι υπερβολικά ισχυρό γιατί θα δημιουργούσε παρεμβολές στα σήματα των γειτονικών κυψελών. Ένα παράδειγμα επτά κυψελών (A,B,C,D,E,F,G) που το καθένα εκπέμπει διαφορετικό εύρος συχνοτήτων φαίνεται παρακάτω.



Ε 3.1.1: Δομή κυψελοειδούς δικτύου

### 3.2 Τύποι κυψελών

Υπάρχουν διαφορετικών ειδών τύποι κυψελών οι οποίοι καλύπτουν διαφορετικό εύρος απόστασης και η επιλογή γίνεται σύμφωνα με τον αριθμό των κινητών μονάδων και τις γεωγραφικές δυσκολίες τις περιοχής.

Τα Macrocell είναι ο μεγαλύτερος από τους τύπους κυψελών ο οποίος χρησιμοποιείται για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων έως και 35 χιλιόμετρα. Η ισχύς των κεραιών είναι μεγάλη σε τιμές που μπορεί να φθάσουν και τα 22 Watt. Οι κεραιές των κυψελών αυτών συνήθως τοποθετούνται σε λόφους, υπαίθριους ψηλούς

μεταλλικούς πυλώνες, ταρατσες πολυκατοικιών και είναι κατάλληλες σε αγροτικές ή ημιαστικές περιοχές και συχνά αποκαλούνται standard base stations.

Ο δεύτερος τύπος κυψελών είναι ο Microcell. Ο συγκεκριμένος τύπος κεραιών παρέχει κάλυψη έως και 2 χιλιομέτρων. Έχει μικρότερη ισχύς από το macrocell η οποία δεν ξεπερνά τα 10 Watt. Τα microcell χρησιμοποιούνται σε διαφορά σημεία περισσότερο μέσα σε πόλεις για να προσθέσουν χωρητικότητα στο δίκτυο, σε περιοχές που απαιτείται μεγάλη χρήση τηλεφωνικών υπηρεσιών. Τέτοιου είδους περιοχές μπορεί να είναι πολυσύχναστοι δρόμοι, αστικά κέντρα, πλατείες, σταθμοί τρένων, γήπεδα ή αθλητικά κέντρα.

Οι σταθμοί βάσης των Pico cell έχουν ακόμη μικρότερη κάλυψη η οποία δεν ξεπερνά τα 200 μέτρα. Χρησιμοποιούνται για να προσθέσουν χωρητικότητα στο δίκτυο όπως και τα microcell αλλά επίσης είναι κατάλληλα και σε πολυσύχναστα κτίρια τα οποία δεν έχουν καλό σήμα στο εσωτερικό τους. Έχουν χαμηλότερη ισχύς και συνήθως οι κεραιές τους τοποθετούνται πάνω σε τοίχους ή οροφές κτηρίων. Είναι κατάλληλα για χρήση σε mall, γραφεία, αεροδρόμια και στάδια.

Τέλος υπάρχει και η κατηγορία των Femtocell με κάλυψη που φθάνει μόνο τα 10 μέτρα, με κεραιές που έχουν πολύ μικρή ισχύ. Χρησιμοποιείτε για να καλύψει κενά σε κτίρια τα οποία δεν υπάρχει καλό σήμα όπως σε σπίτια, μικρές εταιρίες και υπόγεια και φυσικά να αυξήσει και τη χωρητικότητα της περιοχής.

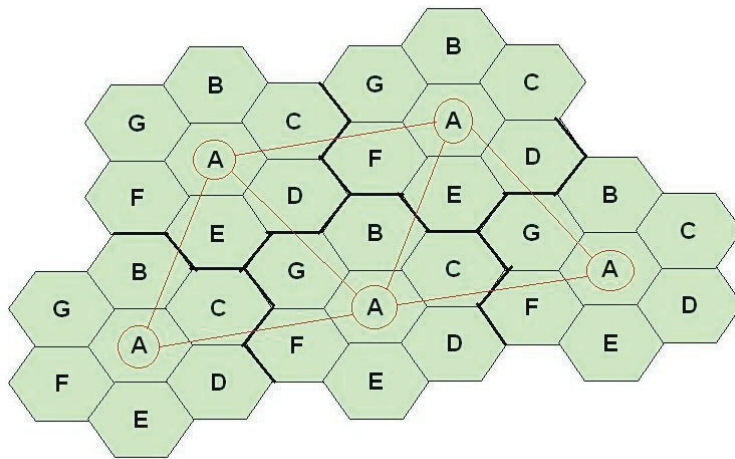
### 3.3 Ισχύς κεραιών

Μιλώντας για την ισχύ εκπομπής μιας κεραιάς, μπορούμε να πούμε ότι η αύξηση της ισχύος συνεπάγεται με την μεγαλύτερη κάλυψη περιοχών αλλά όπως είπαμε και παραπάνω δεν είναι πάντα αυτό η καλύτερη επιλογή διότι σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όσο περισσότεροι είναι οι σταθμοί βάσης, τόσο μικρότερη θα είναι η ισχύς εκπομπής τους.

Άλλο ένα μείζων πρόβλημα της αυξημένης ισχύς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των σταθμών βάσης για περιοχές μεγαλύτερης εμβέλειας είναι ότι εκτός από την ακτινοβολία της κεραιάς του σταθμού βάσης έχουμε και την ισχύ που εκπέμπει η κεραιά του κινητού τηλεφώνου η οποία αλληλοεπιδρά με το σταθμό βάσης. Το κινητό τηλέφωνο όσο απομακρύνεται από τον σταθμό βάσης τόσο μεγαλύτερη ισχύς εκπέμπει για να συνδεθεί. Άρα είναι προτιμότερο για την υγεία μας να χρησιμοποιούμε σταθμούς βάσης μικρότερης ισχύος όπως επίσης και να είμαστε κοντά στο σταθμό βάσης παρά στα όρια της κυψέλης του.

### 3.4 Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων

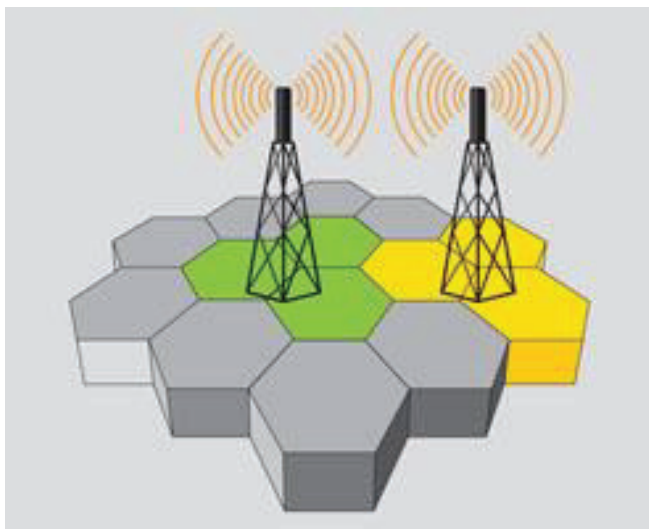
Το πρόβλημα πριν τη χρήση του GSM, ήταν ο πολύ περιορισμένος αριθμός των χρηστών που μπορούσε να πραγματοποιήσει φωνητική κλήση την ίδια χρονική στιγμή. Σε αυτό ήρθε και έδωσε λύση η κυψελοειδής δομή σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση των καναλιών. Οι γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν διαφορετικές συχνότητες για να μην υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα ευρύτερης δομής κυψελοειδούς δικτύου βλέπουμε στην (Εικόνα 3.4.1) όπου κάθε κυψέλη “Α” έχει έξι γειτονικές κυψέλες γύρω της οι οποίες χρησιμοποιούν διαφορετικά κανάλια και συχνότητες από αυτήν και ο σκοπός μας είναι να επαναχρησιμοποιήσουμε τα ίδια κανάλια σε κυψέλες που είναι μακριά. Έτσι λοιπόν αυτή η δομή των επτά κυψελών (Α,Β,С,Д,Е,Ф,Г) επαναλαμβάνεται συνεχώς στον γύρω χώρο και εφόσον κάθε κυψέλη “Α” απέχει από την επόμενη κυψέλη “Α” μια ικανοποιητική απόσταση, δεν υπάρχει πρόβλημα παρεμβολής.



Ε 3.4.1: Παραδείγματα ευρύτερης δομής κυψελοειδούς δικτύου

Άλλη μία διαφορετική δομή δικτύου πιο συνηθισμένη είναι αυτή που φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.4.2) στην οποία ο κάθε σταθμός βάσης αποτελείται από τρεις κεραιές και παρέχει τηλεπικοινωνιακή κάλυψη δίνοντας σήμα σε τρεις κυψέλες οι οποίες βρίσκονται γύρω του.





Ε 3.4.2: Παραδείγματα ευρύτερης δομής κυψελοειδούς δικτύου

Για την κατασκευή ενός κυψελωτού δικτύου θα πρέπει να καθορίσουμε την απόσταση και τον αριθμό των κυψέλων που πρέπει να παρεμβληθούν ανάμεσα σε δύο κυψέλες που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα, καθώς και να περιορίσουμε την ισχύ του σήματος που διαφεύγει στις γειτονικές κυψέλες, έτσι ώστε η τιμή της να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρή. Δεν είναι δυνατόν να μηδενίσουμε το φαινόμενο της παρεμβολής, διότι δεν μπορούμε να περιορίσουμε την ακτινοβολία σε πολύ συγκεκριμένα επίπεδα, όπως επίσης έχουμε και τα φυσικά φαινόμενα της διασποράς, της διάθλασης, της ανάκλαση και της σκέδασης που κάνουν τα πράγματα ακόμη πιο δύσκολα. Όμως πρέπει να βρεθούν τα άνω όρια της ποσότητας των παρεμβολών και να περιοριστούν σε τιμές που να μην επηρεάζουν την ποιότητα του σήματος. Τέλος η παρεμβολή από γειτονικά κανάλια μπορεί να ελεγχθεί με φίλτρα εκπομπής και λήψης.

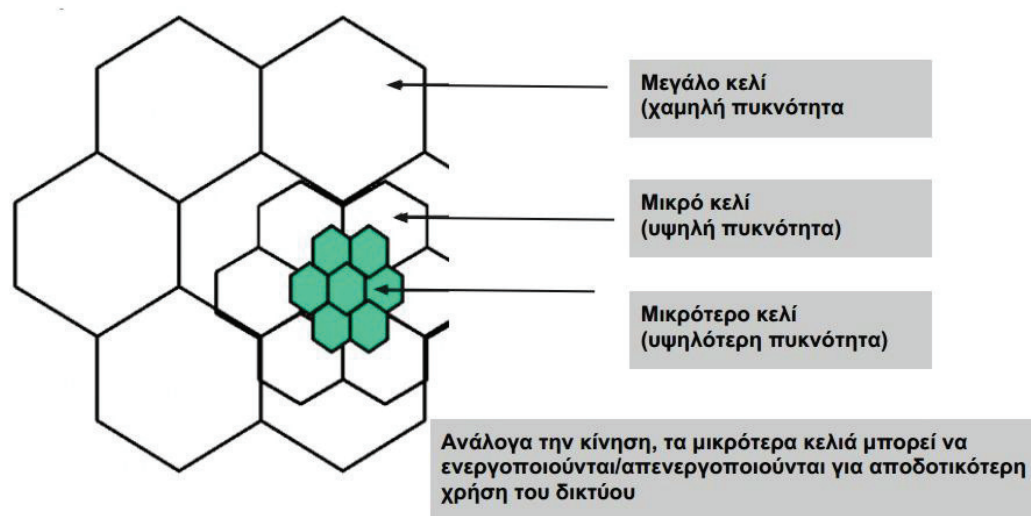
### 3.5 Κυψελοειδής διάσπαση

Όπως είπαμε και παραπάνω το μέγεθος κάθε κυψέλης εξαρτάται από την κάθε περιοχή και από τον αριθμό των συνδρομητών του δικτύου σε αυτή τη περιοχή. Κάθε κεραία έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει συγκεκριμένο αριθμό κλήσεων ταυτόχρονα. Εάν όμως μία περιοχή έχει αυξημένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση και ο αριθμός των συνομιλιών είναι μεγαλύτερος, τότε η κεραία θα υπερφορτωθεί και κάποια στιγμή δεν θα υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια για επιπλέον κλήση.

Τότε ενεργοποιείτε η διαδικασία της κυψελοειδούς διάσπασης, κατά την οποία διασπάται μια κυψέλη σε μικρότερες. Εγκαθίσταται δηλαδή και μια δεύτερη ή και μια τρίτη κεραία, ανάλογα με την κίνηση των συνδρομητών που πρέπει να εξυπηρετήσει. Κάθε μια από τις μικρότερες κυψέλες μπορεί και εξυπηρετεί τον ίδιο

αριθμό συνδρομητών που εξυπηρετούσε η αρχική. Για την σωστή λειτουργία του δικτύου υπάρχει ελάττωση της ισχύος της κεραίας. Για την κάλυψη ακόμα μεγαλύτερων απαιτήσεων μπορεί να γίνει διάσπαση των κελιών που ήδη έχουν υποστεί διάσπαση (Εικόνα 3.5.1). Έτσι η χωρητικότητα του συστήματος αυξάνεται συνεχώς χωρίς να υπάρχει ανάγκη αύξησης του διατιθέμενου φάσματος συχνοτήτων.

Τέτοιου είδους περιοχές μπορεί να είναι το κέντρο μιας πόλης, σταθμοί μετρό, πλατείες ή γήπεδα όπου ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται δραματικά σε ώρες αιχμής με αποτέλεσμα να μην επαρκούν οι συχνότητες του σταθμού βάσης της συγκεκριμένης κυψέλης για την εξυπηρέτηση των επικοινωνιακών αναγκών εκείνης της περιοχής.



Ε 3.5.1: Σύστημα Κυψελοειδούς διάσπασης

### 3.6 Μεταγωγή (Handover)

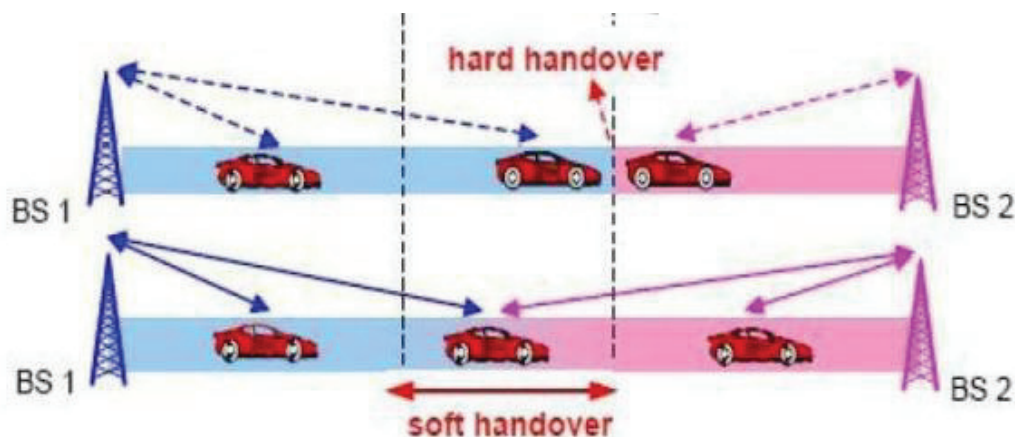
Μεταγωγή έχουμε όταν μία κινητή μονάδα η οποία βρίσκεται σε κίνηση αλλάξει την επικοινωνία της από ένα σταθμό βάσης σε ένα άλλο επειδή η ισχύς του σήματος του προηγούμενου σταθμού βάσης δεν είναι πλέον ικανοποιητική. Αυτό συμβαίνει όταν ο χρήστης του κινητού πλησιάζει στα όρια της κυψέλης. Τότε η ελάττωση του σήματος γίνεται αυτόματα αντιληπτό από το σύστημα, το οποίο μεταγεί τη ζεύξη σε κάποιο γειτονικό σταθμό βάσης που διαχειρίζεται διαφορετικές συχνότητες και έχει ισχυρότερο σήμα. Η εναλλαγή κυψέλης διαρκεί μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου και έτσι ο χρήστης του κινητού ο οποίος βρίσκεται σε φωνητική κλήση δεν αντιλαμβάνεται τίποτα.

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι μεταγωγής:

- Μεταγωγή καναλιών στην ίδια κυψέλη
- Μεταγωγή σε κυψέλες που ελέγχονται από το ίδιο BSC
- Μεταγωγή σε κυψέλες που ελέγχονται από διαφορετικά BSC αλλά από το ίδιο MSC
- Μεταγωγή σε κυψέλες που ελέγχονται από διαφορετικά MSC

Οι δυο πρώτοι τύποι που ελέγχονται από τον ίδιο βασικό σταθμό ελέγχου BSC αναφέρονται ως εσωτερικά handover και όπως είπαμε ελέγχονται από το BSC και το κέντρο διανομής MSC ενημερώνεται στο τέλος όταν ολοκληρωθεί η μεταγωγή. Οι δύο τελευταίοι τύποι ονομάζονται εξωτερικά handover και η διαχείριση τους γίνεται από τα MSCs.

Υπάρχουν επίσης και άλλοι δυο τύποι handover, ο σκληρός και ο μαλακός τρόπος μεταγωγής. Στην αρχή στα δίκτυα GSM χρησιμοποιήθηκε ο σκληρός τρόπος μεταγωγής (hard handover), όπου πρώτα απελευθερώνεται το κανάλι από το σταθμό που βρίσκεται και μετά γίνεται η σύνδεση στον επόμενο. Δηλαδή η ταυτόχρονη λήψη και από τα δύο κανάλια δεν είναι δυνατή, γι αυτό το λόγο αποκαλείτε και ως break-before-make. Αργότερα στις επόμενες γενιές είχαμε και την μαλακή μεταγωγή (soft handover) όπου το κανάλι στον αρχικό σταθμό βάσης χρησιμοποιείται παράλληλα με τον το σταθμό βάσης που θα γίνει η μεταγωγή και αποκαλείτε ως make-before-break.



Ε 3.6.1: Σύγκριση του hard handover με το soft handover

Μία κινητή συσκευή ελέγχει συνεχώς την ένταση του σήματος που λαμβάνει από το σταθμό βάσης της κυψέλης της οποία βρίσκεται αλλά και από τις γειτονικές κυψέλες ώστε να μπορεί να επιλέξει το κατάλληλο σταθμό βάσης για την καλύτερη επικοινωνία. Υπάρχουν δύο ειδών αλγόριθμοι που επιλέγονται για την μεταγωγή:

- Ο αλγόριθμος «μικρότερης επιτρεπτής απόδοσης» όπου όταν το σήμα πέσει κάτω από ένα επίπεδο, η ισχύς στον κινητού αυξάνεται και εάν δεν βελτιωθεί τελικά το σήμα δημιουργείται η μεταγωγή.
- Ο αλγόριθμος «προϋπολογισμού ισχύος» στον οποίο η μεταγωγή γίνεται άμεσα, χωρίς την αύξηση εκπομπής της ισχύος του κινητού.

## Κεφάλαιο 4: Αρχιτεκτονική

### 4.1 Κινητή Μονάδα

Η αρχιτεκτονική των δικτύων χωρίζεται σε τρεις βασικούς τομείς. Όλα ξεκινούν ή καταλήγουν με τη κινητή μονάδα και είναι η συσκευή με την οποία οι χρήστες είναι πιο εξοικειωμένοι γιατί έρχονται κατευθείαν σε επαφή. Τα κινητά τηλέφωνα βρίσκονται μέσα στις κυψέλες και επικοινωνούν με το δίκτυο μέσω της ραδιοεπαφής. Όταν μια κινητή μονάδα είναι ενεργεί, επικοινωνεί περιοδικά με το σταθμό βάσης που δίνει κάλυψη στη συγκεκριμένη περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο, το κινητό τηλέφωνο δίνει το στίγμα του στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, ώστε να μπορεί ο χρήστης να πραγματοποιήσει ή να δεχθεί μια κλήση σε κάθε σημείο στο οποίο βρίσκεται.

Τα κινητά τηλέφωνα λειτουργούν στέλνοντας και λαμβάνοντας τη φωνή, τα μηνύματα και τα δεδομένα ασύρματα μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνδεδεμένα με τον σταθμό βάσης της κυψέλης του. Μπορούν να κινούνται συνεχώς στο χώρο και να αλλάζουν κυψέλες δίχως να δημιουργείτε κανένα απολύτως πρόβλημα λόγω της μεταγωγής. Παρέχει μικρόφωνο, μεγάφωνο, οθόνη, μπαταρία επεξεργαστή κτλ ώστε να μπορούμε να το χρησιμοποιούμε για να επικοινωνήσουμε, να πλοηγηθούμε στο internet, να ενημερωθούμε ή να διασκεδάσουμε, αφού πλέον οι λειτουργίες και οι εφαρμογές του είναι πάρα πολλές.

Κάθε κινητή μονάδα χρησιμοποιεί μια κάρτα SIM (Subscriber Identity Module). Με αυτή την κάρτα γίνεται η ταυτοποίηση του συνδρομητή και η σύνδεση του στο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Χωρίς την κάρτα SIM ο χρήστης δεν μπορεί να κάνει πραγματοποίηση κλήσεων ούτε αποστολή SMS ούτε να κάνει χρήση δεδομένων. Η κάρτα SIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές κινητές μονάδες παρέχοντας λοιπόν στο συνδρομητή το δίκτυο και τις υπηρεσίες τις οποίες είναι εγγεγραμμένος από οποιαδήποτε κινητή μονάδα.

Η SIM προστατεύεται για λόγους ασφαλείας από έναν τετραψήφιο Προσωπικό Αριθμό Ταυτότητας το γνωστό σε εμάς PIN (Personal Identification Number). Για να πραγματοποιήσει η κάρτα SIM ταυτοποίηση του συνδρομητή στο δίκτυο χρησιμοποιεί διάφορες παραμέτρους όπως το Διεθνή Αριθμό Ταυτότητας του Κινητού Συνδρομητή IMSI (International Mobile Subscriber Identity) ο οποίος εκπέμπεται όταν ανοίγουμε ή κλείνουμε το κινητό ώστε να φαίνεται στο δίκτυο αν είμαστε ενεργεί και εάν όχι να αποφεύγονται οι άσκοπες κλήσεις, IMEI (International Mobile Equipment Identity) για την ταυτότητα της κινητής μονάδας το οποίο βρίσκεται συνήθως κάτω από τη μπαταρία ή μπορούμε να το δούμε πληκτρολογώντας «\*#06#» και τέλος το Ki (Authentication Key) για το κλειδί ελέγχου γνησιότητας.

## 4.2 Υποσύστημα Σταθμού Βάσης (BSS)

Το Υποσύστημα Σταθμού Βάσης (Base Station Subsystem) διαχειρίζεται τις κλήσεις με ένα σύνολο εγκαταστάσεων μιας εταιρείας κινητής τηλεφωνίας που τοποθετούνται σε μια περιοχή για την υποστήριξη του ασύρματου δικτύου της. Αυτό γίνεται με ένα σύνολο κεραιών, όπου κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Οι σταθμοί Βάσης συνδέονται με ένα κέντρο, από το οποίο λαμβάνουν τις συνομιλίες που πρέπει να διαβιβάσουν σε κάποιο κινητό τηλέφωνο στην κυψέλη τους, και στο κέντρο αυτό διαβιβάζουν τις συνομιλίες που διενεργούνται από κάποιο κινητό τηλέφωνο στην κυψέλη τους.

Οι σταθμοί βάσης BSS αποτελούνται από κεραιοσυστήματα εκπομπής και λήψης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, καθώς και ηλεκτρονικό εξοπλισμό για την επεξεργασία των σημάτων αυτών. Τα κεραιοσυστήματα των σταθμών βάσης βρίσκονται τοποθετημένα πάνω σε μεταλλικούς πυλώνες ή ιστούς. Για να παρέχεται ικανοποιητική κάλυψη οι κεραιές πρέπει να τοποθετούνται σε μεγάλο ύψος. Συνηθέστερα τις βλέπουμε σε τάρτσες πολυκατοικιών ή στην ύπαιθρο σε ψηλούς μεταλλικούς πυλώνες. Κάθε BSS έχει δύο ειδών εξοπλισμό, το BTS (Βασικό Υποσύστημα Σταθμού) και το BSC (Βασικός Σταθμός Ελέγχου).

### 4.2.1 BTS

Το BTS (Base Transceiver Station - Βασικό Υποσύστημα Σταθμού) αποτελείται από ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό για την εκπομπή και λήψη του σήματος, όπως την κεραία, καθώς επίσης και hardware υλικό που είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία του σήματος, όπως αυτή ορίζεται από τα πρότυπα. Κάθε BTS μπορεί να εξυπηρετεί μία έως τρεις κυψέλες. Οι κεραιές που χρησιμοποιούνται είναι τύπου πάνελ κατευθυντικές (panel-shaped sector antennas) ή πιο σπάνια ομοιοκατευθυντικές (pole-shaped omni antennas). Έχουν συνήθως μακρόστενο σχήμα και τοποθετούνται κατακόρυφα. Στους σταθμούς βάσης σε αστικό και προαστιακό περιβάλλον, οι σταθμοί βάσης αποτελούνται συνήθως από 3 κατευθυντικές κεραιές που τοποθετούνται περιμετρικά και εξυπηρετούν ορισμένες περιοχές του χώρου δημιουργώντας το σχήμα της κυψέλης. Αυτές οι κεραιές αποτελούνται από ορθογώνια πλαίσια, με διαστάσεις που κυμαίνονται στο εύρος 0.3 με 1.2 μέτρα. Σε αγροτικές περιοχές μπορεί να συναντήσουμε και τις ομοιοκατευθυντικές κεραιές, οι οποίες μοιάζουν με στύλους ύψους 3 με 4.5 μέτρων.

Σημαντικό τμήμα του BSS είναι η μονάδα προσαρμογής ρυθμού Κωδικοποίησης/Αποκωδικοποίησης TRAU (Transcoder Rate Adaptation Unit) το οποίο μετατρέπει τον ρυθμό του σήματος ομιλίας και δεδομένων των 16 kbps σε 64 kbps και αντίστροφα. Έτσι, 4 κανάλια κίνησης των 16 kbps μπορούν να πολυπλεχθούν σε ένα των 64 kbps για τη μετάδοσή τους από το BSC στο MSC.

Επίσης κάθε BTS αναλαμβάνει τον έλεγχο ισχύος, δηλαδή ρυθμίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής των κινητών της περιοχής του, ώστε όλα τα λαμβανόμενα σήματα να φτάνουν σε αυτόν με το ίδιο περίπου πλάτος. Έτσι αποφεύγονται παρεμβολές του τύπου μιας κινητής μονάδας που βρίσκεται κοντά στον BTS να επικαλύπτει ένα άλλο κινητό που βρίσκεται πιο μακριά. Τέλος οι λειτουργίες του BTS εντοπίζονται κυρίως στο φυσικό στρώμα και δεν μπορεί να διαχειριστεί κάποιες από τις υψηλότερου επιπέδου λειτουργίες του δικτύου. Εδώ έρχεται να παίξει το ρόλο του το BSC.



Ε 4.2.1.1: Σταθμός Βάσης

#### 4.2.2 BSC

Το BSC (Base Station Controller - Βασικός Σταθμός Ελέγχου) λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ των σταθμών βάσης BTS με το εσωτερικό του δικτύου. Είναι το πρώτο τμήμα του δικτύου το οποίο συναντάμε και κάνει διαχείριση των κλήσεων των συνδεδεμένων BTS. Συνήθως βρίσκονται σε κάποιο κτήριο εσώκλειστα, σε ράκ περίπου δύο μέτρων (Εικόνα 4.2.2.1). Κάθε BSC ελέγχει ένα ή περισσότερα BTS και τα οποία χρησιμοποιούν μικροκυματικές κεραίες για την ασύρματη διασύνδεση του σταθμού βάσης με τα κέντρα μεταγωγής του NSS. Μερικές φορές όμως η σύνδεση μπορεί να γίνει και με χρήση υπόγειων καλωδίων. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι σταθμοί βάσης μεταδίδουν τις κλήσεις τους στο κέντρο ενσύρματα με κάποιο μισθωμένο κύκλωμα και δεν έχουν καμία μικροκυματική ζεύξη.

Οι μικροκυματικές κεραίες μοιάζουν με κυλινδρικά τύμπανα (dish antenna) κάθετα τοποθετημένα και είναι υπερκατευθυντικές, εκπέμποντας μια πολύ στενή δέσμη και χρειάζονται δύο όμοιες κεραίες, από μία σε κάθε άκρο της σύνδεσης (point to point) για να αποκατασταθεί μια ζεύξη. Όλη η ακτινοβολία συγκεντρώνεται στη

κατεύθυνση της ευθείας που συνδέει τις δύο κεραιές και η ακτινοβολία που διαφεύγει εκτός αυτής είναι σχεδόν μηδενική.

Για να αποκατασταθεί η σύνδεση απαιτείται να μην παρεμβάλλεται τίποτα στη νοητή ευθεία μεταξύ των δύο κεραιών. Όμως μερικές φορές είναι αδύνατο να δημιουργηθεί μια απευθείας σύνδεση μεταξύ ενός σταθμού βάσης και του κέντρου του και έτσι χρησιμοποιείται κάποιος άλλος σταθμός βάσης ως ενδιάμεσος. Στις περιπτώσεις αυτές ο ενδιάμεσος σταθμός βάσης θα έχει περισσότερες από μία μικροκυματικές κεραιές.

Οι βασικές λειτουργίες του BSC είναι η διαχείριση του ραδιοφωνικού δικτύου όπως ο έλεγχος των ραδιοσυχνοτήτων, να καθορίζει τα κανάλια επικοινωνίας (RR, Radio Resource Management) και την ρύθμιση των κλίσεων ειδοποιώντας τις κινητές μονάδες για εισερχόμενες κλήσεις (Paging) καθώς και την μετατροπή της κωδικοποίησης των ασύρματων καναλιών σε συμβατή μορφή προς την PCM κωδικοποίηση, η οποία χρησιμοποιείται στο εσωτερικό του δικτύου, και την μεταγωγή (Handover).



Ε 4.2.2.1: Το hardware ενός BSC

### 4.3 Υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής (NSS)

Ο κύριος ρόλος του NSS (Network Switching Subsystem) είναι να κάνει τις βασικές διαδικασίες μεταγωγής για την επικοινωνία δύο συνδρομητών μέσω διαδοχικών ενδιάμεσων κόμβων. Διαχειρίζεται την επικοινωνία των χρηστών κινητής



τηλεφωνίας αλλά και άλλων συνδρομητών εξωτερικών δικτύων. Επίσης περιλαμβάνει βάσεις δεδομένων που είναι απαραίτητες για την αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με τους συνδρομητές τους ώστε να μπορούν να διαχειρισθούν με επιτυχία την μετακίνησή τους.

### 4.3.1 MSC

Πηγαίνοντας λίγο παραπάνω στην ιεραρχία του τηλεπικοινωνιακού δικτύου βρίσκουμε το MSC Mobile Switching Center (κέντρο μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας). Το BSC δεν έχει συνολική αντίληψη του δικτύου και δεν έχει φυσική διασύνδεση με άλλα δίκτυα ή άλλα BSC. Για αυτό και ελέγχεται από το MSC, ένα τηλεπικοινωνιακό κόμβο ο οποίος είναι ανώτερος στην ιεραρχία του δικτύου.

Το MSC ελέγχει έναν αριθμό από BSC, δηλαδή έναν αριθμό από κελιά που συγκροτούν την Περιοχή Εξυπηρέτησης MSC (MSC Service Area) για να είναι σε επαφή με τους χρήστες του τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Επίσης επικοινωνεί με άλλα MSC του ίδιου φορέα αλλά και με εξωτερικά δίκτυα όπως PSTN, ISDN και MSC άλλων εταιριών μέσω του GMSC, για το οποίο θα μιλήσουμε αναλυτικότερα παρακάτω.

Το MSC είναι ένα πλήρες ISDN τηλεφωνικό κέντρο που εκτελεί τις βασικές διαδικασίες μεταγωγής και συντονίζει την δημιουργία των κλήσεων με την δρομολόγηση σημάτων και δεδομένων. Δηλαδή δέχεται τις κλήσεις και τις προωθεί στον άλλο συνδρομητή. Ακόμη το MSC είναι υπεύθυνο για την χρέωση της κάθε κλήσης και των προσφερόμενων υπηρεσιών και τέλος έχει και κάποιες άλλες λειτουργίες όπως η πιστοποίηση των συνδρομητών, ο έλεγχος της κινητικότητας και του εντοπισμού των χρηστών (Mobility Management) αλλά και το handover.

Το GMSC Gateway MSC (Διαβιβαστικό Κέντρο Κινητής Τηλεφωνίας) είναι ένας κόμβος που διασυνδέει δύο κέντρα διαφορετικών δικτύων, είτε κάποιο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας PSTN είτε κάποιο δίκτυο μιας άλλης εταιρίας κινητής τηλεφωνίας, πχ για την δρομολόγηση των κλήσεων από ένα σταθερό δίκτυο προς ένα τηλεπικοινωνιακό και αντίστροφα. Επίσης είναι υπεύθυνο για την ανάκτηση πληροφοριών θέσης και για την δρομολόγηση της κλήσης προς τα MSC μέσω κάποιων βάσεων δεδομένων.

Οι λειτουργίες του MSC προϋποθέτουν ένα μεγάλο εύρος πληροφοριών που ουσιαστικά αφορούν το σύνολο των συνδρομητών του δικτύου, εφόσον κάθε συνδρομητής μπορεί να βρεθεί στην περιοχή εξυπηρέτησής του. Προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του MSC με γνώση που δεν είναι απαραίτητη σε μόνιμη αλλά μόνο σε περιστασιακή βάση, μια σειρά από πληροφορίες κατανέμονται σε μερικές βάσεις δεδομένων στις οποίες έχει πρόσβαση το MSC και μπορεί να τις ανακτήσει, όποτε αυτό είναι απαραίτητο.



### 4.3.2 Βάσεις Δεδομένων Του Δικτύου

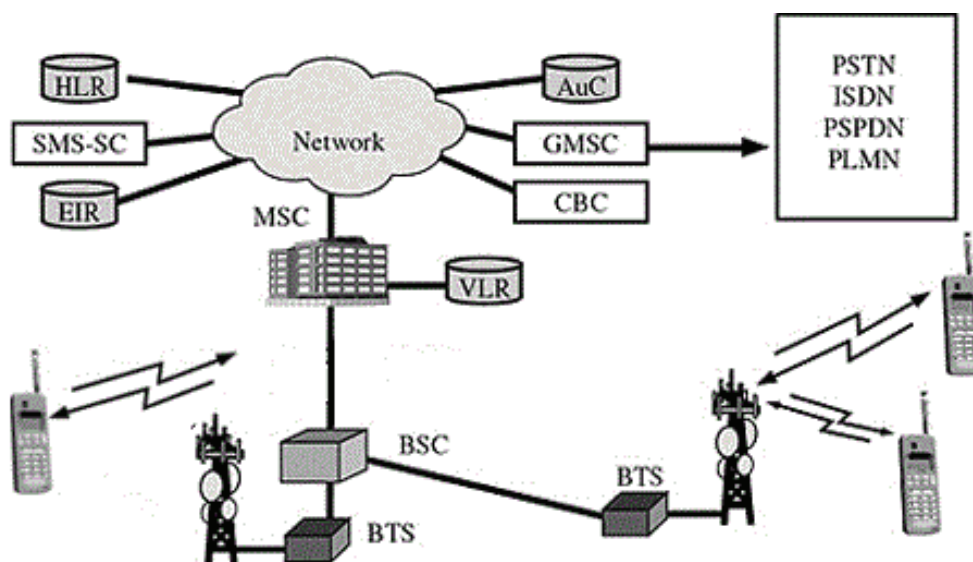
Στις βάσεις δεδομένων υπάρχουν όλες οι πληροφορίες για τις ταυτότητες των χρηστών και την αποδοχή τους από το δίκτυο, τις υπηρεσίες στις οποίες έχουν πρόσβαση, την θέση των κινητών μονάδων όπως επίσης και τις δυνατότητες της κάθε συσκευής για το τι υπηρεσίες μπορεί να υποστηρίξει. Όλες αυτές οι πληροφορίες βρίσκονται σε κάποιες βάσεις δεδομένων στις οποίες γίνεται πρόσβαση από το MSC όποτε αυτό χρειαστεί.

Τα στοιχεία όλων των συνδρομητών του δικτύου βρίσκονται στην Οικεία Βάση Δεδομένων HLR (Home Location Register). Η οικεία βάση δεδομένων HLR περιέχει κάποιες μόνιμες πληροφορίες όπως είναι το MSN (Mobile Subscriber number) δηλαδή ο τηλεφωνικός αριθμός του συνδρομητή, για το IMSI code (International Mobile Subscriber Identity), ο οποίος έχει 15 ψηφία και ταυτοποιεί τον συνδρομητή και αποτελεί τον συνδυαστικό κώδικα του MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number) με την κάρτα SIM του πελάτη (Subscriber Identity Module). Η HLR όμως περιέχει και πληροφορίες δυναμικού περιεχομένου τα οποία ενημερώνονται και αλλάζουν από το MSC, και σχετίζονται με την τρέχουσα θέση του συνδρομητή, δηλαδή το Location Area Code, που αντιστοιχεί στο MSC στο οποίο βρίσκεται ο συνδρομητής.

Τα στοιχεία των συνδρομητών που βρίσκονται στην Περιοχή Εξυπηρέτησης του MSC καταχωρούνται σε μία βάση δεδομένων Εγγραφής Επίσκεψης VLR (Visitor Location Register). Σε κάθε MSC αντιστοιχεί μια VLR και οι περιοχές κάλυψής τους ταυτίζονται. Όταν ένας συνδρομητής μπει στην περιοχή κάλυψης ενός MSC, τότε ο VLR αυτού του MSC ζητά πληροφορίες από το αντίστοιχο HLR που είναι καταγεγραμμένος ο νέος επισκέπτης. Επίσης ο VLR καταγράφει στις μνήμες του αρκετές πληροφορίες για τον συνδρομητή, ώστε να μην χρειάζεται κάθε φορά που ο συνδρομητής ζητά κάποια υπηρεσία (π.χ. σύνδεση, εισερχόμενη κλήση κλπ.) να ρωτά το οικείο του HLR. Τέλος όταν ο χρήστης αλλάξει περιοχή, γίνεται η διαγραφή του συνδρομητή από το συγκεκριμένο VLR.

Το κέντρο Πιστοποίησης AUC (Authentication Center) ασχολείται με την ασφάλεια των κλήσεων και τη δημιουργία κλειδιών κρυπτογράφησης όπου η πληροφορία πρώτα κωδικοποιείται και μεταδίδεται για να εξασφαλίζεται το απόρρητο της επικοινωνίας.

Η βάση δεδομένων EIR (Equipment Identity Register) έχει καταχωρημένα όλα τα IMEI δηλαδή τον αριθμό ταυτότητας όλων των συσκευών οι οποίες είναι καταχωρημένες στο δίκτυο και χρησιμοποιείτε για την προστασία της συσκευής από κλοπή. Σε περίπτωση κλοπής μπορούμε να δώσουμε τον αριθμό IMEI του κινητού μας στον πάροχο κινητής τηλεφωνίας και το τηλέφωνο να μπει σε μαύρη λίστα όπου δεν μπορούν να γίνουν πλέον κλήσεις από αυτό το κινητό κάνοντας το άχρηστο.



Ε 4.3.2.1: Αρχιτεκτονική Δικτύου

## Κεφάλαιο 5: Δίκτυα τρίτης γενιάς (3G)

### 5.1 UMTS

Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα με τη ραγδαία εξέλιξη στο χώρο της κινητής και ασύρματης επικοινωνίας έκαναν την εμφάνισή τους τα δίκτυα τρίτης γενιάς 3G, και συγκεκριμένα το 2001 εγκαταστάθηκε το πρώτο δίκτυο 3G στη Νορβηγία. Χαρακτηρίζεται από μια σειρά από νέα πρότυπα και τεχνολογίες όπως το UMTS, το W-CDMA και το CDMA2000 σαν συνέχεια του CDMA και αργότερα το HSPA και το HSPA+.

Ένα από τα σημαντικότερα πρότυπα της τρίτης γενιάς είναι το UMTS Καθολικό Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών (Universal Mobile Telecommunications System) αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε από το 3GPP (3rd Generation Partnership Project) για την συντήρηση και την υποστήριξη τεχνικών διευκρινίσεων της εφαρμογής των δικτύων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς. Παρόλο που το UMTS χρησιμοποιεί τελείως διαφορετική διεπαφή, τα στοιχεία του δικτύου έχουν προσαρμοστεί από την εισαγωγή του GPRS και του EDGE. Γι αυτό και η μετάβαση στο UMTS δεν χρειάστηκε μεγάλες επενδύσεις από του πάροχους κινητής τηλεφωνίας.

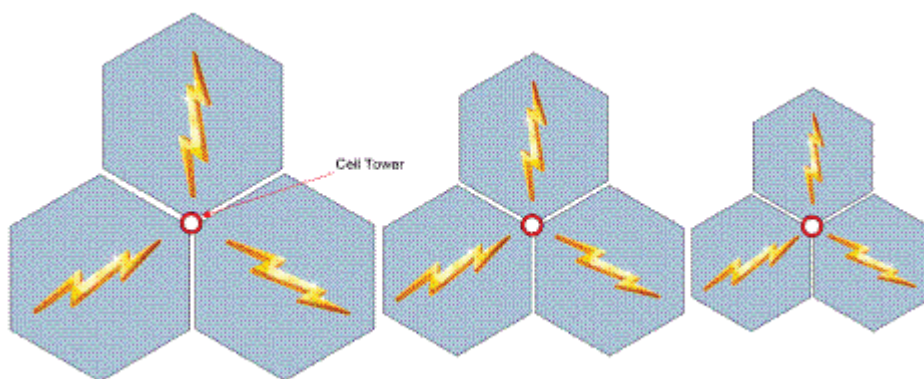
Το W-CDMA όπως και το CDMA2000 είναι τεχνολογίες τρίτης γενιάς οι οποίες βασίζονται πάνω στη τεχνολογία CDMA για την μετάδοση του σήματος από το κινητό στη κεραία του σταθμού βάσης και αντίστροφα. Μέχρι τότε στα δίκτυα GSM είχαμε την τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης TDMA, αλλά τα δίκτυα τρίτης

γενιάς χρησιμοποίησαν το W-CDMA και στο UMTS αλλά και αργότερα στο HSPA και HSPA+.

Το W-CDMA είναι πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης, το οποίο εκμεταλλεύεται την τεχνική εξάπλωσης του φάσματος συχνοτήτων (spread spectrum). Εκμεταλλεύονται ένα συγκεκριμένο εύρος για την διαχείριση όλης της κίνησης, διαφοροποιώντας την κάθε μετάδοση σήματος με την χρήση διαφορετικής κωδικής ακολουθίας. Με αυτήν την διαμόρφωση, το σήμα εξαπλώνεται σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης από εκείνο που απαιτείται για την μετάδοση του πακέτου δεδομένων. Στην πλευρά του δέκτη χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπίεση του εύρους ζώνης και την λήψη των αρχικών δεδομένων. Εφόσον υπάρχουν αρκετοί δέκτες στο σταθμό βάσης, είναι δυνατό να υπάρχουν και πολλαπλές επιτυχείς λήψεις.

Με άλλα λόγια, με το W-CDMA σε κάθε μετάδοση σήματος υπάρχει κωδικοποίηση από τη μεριά του πομπού και αποκωδικοποίηση των δεδομένων από τη μεριά του δέκτη. Δεσμεύει ένα κανάλι εύρους ζώνης 5 MHz μεταξύ κινητού και σταθμού βάσης (μεγαλύτερο από το κανάλι CDMA2000 που είναι 1.5 MHz) και μπορεί να μεταφέρει ταυτόχρονα πάνω από εκατό φωνητικές κλήσεις, όπως επίσης μετάδοση δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες και την παροχή υπηρεσιών multimedia. Με το UMTS η πρόσβαση των συνδρομητών στο δίκτυο μπορεί να γίνεται και ταυτόχρονα στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, επειδή υπάρχει η διαχώριση με τη χρήση κωδικών.

Επίσης το μέγεθος της κυψέλης που καλύπτει ο σταθμός βάσης δεν είναι πάντα σταθερό, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται. Αυτό συμβαίνει όταν ένας σταθμός UMTS είναι υπερφορτωμένος επειδή εκτέμπει μεγάλο όγκο πληροφοριών σε πολλά κινητά τηλέφωνα στην περιοχή κάλυψής του. Έτσι μειώνεται η ισχύς εκπομπής από την κεραία αυτή, ώστε να μικρύνει η περιοχή κάλυψης του σταθμού και να μειώνονται οι συνδρομητές που συνδέονται σε αυτόν. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται Cell Breathing (αναπνοή της κυψέλης).



E 5.1.1 Cell Breathing

Με τα δίκτυα UMTS χρησιμοποιούμε τη μαλακή μεταγωγή, δηλαδή μεταγωγή με τη δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης με δύο ή και περισσότερες κυψέλες, μέχρι την πλήρη σύνδεση στην άλλη. Ενώ στο GSM είχαμε μόνο σύνδεση με την κυψέλη που έχει το καλύτερο σήμα και η εναλλαγή κυψέλης γίνεται πρώτα με την διακοπή της σύνδεσης του ενός καναλιού και μετά με την σύνδεση στην επόμενη κυψέλη.

Σε αντίθεση με προηγούμενες τεχνολογίες που βασίζονται σε μετάδοση δεδομένων πάνω από απευθείας σύνδεση των δύο μερών (circuit-switched), οι τεχνολογίες που ανήκουν στην ομάδα τρίτης γενιάς βασίζονται σε υψηλής ταχύτητας μετάδοση δεδομένων μοιρασμένων σε πακέτα (packet-switched). Επίσης το EDGE και το CDMA2000 βασιζόταν στα δίκτυα GSM, ενώ το UMTS απαιτεί νέους σταθμούς βάσης και νέες ζώνες συχνοτήτων.

Η Τρίτη γενιά δικτύων ήταν μια πραγματική επανάσταση στη κινητή τηλεφωνία και τα **πλεονεκτήματα** της είναι πάρα πολλά. Παρακάτω θα αναφερθούν σύντομα μερικά από τα σημαντικότερα.

- Οι βίντεο-κλήσεις είναι χωρίς αμφιβολία μια από τις πιο πολυσυζητημένες υπηρεσίες των δικτύων 3G. Πλέον, εκτός από το να ακούμε το συνομιλητή μας, μπορούμε να τον βλέπουμε και ζωντανά στην οθόνη του κινητού μας. Φυσικά, θα πρέπει να έχουν και οι δυο συνομιλητές συμβατή συσκευή.
- Οι υψηλές ταχύτητες ασύρματης μεταφοράς δεδομένων, που κάνουν τη σύνδεση στο Internet να είναι ελεύθερη και άμεση για την χρήση διαφόρων multimedia εφαρμογών.
- Το video-streaming είναι μια ακόμη από τις υπηρεσίες που παρέχουν τα δίκτυα 3G. Το αυξημένο bandwidth επιτρέπει τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο, κινούμενης εικόνας και ήχου υψηλής ανάλυσης. Έτσι, θα μπορέσετε να παρακολουθήσετε τηλεοπτικά προγράμματα, ζωντανά ή μαγνητοσκοπημένα, ανεξαρτήτως τόπου και χρόνου.
- Υψηλής ποιότητας παιχνίδια, τα οποία θα μπορούν να παίζονται online σε πραγματικό χρόνο και ταυτόχρονα με άλλους παίκτες.
- Υπηρεσίες εύρεσης θέσεως, σε συνδυασμό με την τεχνολογία GPS, οι οποίες θα μπορούν να παρέχουν χάρτες τη περιοχής που βρισκόμαστε, εύρεση βέλτιστης διαδρομής προς τον προορισμό μας, γειτονικά σημεία ενδιαφέροντος κλπ.

## 5.2 HSPA

Το HSPA Πρόσβαση Υψηλής Ταχύτητας Πακέτων (High Speed Packet Access) είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο επιτρέπει τη σημαντική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων στην τότε υπάρχουσα τεχνολογία 3G, καθώς και τη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας σε δίκτυα W-CDMA. Αναφέρεται συνήθως ως τεχνολογία 3,5G που έκανε αναβάθμιση την υπάρχουσα τεχνολογία UMTS. Η

αναβάθμιση αυτή στην Ελλάδα ήρθε το 2006 από τα δίκτυα της Cosmote. Το HSPA αποτελείται από μια συγχώνευση δύο πρωτοκόλλων κινητής τηλεφωνίας, το HSDPA Πρόσβαση Υψηλής Ταχύτητας Λήψης Πακέτων (High Speed Downlink Packet Access) και το HSUPA Πρόσβαση Υψηλής Ταχύτητας Μεταφόρτωσης Πακέτων (High Speed Uplink Packet Access).

Το HSDPA παρουσιάστηκε από το 3GPP release 5 και επιτρέπει στα δίκτυα τα οποία είναι βασισμένα στο UMTS να έχουν αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες διακίνησης δεδομένων που βοηθούν πολύ τις υπηρεσίες όπως το video streaming, ταινίες και οτιδήποτε παρακολουθούμε live αφού μπορούμε να παρακολουθούμε αδιάκοπα και σε υψηλότερη ποιότητα. Επίσης έχουμε αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Το HSDPA βελτιστοποιεί τη φασματική απόδοση (spectral efficiency) των συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή διεκπεραιωτικότητα (throughput) και κατά συνέπεια να αυξάνεται η χωρητικότητα των δικτύων. Δηλαδή να μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα περισσότεροι χρήστες που επιχειρούν την πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων. Τέλος έχουμε μείωση της καθυστέρησης κατά την ασύρματη λήψη πληροφοριών όπως επίσης και στο χρόνο μετάδοσης μετ' επιστροφής (round-trip time) η οποία είναι η χρονική διάρκεια που απαιτείται για να μεταδοθεί ένα σήμα από τον αποστολέα στον παραλήπτη, συν την χρονική διάρκεια που απαιτείται για να σταλεί πίσω στον αποστολέα ή επιβεβαίωση της λήψης. Αυτό το σήμα είναι ένα πακέτο δεδομένων και ο χρόνος μετάδοσής του είναι περισσότερο γνωστό ως χρόνος ping.

Το HSUPA είναι το δεύτερο μεγάλο βήμα εξέλιξης του UMTS το οποίο έρχεται με την έκτη έκδοση του 3GPP release 6, με σκοπό την αποστολή δεδομένων με υψηλότερες ταχύτητες στην ανοδική ζεύξη καθώς και την περαιτέρω μείωση της λανθάνουσας καθυστέρησης (low latency). Αυτό βοήθησε σε μεγάλο βαθμό υπηρεσίες όπως το VoIP να είναι πιο αποδοτικές με καλύτερη ποιότητα φωνής και ήχου, online παιχνίδια με πιο άμεση απόκριση, προϊόντα αποθηκευτικού νέφους κ.α.

### 5.3 Evolved HSPA

Στη συνέχεια έβγαιναν συνεχώς καινούργιες πιο βελτιωμένες εκδόσεις από το 3GPP οι οποίες ονομάστηκαν ως Evolved High Speed Packet Access HSPA+, με κάθε καινούργια έκδοση να έχει πιο υψηλές ταχύτητες στην κάτω και στην άνω ζεύξη. Θεωρείτε ως η τελική αναβάθμιση των δικτύων τρίτης γενιάς γι αυτό και αναφέρονται συχνά ως 3,75G. Στην Ελλάδα η αναβάθμιση του HSPA+ έγινε το 2009 και οι ταχύτητες βελτιωνόταν με κάθε καινούργια έκδοση του HSPA+ release 7,8,9,10,11. Κάθε καινούργια έκδοση έχει βελτιώσεις από τις υπάρχουσες και δεν είναι μόνο στις ταχύτητες πλοήγησης. Έχουμε καλύτερη ποιότητα μετάδοσης φωνής, όπως και η καθυστέρηση είναι μικρότερη, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται να πάει το πακέτο από το ένα άκρο στο άλλο είναι χαμηλότερος.

Τέλος να αναφέρουμε ότι το HSPA+ υποστηρίζει την τεχνολογία MIMO multiple-input and multiple-output. Το MIMO χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές και επιπρόσθετη επεξεργασία σήματος στον πομπό και στο δέκτη. Το HSPA+ συγκεκριμένα χρησιμοποιεί δύο κεραιές μετάδοσης από τον πομπό για να μεταδώσει ορθογώνια steams δεδομένων στις δύο κεραιές του δέκτη, με μόνη διαφορά την ενδέκατη έκδοση του 3GPP που αντί MIMO 2x2 μπορεί να έχουμε MIMO 4x4.

## 5.4 Κινητά τηλέφωνα 3<sup>ης</sup> γενιάς

Τέλος να μιλήσουμε λίγο για τα κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς όπου όλο και πιο συχνά μέσα στη δεκαετία του 00' βλέπουμε την ραγδαία αύξηση των έξυπνων κινητών (Smartphones). Ήταν μια επανάσταση για τις κινητές συσκευές καθώς η εμφάνιση των Smartphones αλλά και οι λειτουργίες που παρείχαν πέρασαν σε άλλο στάδιο και α οποία εξέπληξαν με τις απεριόριστες δυνατότητες των πολυμέσων. Τα Smartphone λοιπόν έχουν μεγάλη υπολογιστική ικανότητα και συνδυάζουν τις ικανότητες μια κινητής συσκευής και ενός υπολογιστή. Στην αρχή το πληκτρολόγιο ήταν κουμπιά που θύμιζαν πληκτρολόγιο υπολογιστή και στη συνέχεια επικράτησαν οι οθόνες αφής. Τα Smartphone έχουν λειτουργίες των φορητών media players για αναπαραγωγή multimedia αρχείων, ψηφιακές κάμερες για φωτογραφίες υψηλής ποιότητας, βιντεοκάμερες οι οποίες σε πολλές συσκευές υπάρχουν και στο μπροστινό μέρος της οθόνης για βιντεοκλήσεις, μεγάλη μνήμη για αποθήκευση φωτογραφιών και βίντεο, έγχρωμες οθόνες υψηλής ανάλυσης, μονάδες πλοήγησης GPS, web browsers, πρόσβαση στο internet μέσω Wi-Fi και μέσω κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών.

Τα λειτουργικά συστήματα που έχουν επικρατήσει στα Smartphone και χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο είναι το Android της Google, το iOS της Apple και το Windows Phone της Microsoft. Αλλά υπήρξαν και πολλά άλλα όπως το Symbian της Nokia, το BlackBerry OS της RIM, το Bada της Samsung, ο webOS της Hewlett-Packard, καθώς και ενσωματωμένες διανομές Linux όπως το Maemo και το MeeGo. Τέτοιου είδους λειτουργικά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν σε πολλά διαφορετικά μοντέλα κινητών τηλεφώνων και συνήθως κάθε συσκευή μπορεί να λάβει πολλές ενημερωμένες εκδόσεις λογισμικού λειτουργικού συστήματος. Η συντριπτική πλειοψηφία των Smartphones κατασκευάζονται στην Κίνα, στην Ταϊβάν και στο Μεξικό, Εταιρείες με έδρα στις ΗΠΑ είναι η Apple, η HP και η Motorola, από Νότια Κορέα έχουμε την LG, και τη Samsung, από Ιαπωνία τη Sony, από Καναδά τη RIM, από Φινλανδία τη Nokia, και Ταϊβάν τη HTC.



Ε 5.4.1: Κινητά τηλέφωνα τρίτης γενιάς (3G)

## Κεφάλαιο 6: Δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G)

### 6.1 4G

Με τα τέταρτης γενιάς δίκτυα περνάμε στη σημερινή εποχή όπου η επικράτηση των ασύρματων επικοινωνιών έχει φτάσει σε επίπεδα που δεν θα μπορούσε να φανταστεί κανείς μερικές δεκαετίες πριν και από πολλούς αναφέρεται ως η γενιά του mobile internet. Παλαιότερα χρησιμοποιούσαμε τα κινητά για φωνητικές κλήσεις και για αποστολή γραπτών μηνυμάτων τώρα η μετάδοση της φωνής μέσω διαδικτύου με τη χρήση του VoIP από διάφορες εφαρμογές όπως το Viber, το Skype, το Facebook Messenger, το Google Hangouts, είναι μερικά ακόμη εργαλεία επικοινωνίας τα οποία προτιμούνται από μεγάλο μέρος του πληθυσμού, περισσότερο των νέων, λόγω της πολύ καλύτερης ποιότητας που έχουν αποκτήσει και της πολύ χαμηλής χρέωσης που έχουν.

Βλέπουμε το πάντρεμα των δικτύων κινητής τηλεφωνίας με την ευρυζωνική σύνδεση δικτύων, όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα πλέον να επιλέξει τον τρόπο επικοινωνίας που θέλει και τον βολεύει ανάμεσα στα κυβελωτά δίκτυα τηλεπικοινωνιών ή τα δίκτυα ασύρματων δεδομένων. Έτσι λοιπόν οι τηλεπικοινωνίες δεν είναι πλέον ο μοναδικός τρόπος επικοινωνίας εξαποστάσεως αφού με την δορυφορική ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο και με τη χρήση του VoIP από φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα, laptop, tablet και phablet σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού παγκοσμίως είναι γεγονός.

Οι αναβαθμίσεις οι οποίες πρέπει να γίνουν για να μπορούμε να χαρούμε τις ταχύτητες 4G είναι πρώτα απ όλα να έχουμε κινητές συσκευές οι οποίες να



υποστηρίζουν 4G και φυσικά νέες κεραιές από την πλευρά των παρόχων (Cosmote, Vodafone και Wind). Επίσης ρόλο παίζουν και οι κάρτες SIM οι οποίες θα πρέπει να έχουν αλλαχτεί σε USIM γιατί οι παλιές δεν υποστηρίζουν το 4G, και εάν μπαίνουμε με κάποιο φορητό υπολογιστή θα πρέπει να έχουμε και νέα modem τεχνολογίας 4G.

Στην Ελλάδα οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησαν την αναβάθμιση των συστημάτων τους το 2013 από μερικές περιοχές της Αθήνας και εξελίχθηκε σιγά-σιγά σε όλη την Ελλάδα. Οι νέες ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούν τα δίκτυα 4G στην Ελλάδα είναι στα 800, 1800 και 2600 MHz.

## 6.2 LTE

Οι προσδοκίες των χρηστών για καλύτερη και γρηγορότερη επικοινωνία συνεχώς αυξάνετε, και η βελτίωση των κινητών τηλεπικοινωνιών έρχεται από το πρότυπο LTE (3GPP Long Term Evolution). Ένα μεγάλο μέρος των προτύπων 3GPP Release 8 προσανατολίζεται γύρο από την αναβάθμιση του UMTS στο 4G και την μεταμόρφωση της αρχιτεκτονικής δικτύου από ιεραρχική σε επίπεδη, βασισμένη πάντα στο πρωτόκολλο IP. Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε το Δεκέμβριο του 2008 και τα πρώτα δίκτυα στο κόσμο που εγκαταστάθηκαν για δημόσια χρήση ξεκίνησαν από την Σκανδιναβία. Τα πρώτα ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία TeliaSonera τον Δεκέμβρη του 2009. Παρόλα αυτά όμως η εξάπλωση των δικτύων τέταρτης γενιάς σε πολλές χώρες καθυστέρησε λόγω οικονομικών προβλημάτων των οποίων οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας φοβούνταν να πάρουν το ρίσκο να στήσουν νέα δίκτυα από την αρχή και προτιμούσαν να κάνουν αναβάθμιση των υπάρχων δικτύων 3G. Οι συχνότητες είναι διαφορετικές και διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται οι συχνότητες των 800 MHz και των 1800 με 2600 MHz. Αρχικώς, οι διαχειριστές των δικτύων CDMA είχαν σχεδιάσει να αναβαθμίσουν τα συστήματά τους σε μια ανταγωνιστική τεχνολογία ονόματι UMB, ωστόσο όλες οι μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αποφάσισαν να συνεχίσουν με το LTE.

Παρόλα αυτά το LTE δεν αναφέρεται σαν σύστημα 4ης γενιάς γιατί δεν ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις που έχει ορίσει η διεθνής ένωση τηλεπικοινωνιών ITU (International Telecommunication Union). Γι' αυτό το λόγο, το Μάρτιο του 2011 με την έκδοση του 3GPP Release 10, το LTE αναβαθμίστηκε σε LTE Advanced για να πληροί τις προϋποθέσεις των συστημάτων τέταρτης γενιάς. Επίσης και το πρότυπο WiMAX σε WiMAX 2 (802.16m). Αυτά τα δύο πρότυπα είναι οι πιο κυρίαρχες τεχνολογίες που χρησιμοποιούμε όταν μιλάμε για τα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Τα χαρακτηριστικά και οι διαφορές του LTE με το LTE Advanced παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Απόδοση Συστήματος	LTE Advanced	LTE
Μέγιστοι Ρυθμοί Ζεύξης Ανόδου	1000Mbps στα 100 MHz	100 Mbps στα 20 MHz
Μέγιστοι Ρυθμοί Ζεύξης Καθόδου	500 Mbps στα 100 MHz	50 Mbps στα 20 MHz
Καθυστερήσεις του πλάνου ελέγχου Idle to Connected	< 50 ms	< 100 ms
Καθυστερήσεις του πλάνου ελέγχου Dormant to Active	< 10 ms	< 50 ms
Καθυστερήσεις στο πλάνο χρήστη	<<<< 5 ms	< 5ms
Μέγιστη Αποδοτικότητα φάσματος	Κάθοδος : 30 bps/Hz στα <= 8X8, Άνοδος : 15 bps/Hz στα <= 4X4	Κάθοδος : 5 bps/Hz στα 2X2, Άνοδος: 2.5 bps/Hz στα 1X2
Μέσος όρος αποδοτικότητας φάσματος	Κάθοδος : 3.7 bps/Hz/κυψέλη στα 4X4, Άνοδος : 2 bps/Hz/κυψέλη στα 2X4	Κάθοδος : 3 με 4 φορές του HSPA R6 στα 2X2 Άνοδος : 2 με 3 φορές του HSPA R6 στα 1X2
Αποδοτικότητα φάσματος στα άκρα της κυψέλης	Κάθοδος : 0.12 bps/Hz/κυψέλη/χρήστη στα 4X4, Άνοδος : 0.7 bps/Hz/κυψέλη/χρήστη στα 2X4	Δεν προβλέπεται
Κινητικότητα	<= 350 χλμ/ώρα, <= 500 χλμ/ώρα στη συγκεκριμένη μπάντα φάσματος	<= 350 χλμ/ώρα
Ευκαμψία χρήσης φάσματος	Συνεχές φάσμα > 20 MHz με δυνατότητες σύγκλισης φάσματος (spectral convergence)	1,4,3,5,10,15,20 MHz

Π 5.2.1 : Συγκριτικοί πίνακες LTE – LTE Advanced

Λίγο πιο συγκεκριμένα θα αναφέρουμε τις προδιαγραφές για το LTE Advanced οι οποίες είναι:

- Μέγιστη ταχύτητα δεδομένων: Download έως 1 Gbps. Upload έως 500 Mbps. Στην πραγματικότητα όμως η ταχύτητες είναι μικρότερες και διαφέρουν από χώρα σε χώρα, από τη γεωγραφική περιοχή (δηλαδή πιο υψηλές ταχύτητες σε ένα αστικό κέντρο και μικρότερες στην επαρχία όπου οι κεραιές απέχουν πολύ μεταξύ τους) και από ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας σε ένα άλλο. Και σε συνδυασμό με τη μικρότερη καθυστέρηση που αναφέρουμε ακριβώς από κάτω η διαφορά στην πλοήγηση είναι τεράστια από την προηγούμενη γενιά.
- Latency: Από Idle σε Connected λιγότερο από 50ms και λιγότερο από 5ms για την μεταφορά μεμονωμένων πακέτων, περίπου 3-4 φορές

μικρότερο από το 3G. Αυτό μας βοηθάει πολύ σε υπηρεσίες όπως το video streaming το οποίο είναι εξαιρετικής ποιότητας και χωρίς διακοπές. Ακόμη μπορούμε να δούμε βίντεο σε full HD (1080) χωρίς buffering.

- Εύρος ζώνης μετάδοσής περίπου 70 MHz σε Download και 40 MHz σε Upload.
- Διεκπεραιωτικότητα (cell edge) 2 φορές υψηλότερη από LTE.
- Μέση διεκπεραιωτικότητα 3 φορές υψηλότερη από LTE.
- Χωρητικότητα ή αλλιώς αποδοτικότητα φάσματος 3 φορές υψηλότερη από το LTE.
- Μέγιστη αποδοτικότητα φάσματος: Download: 30 bps/Hz, Upload: 15 bps/Hz
- Ευελιξία φάσματος μέσω υποστήριξης εξελικτικού συναθροίσου εύρους ζώνης και φάσματος
- Κινητικότητα (Mobility): Ίδιο με το LTE.
- Συμβατικότητα σε λειτουργικότητα και αλληλεπίδραση με LTE και 3GPP Legacy δίκτυα. Η τεχνολογία είναι κοινή για όλο τον κόσμο, οπότε δεν υπάρχει ζήτημα συμβατότητας συσκευών όταν πηγαίνουμε σε ένα ξένο κράτος.

## 6.3 WiMAX

Άλλη μια τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης στα 4G δίκτυα όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι το WiMAX (Worldwide Interoperability Microwave Access) που σημαίνει Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Μικροκομματική Πρόσβαση, το οποίο είναι βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.16. Με σκοπό την μεγαλύτερη και καλύτερη κάλυψη γεωγραφικών περιοχών, από της αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα καταβάλλεται τεράστια προσπάθεια από τις εταιρίες να αναπτύξουν και να προσφέρουν προϊόντα για ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση και έτσι τα πρωτόκολλα εξελίσσονται συνεχώς IEEE 802.16-2001/ IEEE 802.16c/ IEEE 802.16a/ IEEE 802.16d/ IEEE 802.16-2004/ IEEE 802.16e-2005, με τελευταίο το WiMAX 2 802.16m το οποίο είναι το πιο εξελιγμένο και ανήκει στην τέταρτη γενιά.

Για να εξηγήσουμε με απλά λόγια τι ακριβώς είναι το WiMAX μπορούμε να το παρομοιάσουμε με το Wi-Fi. Βέβαια οι διαφορές τους είναι μεγάλες αφού ο ρόλος του WiMAX είναι η καλύτερη απόδοση και μεγαλύτερη κάλυψη δικτύου. Σκεφτείτε λοιπόν το WiMAX σαν ένα τεράστιο Wi-Fi. Το Wi-Fi μπορεί να εκπέμψει σε εμβέλεια περίπου μέχρι 100 μέτρα και γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots). Με τη τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας WiMAX η εμβέλεια εκπομπής που μπορεί να φθάσει είναι περίπου 35 με 48 χιλιόμετρα. Με αυτόν τον τρόπο δηλαδή μπορεί να καλύψει ασύρματα μια ολόκληρη πόλη και οι κάτοικοί της να χρησιμοποιούν το internet οπουδήποτε, ακόμη και όταν βρίσκονται εν κίνηση.

Για τη δομή ενός δικτύου WiMAX έχουμε έναν σταθμό βάσης ο οποίος επικοινωνεί με τους σταθμούς των συνδρομητών με σύνδεση Point to Multipoint (σημείο προς πολλαπλά σημεία). Ο σταθμός βάσης τοποθετείται σε κάποιο υψηλό κτήριο ή λόφο έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνεί με κεραιές που είναι τοποθετημένες πιο χαμηλά και έχουν πιο ασθενής ισχύ και εμβέλεια. Αυτές οι κεραιές μπορούν να καλύψουν απόσταση έως 48 χιλιομέτρων αλλά όταν είναι μέσα σε κατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνούν τα 30 χιλιόμετρα. Ο κάθε σταθμός βάσης είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο του χρήστη ενώ ταυτόχρονα προσφέρει ασύρματη επικοινωνία και για πολλούς συνδρομητές. Για την καλύτερη αύξηση του σήματος σε αντίξοες συνθήκες μετάδοσης μπορεί να τοποθετηθούν μεταξύ των σταθμών βάσεων ή και μεταξύ των σταθμών συνδρομητών και σταθμών βάσεων repeaters. Πάντως όταν είναι μέσα στην ακτίνα εμβέλειας ακόμη και εάν δεν υπάρχει οπτική επαφή των σταθμών η απόδοση του σήματος συνήθως είναι πολύ καλή.

Οι ταχύτητες πλοήγησης που προσφέρονται είναι επίσης πολύ μεγάλες και φθάνουν τις ταχύτητες που μέχρι τότε είχαμε μόνο σε ενσύρματες συνδέσεις. Δηλαδή έως και 300 Mbps για download και 60 Mbps για upload. Οι συχνότητες που χρησιμοποιεί κυμαίνονται από 2-11GHz και από 10-66 GHz.

Ο εξοπλισμός τους είναι εύκολος στην εγκατάσταση από την πλευρά του χρήστη αλλά και από την πλευρά των τεχνικών. Δεν υπάρχουν καλώδια και έτσι η εγκατάσταση σε μια πόλη μπορεί να γίνει μέσα σε λίγες μέρες και επίσης οι υπόλοιπες τεχνολογίες συνυπάρχουν με το WiMAX χωρίς προβλήματα.

Τέλος στην Ελλάδα μια από τις μεγαλύτερες και πιο ευέλικτες εγκαταστάσεις δικτύου WiMAX έχουμε στο άγιο όρος το 2008. Η περιοχή είναι δύσβατη, με ανύπαρκτες υποδομές ακόμη και ηλεκτρισμού. Τοποθετήθηκαν λοιπόν έξι σταθμοί βάσης με εμβέλεια που έφθανε τα 50 χιλιόμετρα και η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας έγινε με τη χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών. Οι ταχύτητες του συγκεκριμένου δικτύου είναι 60 Mbps για ανέβασμα και κατέβασμα και οι σταθμοί εκπέμπουν στο φάσμα των 3.5 GHz.

## 6.4 Κινητά τηλέφωνα 4<sup>ης</sup> γενιάς

Στα κινητά τηλέφωνα της σημερινής τηλεφωνίας παρατηρούμε ότι όσο αναφορά την κατασκευή και το σχεδιασμό των κινητών συσκευών, η διαφορά από τα κινητά τηλέφωνα της τρίτης γενιάς δεν είναι τόσο μεγάλη. Παρόλα αυτά όμως τα κινητά είναι πιο γρήγορα με μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ με καλύτερες και ακριβέστερες οθόνες αφής που συνήθως είναι μεγαλύτερες και υψηλότερης ανάλυσης.



Ε 6.4.1: Κινητά τηλέφωνα τέταρτης γενιάς (4G)

## Κεφάλαιο 7: Προοπτικές και τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G)

### 7.1 Οι προοπτικές της πέμπτης γενιάς

Η τεχνολογία 5G είναι η τεχνολογία που θα μας απασχολήσει τα επόμενα χρόνια. Βασίζεται πάνω στη τεχνολογία 4G και κατά συνέπεια στη τεχνολογία LTE. Ο IMT είναι ένας από τους σημαντικότερους οργανισμούς ανάπτυξης κινητών ευρυζωνικών προτύπων τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Τα γρήγορα δίκτυα 5G τα οποία θα φέρουν μαζί τους μια σειρά από νέες εφαρμογές θα είναι διαθέσιμα περίπου από το 2020. Αυτό αποφάσισαν οι ειδικοί για τις επικοινωνίες από τα 193 μέλη του ΟΗΕ, οι οποίοι ενέκριναν το χρονοδιάγραμμα προς υλοποίηση. Στο πρότυπο IMT Advanced θα βασιστεί η τεχνολογία 5G και το χρονοδιάγραμμα ονομάζεται IMT-2020, όπως δηλαδή θα είναι το όνομα για τα δίκτυα 5G επίσημα.

Οι προδιαγραφές για το 5G δεν έχουν οριοθετηθεί ακόμη ακριβώς, αυτό αναμένεται να γίνει το 2018 σύμφωνα με τον Bill Smith, πρόεδρο της AT&T's και θα κωδικοποιηθούν το 2019. Υπάρχει όμως μια ιδέα για το τι θα προσφέρουν τα συγκεκριμένα δίκτυα και αυτό θα αναφέρουμε παρακάτω. Τα 5G θα είναι γρηγορότερα και εξυπνότερα. Οι ταχύτητες των δεδομένων θα είναι σαφώς μεγαλύτερες από το 4G και προσφέρουν τη δυνατότητα για λανσάρισμα νέων gadgets στην αγορά.

Θα λειτουργήσουν σε υψηλότερες συχνότητες και θα έχουμε φυσικά αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Θα προσφέρουν επίσης πολύ πιο άμεση ανταπόκριση του δικτύου στα αιτήματά μας με latency ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου (1ms), όπου στα δίκτυα 4G είναι 50ms και στα δίκτυα 3G 100ms. Τέλος θα μας δίνουν τη

δυνατότητα να έχουμε πιο γρήγορα smartphones και εξυπνότερες και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συσκευές.

## 7.2 Internet of Things

Η άμεση ανταπόκριση λόγω της πολύ μικρής καθυστέρησης που θα έχουν τα δίκτυα 5G σε συνδυασμό με τον τεράστιο αριθμό των συσκευών που θα μπορούν να συνδέονται με το internet σε μικρούς χώρους, βοηθάει στην εξέλιξη του περιφημου Internet Of Things (IoT) ή αλλιώς δίκτυο των πραγμάτων, το οποίο από εδώ και πέρα θα το ακούμε συνεχώς πιο συχνά. Με το IoT μπορούμε να κάνουμε σύνδεση των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους και με το internet. Όταν μιλάμε για ηλεκτρονικές συσκευές εννοούμε σχεδόν τα πάντα. Από κινητά τηλέφωνα και ηλεκτρονικούς υπολογιστές, μέχρι τις καφετιέρες, τα ψυγεία, τα αυτοκίνητα, τα φανάρια στους δρόμους, τους ανελκυστήρες κτιρίων, τους λαμπτήρες και ότι άλλο μπορείς να φανταστείς. Μια ηλεκτρονική συσκευή μπορεί να συνδέεται απευθείας με το internet ή να συνδέεται με ένα κινητό ή έναν υπολογιστή λαμβάνοντας ή δίνοντας δεδομένα. Έτσι μπορούμε να διαχειριστούμε εξ αποστάσεως πολλές συσκευές και ένας ολόκληρος κόσμος από έξυπνα αόρατα δίκτυα θα λειτουργούν χωρίς την συνείδηση του ανθρώπου, τα οποία θα κάνουν την ζωή μας ευκολότερη αλλά θα έχουν και τις αρνητικές συνέπειες όσο αναφορά την προστασία της ιδιωτικής ζωής.

Για να κάνουμε τα πράγματα λίγο πιο απλά και κατανοητά θα δώσουμε μερικά συγκεκριμένα παραδείγματα τα οποία θα συναντάμε όλο και περισσότερο στο μέλλον, μετά την εισαγωγή του 5G. Φαντάσου ένα σπίτι με συνδεδεμένες συσκευές που όταν το πρωί χτυπάει το ξυπνητήρι του κινητού σου, θα ανάβει αυτόματα το φως στο υπνοδωμάτιο, θα ανοίγουν τα ρολά των παραθύρων και ταυτόχρονα θα ενεργοποιείται το στερεοφωνικό και η καφετιέρα για να σου ετοιμάσει ένα ζεστό καφεδάκι. Θα μπορείς επίσης να ενεργοποιήσεις τον κλιματισμό και το θερμοσίφωνο μέσω του smartphone σου, μισή ώρα πριν γυρίσεις στο σπίτι σου για να τα βρεις όλα έτοιμα όπως τα θέλεις. Όταν θελήσεις να αφήσεις το εξοχικό σου δεν θα ανησυχείς μην άφησες κάτι ανοιχτό αφού θα μπορείς να κλήσεις με μία κίνηση ρεύμα, πόρτες και παράθυρα για να είσαι σίγουρος. Όπως επίσης και η κίνηση οχημάτων με αυτοματοποιημένα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό, που μέχρι σήμερα εμφανίζουν κάποια προβλήματα καθυστέρησης, από το χρόνο εκπομπής των αισθητήρων του αυτοκινήτου έως την ανταπόκριση μέσω του δικτύου θα εξαφανιστούν. Το ίδιο ισχύει και για τις εγχειρίσεις μέσω ρομποτικής όπου ο χρόνος ανάμεσα στην εντολή του γιατρού και την εκτέλεση της εντολής πρέπει να είναι μηδαμινή.

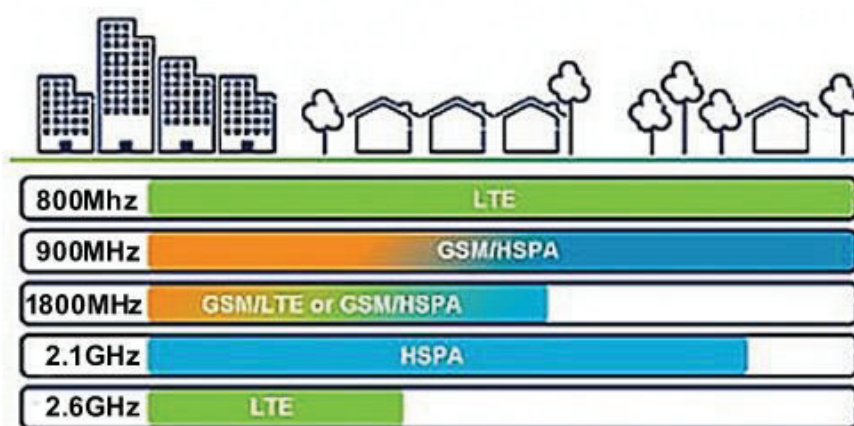
## Κεφάλαιο 8: Κινητή τηλεφωνία στην Ελλάδα

### 8.1 Ζώνες συχνοτήτων

Οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι στα 800, 900, 1800, 2100 και 2600MHz. Χρησιμοποιείτε διαφορετικό φάσμα για το downlink και διαφορετικό για το uplink.

Όσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα της μάντας τόσο περισσότερο μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις. Οπότε στη ζώνη των 800MHz οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση ακόμη και αν είναι μακριά από το σταθμό βάσης. Αυτό καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμο στις αγροτικές περιοχές όπου οι σταθμοί εκπομπής είναι αρκετά απλωμένοι. Ωστόσο έχει και κάποια πλεονεκτήματα όταν βρίσκονται μέσα στις πόλεις. Οι χαμηλές συχνότητες είναι καλές στο πέρασμα μέσα από τοίχους και άλλα φυσικά εμπόδια, γι αυτό θεωρείτε καλή και για την εσωτερική κάλυψη χώρων σε κατοικημένες περιοχές. Αλλά από την άλλη έχει χαμηλότερη χωρητικότητα, πράγμα που σημαίνει ότι δεν μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς συνδρομητές με πλήρη ταχύτητα, με αποτέλεσμα ακόμη και σε χώρους με πολύ καλή σύνδεση να μην μπορεί να πιάσει την πλήρης ταχύτητα του.

Αντιθέτως οι υψηλές συχνότητες δεν μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις, πράγμα που σημαίνει ότι οι κεραιές πρέπει να είναι πιο κοντά μαζί για να προσφέρουν αξιόπιστη κάλυψη. Οπότε η ζώνη των 2600MHz δεν είναι κατάλληλη για αγροτικές περιοχές. Έχει όμως μεγάλη χωρητικότητα και μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς ταυτόχρονους χρήστες, που το κάνει κατάλληλο για πόλεις και περιοχές με αυξημένη κίνηση που το μόνο πρόβλημα που θα αντιμετωπίσουμε είναι σε κάποια δύσκολα σημεία συνήθως υπόγεια και σπίτια με χοντρούς τοίχους να μην έχουμε καλό σήμα.

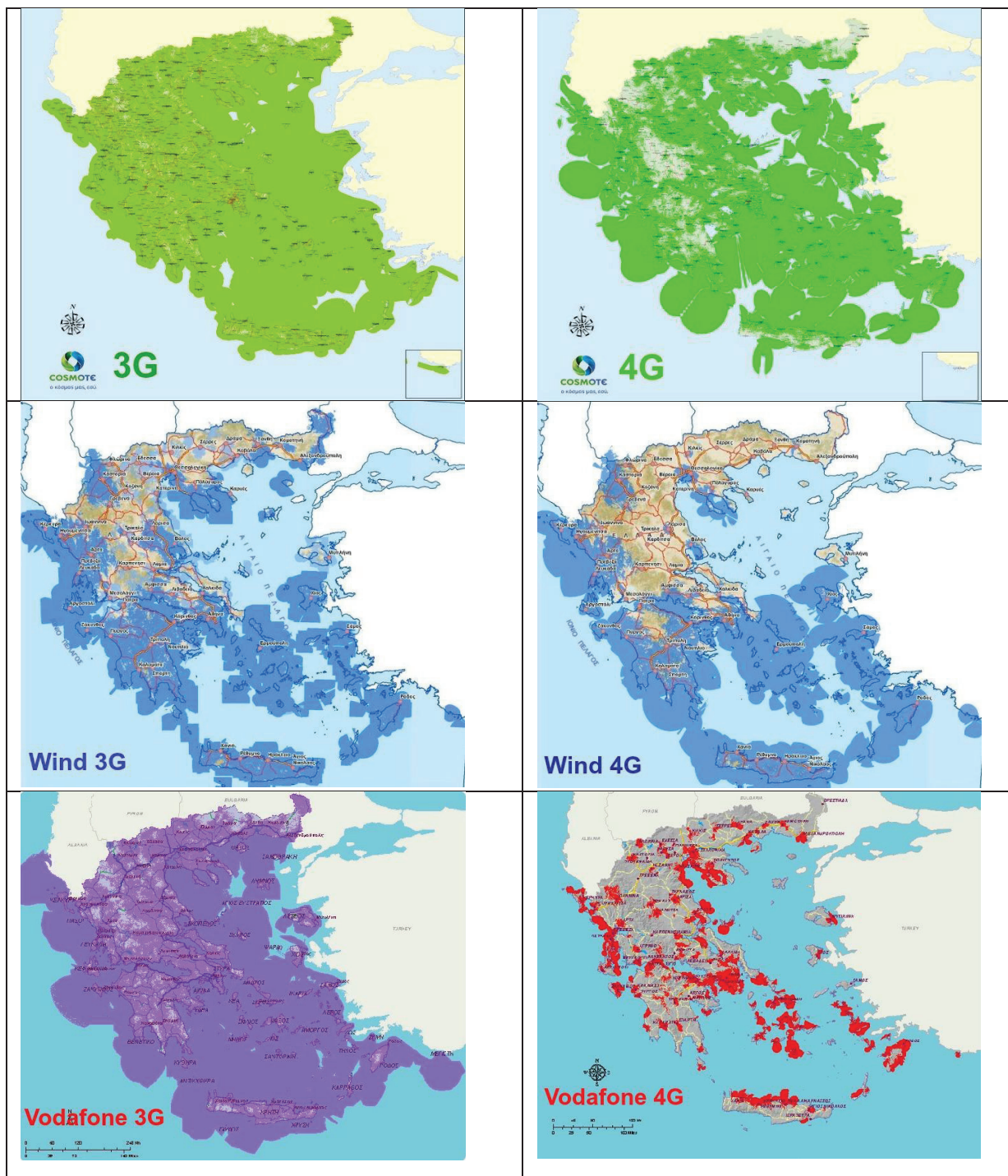


Ε 7.1.1: Οι ζώνες συχνοτήτων στην Ελλάδα



## 8.2 Χάρτες κάλυψης ελληνικών δικτύων

Σε αυτό το μέρος θα δούμε τις περιοχές κάλυψης 3G και 4G δικτύου στον χάρτη της Ελλάδος από τις τρεις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας που υπάρχουν της Cosmote, της Wind και της Vodafone όπως είναι σήμερα. Οι παρακάτω εικόνες είναι από τις επίσημες σελίδες των εταιριών.



Π 7.2.1: Χάρτες κάλυψης 3G και 4G δικτύου στην Ελλάδα

### 8.3 Σύγκριση Πρωτοκόλλων

Όταν κάνουμε χρήση δεδομένων συχνά υπάρχει εναλλαγή μεταξύ των καναλιών και γίνεται σύμφωνα με την δύναμη του σήματος του δικτύου με το οποίο συνδεόμαστε. Για αυτό και στο κινητό μας τηλέφωνο, το σύμβολο από την χρήση δεδομένων μπορεί να αλλάζει. Στον παρακάτω πίνακα λοιπόν θα δούμε όλες τις τεχνολογίες των δικτύων που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων τους, για να δούμε καθαρά την εξέλιξη στο κατέβασμα και ανέβασμα δεδομένων, όπως επίσης και τα σύμβολα που συναντάμε με τη χρήση δεδομένων με το πλήρες όνομα του καθενός.

Symbol	Standard	Full Name	Generation	Download Speed	Upload Speed
<b>2G</b>	GSM	Global System for Mobile communications	2G	14.4 Kbits/s	14.4 Kbits/s
<b>G</b>	GPRS	General Packet Radio Service	2.5G	53.6 Kbits/s	26.8 Kbits/s
<b>E</b>	EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	2.75G	217.6 Kbits/s	108.8 Kbits/s
<b>3G</b>	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	3G	384 Kbits/s	128 Kbits/s
<b>H</b>	HSPA	High Speed Packet Access	3.5G	7.2 Mbits/s	3.6 Mbits/s
<b>H+</b>	HSPA+	Evolved High Speed Packet Access - Release 6	3.75G	14.4 Mbits/s	5.76 Mbits/s
<b>H+</b>	HSPA+	Evolved High Speed Packet Access – Release 7	3.75G	21.1 Mbits/s	11.5 Mbits/s
<b>H+</b>	HSPA+	Evolved High Speed Packet Access – Release 8	3.75G	42.2 Mbits/s	11.5 Mbits/s
<b>H+</b>	HSPA+	Evolved High Speed Packet Access – Release 9	3.75G	84.4 Mbits/s	11.5 Mbits/s
<b>H+</b>	HSPA+	Evolved High Speed Packet Access – Release 10	3.75G	168.8 Mbits/s	23.0 Mbits/s
<b>4G</b>	LTE	Long Term Evolution	Pre-4G	100 Mbits/s	50 Mbits/s
<b>4G</b>	LTE Advanced	Long Term Evolution - Advanced	4G	1 Gbits/s	500 Mbits/s

### 8.4 Μετρήσεις Speed Test

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να παρουσιάσω τις πραγματικές ταχύτητες που έχω στο κινητό μου πραγματοποιώντας ένα speed test για τα δεδομένα κινητής τηλεφωνίας 3G και 4G. Όλες οι μετρήσεις έγιναν στη περιοχή της Μαγνησίας από το δίκτυο της Cosmote και με την εφαρμογή Speed Test. Θα αναφέρω τα τρία καλύτερα αποτελέσματα, σε πάνω από 30 μετρήσεις που έκανα σε διαφορετικές περιοχές του νομού.



Type	Download	Upload	Ping
H+	10.41 Mbps	3.16 Mbps	35
H+	10.22 Mbps	2.41 Mbps	45
H+	9.41 Mbps	3.98 Mbps	37
4G	15.39 Mbps	9.12 Mbps	31
4G	14.18 Mbps	10.06 Mbps	29
4G	12.37 Mbps	7.89 Mbps	34

Συγκρίνοντας τις τιμές που πήρα στις μετρήσεις μου σε σχέση με τις τιμές του πίνακα που είδαμε παραπάνω, συμπεράνουμε ότι οι πραγματικές τιμές είναι πολύ μικρότερες. Βέβαια παίζει ρόλο το μέρος που βρισκόμαστε και το πόσο καλή κάλυψη υπάρχει στο συγκεκριμένο μέρος όπως επίσης και το πόσοι χρήστες χρησιμοποιούν το δίκτυο αυτό εκείνη τη στιγμή. Αυτό που παρατήρησα είναι ότι οι τιμές στο κατέβασμα αρχείων στα δίκτυα 4G δεν ήταν τόσο μεγάλη όσο περίμενα σε σχέση με το H+, αλλά στο ανέβασμα οι τιμές είναι πιο ικανοποιητικές και η διαφορά πιο καθαρή.

## Βιβλιογραφία

- “Η ιστορία της κινητής τηλεφωνίας”, Άρθρο της ηλεκτρονικής εφημερίδας:  
<https://www.sansimera.gr/>, (χ.χ.)
- “Motorola DynaTAC”, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Motorola\\_DynaTAC](https://en.wikipedia.org/wiki/Motorola_DynaTAC), 2016
- “Martin Cooper (inventor)”, Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Martin\\_Cooper\\_\(inventor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Martin_Cooper_(inventor)), 2016
- “History of mobile phones”, Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_mobile\\_phones](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_mobile_phones), 2016
- “Car phone”, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Car\\_phone](https://en.wikipedia.org/wiki/Car_phone), 2016
- “Mobile Telephone Service”, Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_Telephone\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_Telephone_Service), 2015
- “Improved Mobile Telephone Service”, Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Improved\\_Mobile\\_Telephone\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/Improved_Mobile_Telephone_Service), 2016
- “Advanced Mobile Phone System”, Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Mobile\\_Phone\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Mobile_Phone_System), 2016
- Μάνος Κωνσταντινιάδης, “GPRS: General Packet Radio Service”,  
<http://www.myphone.gr/>, 2003
- Μάνος Κωνσταντινιάδης, “EDGE”, <http://www.myphone.gr/>, 2003
- “General Packet Radio Service”, Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Packet\\_Radio\\_Service](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service), 2016
- “Global System for Mobile communications”, Βικιπαίδεια,  
[https://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](https://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications), 2016
- “Κυμελωτό δίκτυο”, Βικιπαίδεια,  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CF%88%CE%B5%CE%BB%CF%89%CF%84%CF%8C\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B5](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CF%88%CE%B5%CE%BB%CF%89%CF%84%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B5), 2015
- “Macrocell”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Macrocell>, 2016
- “Microcell”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcell>, 2015
- “Picocell”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Picocell>, 2016
- “Femtocell”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Femtocell>, 2016
- “Handover”, Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Handover>, 2016
- Ζέρβας Παναγιώτης, “Μεθοδολογία σχεδιασμού κυτταρικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας(Cell Planning)”, Ειδική επιστημονική εργασία

“UMTS / 3G History and Future Milestones”,

<http://www.umtsworld.com/umts/history.htm>

“3G: Τρίτη Γενιά”, Άρθρο της ηλεκτρονικής σελίδας: <http://www.myphone.gr/>, 2007

“High Speed Packet Access”, Wikipedia,

[https://en.wikipedia.org/wiki/High\\_Speed\\_Packet\\_Access](https://en.wikipedia.org/wiki/High_Speed_Packet_Access), 2016

Μάνος Κωνσταντινιάδης, “HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access”, Άρθρο της ηλεκτρονικής σελίδας: <http://www.myphone.gr/>, 2006

“LTE”, Βικιπαίδεια, <https://el.wikipedia.org/wiki/LTE>, 2015

“Smartphone”, Βικιπαίδεια,

[https://el.wikipedia.org/wiki/Smartphone#.CE.A7.CF.81.CE.AE.CF.83.CE.B7\\_.CF.84.CF.89.CE.BD\\_.CE.AD.CE.BE.CF.85.CF.80.CE.BD.CF.89.CE.BD\\_.CF.84.CE.B7.CE.BB.CE.B5.CF.86.CF.8E.CE.BD.CF.89.CE.BD](https://el.wikipedia.org/wiki/Smartphone#.CE.A7.CF.81.CE.AE.CF.83.CE.B7_.CF.84.CF.89.CE.BD_.CE.AD.CE.BE.CF.85.CF.80.CE.BD.CF.89.CE.BD_.CF.84.CE.B7.CE.BB.CE.B5.CF.86.CF.8E.CE.BD.CF.89.CE.BD), 2016

“WiMAX”, Βικιπαίδεια, <https://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX>, 2014

Δανάη-Ευγενία Κίζα και Χριστίνα Διαμαντή, “Η εξέλιξη των δικτύων πρόσβασης και εξυπηρέτησης στο WiMAX”, 2014

Αντώνης Χοντζέας, “Μακροπρόθεσμη Εξέλιξη Κινητής τηλεφωνίας: Γεφυρώνοντας τον κόσμο”, Αθήνα 2011

“Συχνότητες 4G (800/1800/2600) ποιές είναι οι διαφορές τους;”, Άρθρο της ηλεκτρονικής σελίδας: <http://www.myphone.gr/>, 2015

Χρήστος Προυκάκης, “Οι προοπτικές των δικτύων 5G”, Άρθρο της ηλεκτρονικής σελίδας: <http://www.efsyn.gr/>, 2016

“Internet of Things σε απλά ελληνικά”, Άρθρο της ηλεκτρονικής σελίδας: <http://popaganda.gr/>, 2014