

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ
ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ RADIOMOBILE»**



Φοιτητής: Δημήτριος Φράγκος Α.Μ. 1289

Επιβλέπων καθηγητής: Ηλίας Ασαρίδης

Ναύπακτος – Ιανουάριος 2019

Περιεχόμενα

1. Ιστορική αναδρομή.....	σ.4
1.1 Εισαγωγή.....	σ.4
1.2 Πρώτη προσπάθεια αναλογικής κινητής τηλεφωνίας.....	σ.7
1.3 Η πρώτη ψηφιακή επικοινωνία.....	σ.9
1.4 Η εξέλιξη της ψηφιακής επικοινωνίας	σ.10
1.5 Τα πρώτα πακέτα δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες.....	σ.14
2. 4G Long Term Evolution.....	σ.27
2.1 Διεπαφή αέρα.....	σ.27
2.1.1 Uplink.....	σ.41
2.1.2 Downlink.....	σ.43
2.1.3 Διασυμβολική παρεμβολή.....	σ. 47
2.1.4 Throughput.....	σ.47
2.2 Αρχές απωλειών.....	σ.49
2.2.1 Διάδοση της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο χώρο.....	σ.49
2.2.2 RayTraceModel.....	σ. 56
2.2.3 Διπλό πρότυπο κλίσης.....	σ. 57
2.2.4 Πρότυπο Egli.....	σ. 58
2.3 Βασικές αρχές κυτταρικής κάλυψης	σ. 61
3. Ραδιοκάλυψη στο νησί της Ψυττάλειας.....	σ. 68

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στο θέμα της ιστορικής αναδρομής της κινητής τηλεφωνίας, από την πρώτη ως την τέταρτη γενιά. Αρχικά, αναφέρεται στις πρώτες προσπάθειες αναλογικής κινητής τηλεφωνίας και ακολουθεί η περιγραφή των πρώτων ψηφιακών επικοινωνιών με τις μετεξελίξεις τους. Στη συνέχεια, αναλύεται η δικτύωση των συσκευών με υψηλές ταχύτητες και ορίζονται έννοιες όπως η διεπαφή αέρα και η διασυμβολική παρεμβολή. Ακόμη, στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα προσκόμματα της διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο χώρο με τα ανάλογα μοντέλα περιγραφής. Τέλος, παρατίθενται οι βασικές αρχές κυτταρικής κάλυψης.

Η πτυχιακή αυτή εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου.

1 Ιστορική Αναδρομή

1.1 Εισαγωγή

Το πρώτο σύστημα που προσιδιάζει στο σημερινό κινητό τηλέφωνο εμφανίστηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, με την ανακάλυψη του ασυρμάτου από τον Guglielmo Marconi, ο οποίος κατάφερε να επικοινωνήσει από την ξηρά με ένα σκάφος που απείχε 18 ναυτικά μίλια (Λούβρος & Κούγιας, 2010). Ο ασύρματος αυτός που επινόησε ο Μαρκόνι ήταν ο μακρινός πρόγονος του σημερινού κινητού τηλεφώνου. Με αυτή την τεχνολογία που χρηματοδοτήθηκε και σχεδιάστηκε από το Marconi, η Βασίλισσα Βικτώρια της Αγγλίας είδε την επικοινωνία από τη νήσο Wight Island με το σκάφος.

Πρόκειται για την απαρχή μιας μακράς πορείας στην οποία η ασύρματη επικοινωνία εξελίχθηκε ταχύτατα και βρήκε εφαρμογή σε πολλαπλούς τομείς του επιστητού όπως η ραδιοφωνία, η τηλεόραση, οι μικροκυματικοί αναμεταδότες, οι αεροναυτικές και ναυτικές επικοινωνίες, με αποκορύφωμα την τρομερή διάδοση της κινητής τηλεφωνίας από όλο τον κόσμο, πλέον. Ενδεικτικό είναι το ποσοστό

ενεργών συνδέσεων στη Χώρα μας που άγγιξε το 123% του συνολικού πληθυσμού το 2006 (Παπατσώρης, 2006).

Συνεπώς, η κινητή τηλεφωνία έχει καταλάβει ένα μεγάλο ποσοστό της ζωής των πολιτών κάθε ηλικίας και επαγγέλματος, δίνοντας την ευκαιρία για εύκολη και απρόσκοπτη επικοινωνία ανά πάσα στιγμή. Έτσι, βελτιώνεται και το βιοτικό επίπεδο αλλά και η παραγωγικότητα σε όλους τους τομείς. Στα επερχόμενα κεφάλαια του θεωρητικού τμήματος αυτής της εργασίας θα επιχειρηθεί η ιστορική αναδρομή της εξέλιξης της κινητής τηλεφωνίας, από τις πρώτες απόπειρες δημιουργίας έως σήμερα.

Εάν ανιχνευτούν οι απαρχές της τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας, θα δούμε ότι έπονται του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, στις σκανδιναβικές χώρες και στην Αμερική, με βάση τη ραδιοφωνική τεχνολογία (AM-FM).

Η πρώτη χρήση τέτοιου είδους μηχανήματος έλαβε χώρα στη Σουηδία, το 1946, όπου μέσα σε ένα αστυνομικό όχημα, δύο πρώιμες τέτοιες συσκευές χρησιμοποιήθηκαν για επικοινωνία με περιορισμό, όμως, στα έξι τηλεφωνήματα, λόγω της έλλειψης επαναφορτιζόμενης μπαταρίας στο όχημα. Ανάλογο εγχείρημα είχε αναπτυχθεί, όμως, ήδη το 1921, σε αστυνομικό τμήμα του Detroit. Αρχικά, μόνο το αστυνομικό τμήμα μπορούσε να εκπέμπει στα αστυνομικά οχήματα, τα οποία έγιναν στη συνέχεια και πομποί (Λούβρος & Κούγιας, 2010).

Ένα χρόνο μετά, γεννιέται η ίδια η ιδέα του κινητού τηλεφώνου, από τους επιστήμονες της εταιρίας AT&T που έδρευε στην Αμερική. Διαπιστώθηκε ότι από ένα πομπό μικρής εμβέλειας μπορεί να αναπτυχθεί ένας πομπός μεγάλης εμβέλειας, "συνδέοντας πολλά κύτταρα ενός τοπικού δικτύου" (LAN) (Λούβρος, 2014, σ. 13). Με αυτό τον τρόπο, έχουμε την εισαγωγή των τηλεφώνων στα αυτοκίνητα, κατά τη δεκαετία του 1950.

Το 1967, ουσιαστικά, η συσκευή του κινητού τηλεφώνου μπορούσε να διατεθεί αλλά οι κλήσεις έπρεπε να πραγματοποιούνται εντός της "κυτταρικής εμβέλειας", διότι με την κλήση σε συσκευή άλλου κυττάρου, η γραμμή δεν θα κρατούσε. Το ζήτημα αυτό βρήκε λύση το 1970, από ένα μηχανικό της BellLabs, ονόματι AmosEdwardJoel. Ο Joel χρησιμοποίησε ένα πρώιμο ενσωματωμένο λογισμικό στον επεξεργαστή και εισήγαγε τον αλγόριθμο μεταγωγής. Μόλις μετά από ένα χρόνο, η AT&T αιτήθηκε άδεια για τη δημιουργία υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας στην FCC, ωστόσο, η άδεια εγκρίθηκε από τον φορέα το 1982.

Η τελεσίδικη ημερομηνία της γέννησης του κινητού τηλεφώνου είναι η 3^η Απριλίου του 1973, με τον Μάρτιν Κούπερ της Motorola να τηλεφωνεί από τη Νέα Υόρκη στον JoelStanleyEngel της BellLabs. Πρόκειται για μια μεγάλη συσκευή, ύψους 25 εκατοστών και βάρους 900 γραμμαρίων. Βέβαια, το 1978, η BellLabs απάντησε σε αυτό το

επίτευγμα με το πρώτο πειραματικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που αποτέλεσε σημαντικό βήμα για την ένταξη του κινητού τηλεφώνου στο εμπόριο. Τελικά, το πρώτο εμπορικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας λειτούργησε το 1979 στο Τόκιο.

1.2 Πρώτη προσπάθεια αναλογικής κινητής τηλεφωνίας (1G)

Μέσα από όλες αυτές τις προσπάθειες, έχουμε την άφιξη στην πρόσφατη ιστορία της κινητής τηλεφωνίας. Τα δίκτυα που προέκυψαν αρχικά είναι αυτά της πρώτης γενιάς (1G). Σε αυτά περιλαμβάνονται τα εξής συστήματα: NMT (Nordic mobile telephony), AMPS (Advanced Mobile Phone Service) και TACS (Total Access Communication System). Κοινός παρονομαστής όλων αυτών των δικτύων ήταν η ασύρματη φωνητική μετάδοση με αναλογική τεχνική και διαμοιρασμό φάσματος.

Ειδικά το NMT εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1981 και λειτουργούσε στα 450 με 900 MHz, ενώ το TACS στα 900MHz. Ορισμένα, μάλιστα, χρόνια μετά την κυκλοφορία του στις Σκανδιναβικές Χώρες, εισήχθη σε Χώρες όπως η Ισπανία, η Αυστρία, η Ολλανδία, η Ελβετία και η Γαλλία. Αντίστοιχα το TACS ξεκίνησε τη λειτουργία του

το 1985 στη Μεγάλη Βρετανία και εξαπλώθηκε ως το 1990 σε άλλες Ευρωπαϊκές Χώρες, όπως η Ιταλία και η Ισπανία (Πολύμερος, 1997).

Για πρώτη φορά, εμφανίστηκαν τα επονομαζόμενα κυψελωτά δίκτυα, μια γεωγραφική διαίρεση η οποία στόχευε στην όσο το δυνατό μεγαλύτερη κάλυψη. Οι περιοχές, δηλαδή, διαιρέθηκαν σε εξάγωνες κυψέλες, διαδοχικά. Το AMPS προηγείται χρονικά, καθώς εφαρμόστηκε τη δεκαετία του 1970 στην Αμερική, ενώ το NMT έδρευε στις Σκανδιναβικές Χώρες και τη Σαουδική Αραβία και το TACS στο Ηνωμένο Βασίλειο. Άλλα συστήματα που χρήζουν αναφοράς από την πρώτη αυτή γενιά είναι το Radiocom 2000 της Γαλλίας, το RTMI στην Ιταλία και το C 450 στη Γερμανία.

Αυτή η γενιά δικτύων περιοριζόταν στην πραγματοποίηση κλήσεων και μόνο ορισμένες προηγμένες για την εποχή συσκευές μπορούσαν να υποστηρίξουν την αποστολή μηνυμάτων. Η τεχνολογία των δικτύων αυτών ήταν αναλογική και η ποιότητα του ήχου ήταν φτωχή. Η βασική πρόοδος της τεχνολογίας αυτής ήταν η δυνατότητα "ταυτόχρονης ομιλίας" και η δυνατότητα μετακίνησης της συσκευής για πρώτη φορά (Nubarron, 2011).

Το σύστημα A-MPS

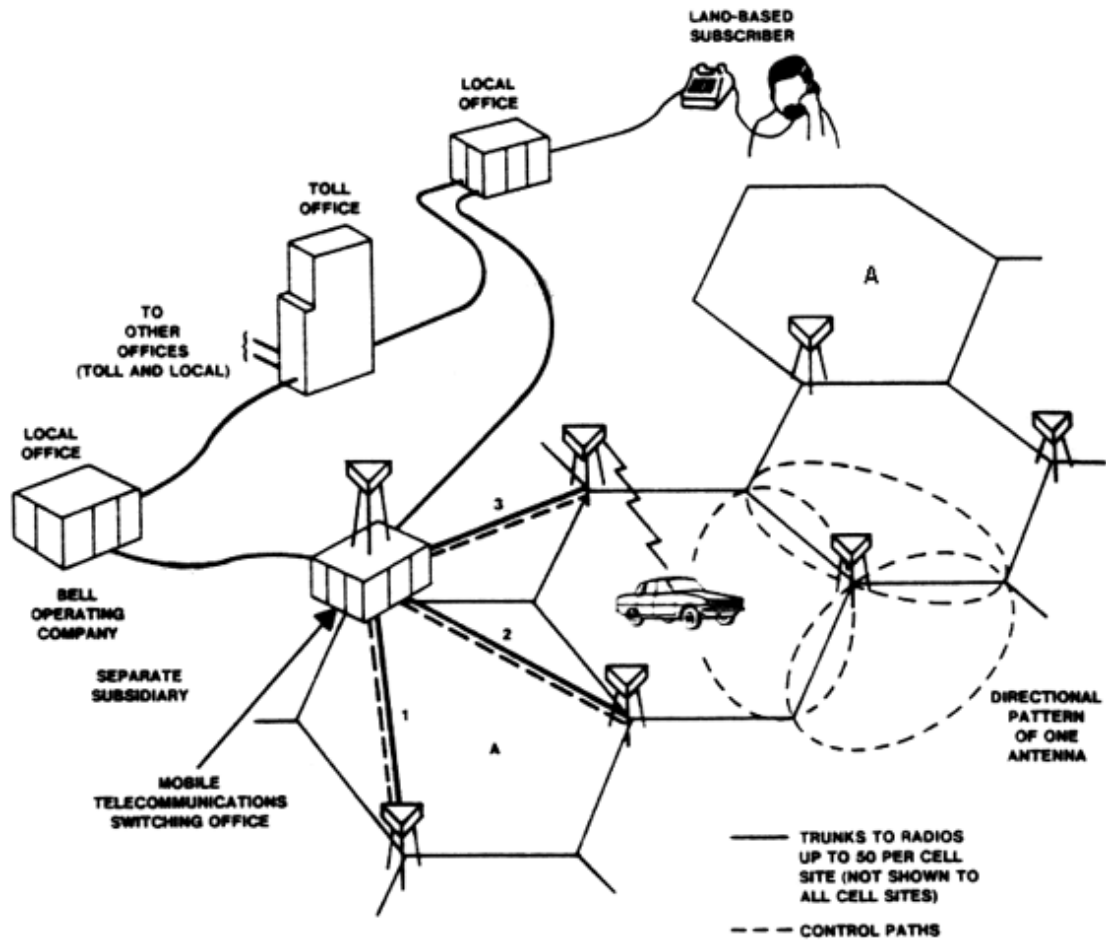


Figure 11-35. Advanced Mobile Phone Service system plan.

1.3 Η πρώτη ψηφιακή επικοινωνία (2G).

Τα δίκτυα της δεύτερης γενιάς (2G) παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά στη Φινλανδία το 1991 και χρησιμοποιούσαν το Παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών (GroupéSpecialMobile- GSM). Αυτά τα δίκτυα είναι πιο εξελιγμένα από την πρώτη γενιά, εφόσον παρέχουν και

δυνατότητα αποστολής μηνυμάτων, φωνητικές υπηρεσίες και πολυμέσα (MMS).

Το GSM είναι "ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας το οποίο χρησιμοποιεί συνδυασμό των δύο τεχνικών TDMA/FDMA. Πρόκειται για την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, σε ένα αριθμό καναλιών και τη διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για τη μετάδοση σημάτων" (Λούβρος, 2014, σ. 16).

Επίσης, το σύστημα D-AMPS αποτελεί δημιούργημα αυτής της δεύτερης γενιάς, με ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό. Ήταν προσαρμοσμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι λειτουργικά στην ίδια κυψέλη τόσο κινητά της πρώτης όσο και της δεύτερης γενιάς. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς το σύστημα βρίσκεται στη συχνότητα των 30 KHZ, όπως ακριβώς το AMPS. Κατά αυτό τον τρόπο, διατίθενται στην ίδια συχνότητα τόσο ψηφιακά όσο και αναλογικά κανάλια.

1.4Η εξέλιξη της ψηφιακής επικοινωνίας

Ακόμη, υπάρχει το σύστημα PDC στην Ιαπωνία, όπου οι συχνότητες κυμαίνονται μεταξύ των 800 και 1500 MHz, με μεγάλη απόδοση. Ανάλογη εξέλιξη αυτής της δεύτερης γενιάς αποτελεί και το δίκτυο GPRS (GeneralPacketRadioService), αναφερόμενο και ως 2,5 G,

ενώ το δίκτυο EDGE (Enhanced Data rates for GSM and TDMA Evolution) με ονομασία 2,75 G.

Το δίκτυο GPRS διαθέτει τη δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων με την τεχνική "packet switching". Αντίστοιχα, το δίκτυο Evolved EDGE, με πιο άμεση μετάδοση και συμβατότητα με προηγούμενες δικτυακές τεχνολογίες, εφόσον χρησιμεύει σαν εξέλιξη του GSM. Οι ρυθμοί μετάδοσής του είναι πολύ βελτιωμένοι, από 13 kbps ή 57 kbps στο δίκτυο GSM, φθάνουμε σε ρυθμούς 150 ή 300 kbps, γεγονός που αποτελούσε επανάσταση για την εποχή του 1997-2000. Η χρήση αυτού του δικτύου έφερε βέβαια και αλλαγές στον απαιτούμενο εξοπλισμό, όπως τα ευρυζωνικά ενσύρματα δίκτυα και οι οπτικές ίνες.

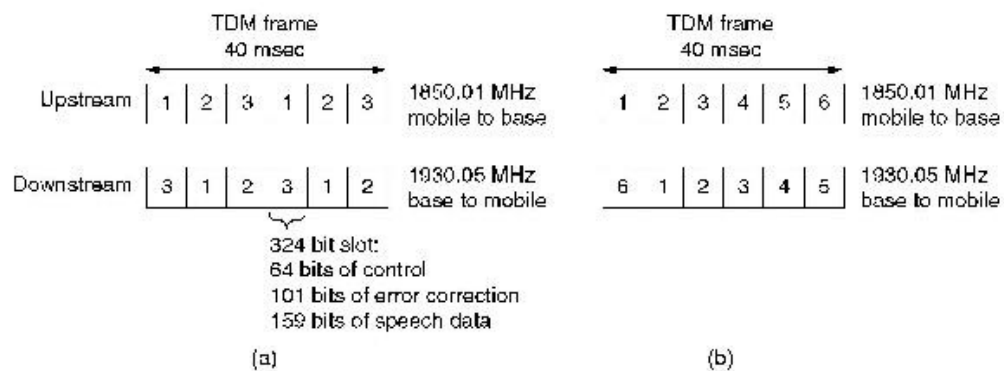
Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι το πλέον αντιπροσωπευτικό σύστημα αυτής της νέας τεχνολογίας, το GSM εφαρμόστηκε στην Ελλάδα από τις εταιρίες Panafon και Telestet, κατόπιν του εγχειρήματος της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αποτελέσει το σύστημα όλων των Ευρωπαϊκών Χωρών (Πολύμερος, 1997).

Εκτός από τα προαναφερθέντα συστήματα δεύτερης γενιάς, έχουμε το DCS 1800 (Digital Cellular System), το οποίο είναι ο διάδοχος του GSM. Βασικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού του είναι η αποτελεσματικότητά του σε σημεία όπου συγκεντρώνονται πάρα πολλοί

χρήστες κινητών. Ακόμη, ορισμένα άλλα συστήματα όπως το DECT, JDC και το IS-54 έχουν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά με το DCS 1800.

Το σύστημα D- AMPS

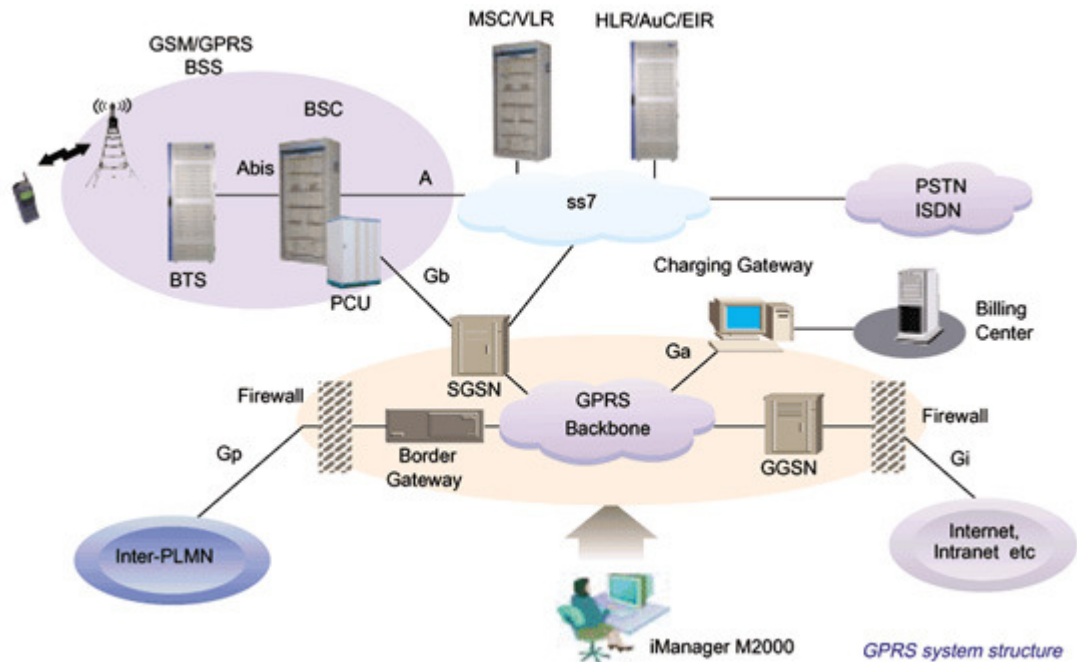
D-AMPS Digital Advanced Mobile Phone System



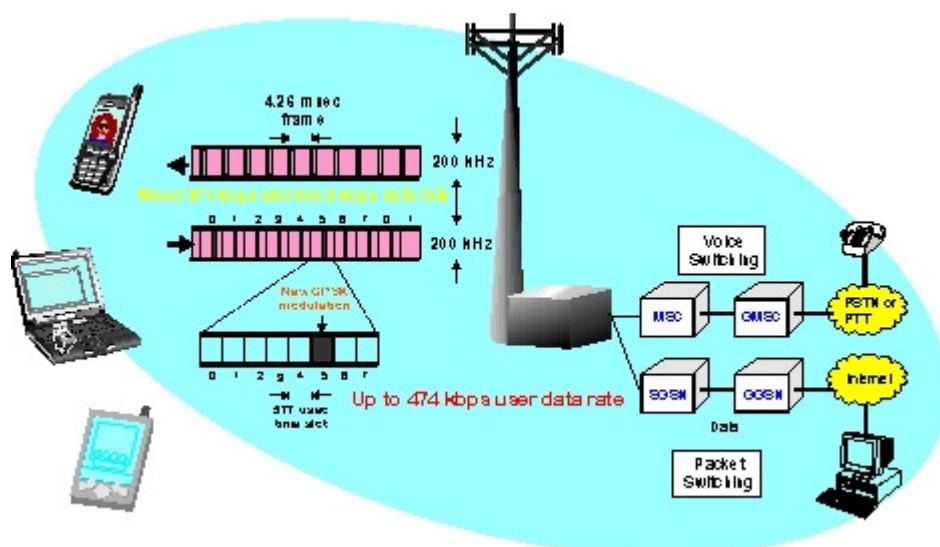
(a) A D-AMPS channel with three users.

(b) A D-AMPS channel with six users.

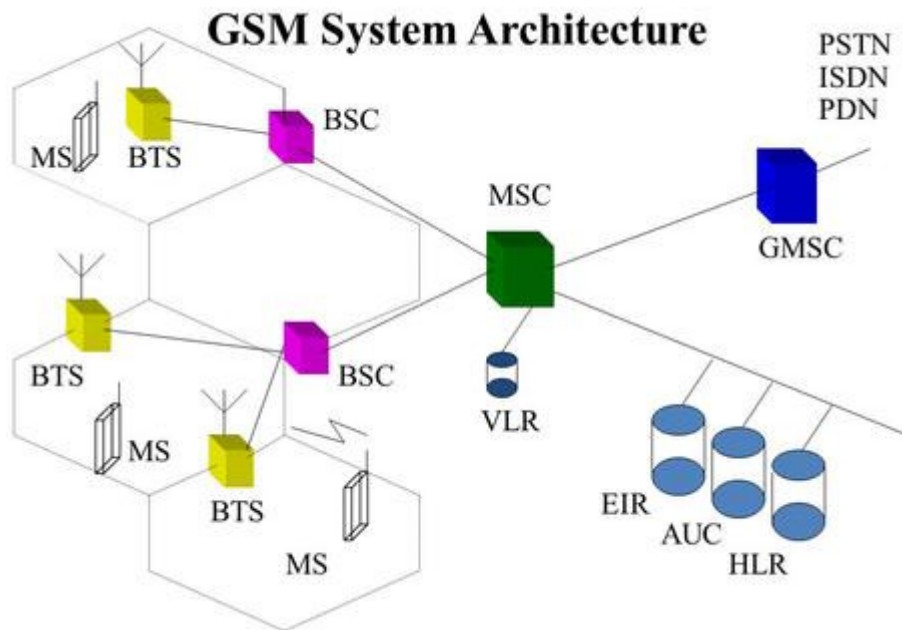
Το δίκτυο GPRS



Το δίκτυο EDGE



Το δίκτυο GSM



1.5 Τα πρώτα πακέτα δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες.

Η νέα αυτή γενιά κινητής τηλεφωνίας ήλθε στο προσκήνιο στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, με στόχο την ακόμη μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα, συνοδευμένη από νέες και τεχνολογικά προηγμένες υπηρεσίες, τόσο μέσα όσο και έξω από κτίρια.

Το 1986, η εταιρεία ITU (International Telecommunication Union), άρχισε την επεξεργασία του προτύπου IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000 MHz). Από αυτό το σύστημα ξεκίνησε και η

ανάπτυξη της τρίτης γενιάς δικτύου (3G). Ο λόγος ανάπτυξης του νέου δικτύου ήταν οι αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών, καθώς και η ανάγκη για ασύρματες υπηρεσίες δεδομένων και διαδικτύου σε υψηλότερες ταχύτητες. Η πρώτη παρουσίαση του δικτύου αυτού έγινε τον Ιανουάριο του 1998, παρά την πρόιμη ανάπτυξή του τη δεκαετία του 1980 (Αχτύπη&Μπαρλάμπα, 2015).

Πιο συγκεκριμένα, το 1992, πραγματοποιήθηκαν οι εργασίες για την υποδομή του νέου δικτύου και από το πρότυπο IMT-2000 προέκυψε το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Τη χρονιά αυτή, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων επέλεξε ως μέθοδο πρόσβασης την Ευρυζωνική Πρόσβαση με Διαμοιρασμό Κωδικών, στην οποία κάθε χρήστης θα διαθέτει άλλο κωδικό πρόσβασης. Αυτό το γεγονός εξασφαλίζει την «ορθογωνιότητα», δηλαδή, την τον διαχωρισμό της επικοινωνίας μέσω άλλου κωδικού.

Το UMTS μπήκε σε εφαρμογή το 2001, κυρίως στην Ευρώπη και στις Ασιατικές Χώρες, όπως η Κίνα και η Ιαπωνία. Επίσης, το 2006 έχουμε την εισαγωγή του συστήματος HSPA+ που αποτελεί τη βελτιωμένη μορφή του UMTS με την ονομασία 3.5 G.

Λεπτομερέστερα, το UMTS υποστήριξε μαζικά τις υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, με πολλές καινούριες δυνατότητες, όπως η υψηλή ποιότητα της φωνής, η αποστολή δεδομένων και η αποστολή τόσο

κινητής όσο και ακίνητης εικόνας. Μάλιστα, οι δυνατότητες αυτές μπορούσαν να διατεθούν τόσο στο οικείο περιβάλλον όσο και στο χώρο εργασίας ή σε άλλους δημόσιους χώρους. Πρόκειται, δηλαδή για τη δυνατότητα να καλεί κάποιος από όπου και όποτε θέλει, οποιονδήποτε άλλο χρήστη.

Επιπροσθέτως, το UMTS έδινε την επιλογή χρήσης οποιασδήποτε τερματικής συσκευής, μέσω της κάρτας του χρήστη. Οι τερματικές συσκευές του, μάλιστα, είχαν πολύ μεγάλη ποικιλία, από μικρές και χαμηλού κόστους που έδιναν μόνο την επιλογή φωνητικής κλήσης, έως συσκευές με πολλαπλές δυνατότητες, όπως η αποστολή fax, η αναπαραγωγή εικόνων και δεδομένων αλλά και video. Ο συνδυασμός όλων αυτών των πρωτοφανών χαρακτηριστικών συνετέλεσε στο να διαδοθεί γρήγορα το σύστημα αυτό στις Χώρες της Ευρώπης.

Το ζήτημα που ανέκυψε ήταν ότι η τηλεφωνική, και όχι μόνο, δραστηριότητα του UMTS ήταν μεγάλη. Αυτό σήμαινε ότι οι ρυθμοί μετάδοσης του συστήματος θα πρέπει να υποστηρίζονται από υψηλή χωρητικότητα. Έτσι, ο προκαθορισμός ενός τέτοιου εγχειρήματος χρειάστηκε ευελιξία αλλά και επιδίωξη της μείωσης των δαπανών που προέκυψαν (Πολύμερος, 1997).

Αυτές οι δυσκολίες του UMTS λύθηκαν με τρεις τρόπους. Αρχικά, με διαφοροποιημένες παροχές υπηρεσιών ανάλογα με την περιοχή και

την επιθυμία του χρήστη να γίνει συνδρομητής. Για αυτό το λόγο, το σύστημα παρείχε υπηρεσίες διαβαθμισμένων απαιτήσεων και ρυθμού μετάδοσης-ποιότητας ήχου. Επιπλέον, οι παρεχόμενες συνδέσεις έδιναν την επιλογή μεταγωγής πακέτου ή κυκλώματος.

Ο δεύτερος τρόπος επίλυσης ήταν η προσαρμογή των υπηρεσιών στις ανάγκες του εκάστοτε δημοσίου ή ιδιωτικού φορέα. Για παράδειγμα, μια ιδιωτική επιχείρηση που εγκαθιστούσε το σύστημα και την υποδομή του σε τμήμα ενός κτιριακού συγκροτήματος όπου έδρευε, μπορούσε να επεκτείνει τη σύνδεση σε όλους του χώρους του κτιρίου. Τέλος, ο τρίτος τρόπος επίλυσης του ζητήματος αφορούσε στη λειτουργικότητα του εντοπισμού των χρηστών, εάν αυτοί καλούσαν σε ενσύρματο δίκτυο.

Συνοψίζοντας, το σύστημα UMTS πέτυχε για πρώτη φορά την ένωση του κυψελωτού και του ασύρματου τρόπου επικοινωνίας σε συνδυασμό με υπηρεσίες δεδομένων και τηλε-ειδοποίηση. Αυτές οι υπηρεσίες ήταν διαθέσιμες τόσο εντός όσο και εκτός κτιρίων, σε ιδιωτικούς ή δημόσιους χώρους. Οι υπηρεσίες και οι συσκευές βρίσκονταν σε πλειάδα, ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών, γεγονός που έδινε ευελιξία στο σύστημα το οποίο λειτουργούσε σε εθνική και διεθνή εμβέλεια. Έτσι, το UMTS αποτέλεσε το πλέον προηγμένο σύστημα της εποχής των αρχών του 2000.

Αντικειμενικοί στόχοι

Αρχικά, το UMTS όπως προαναφέρθηκε, είχε ως βασικό του στόχο την «δυνατότητα αποκατάστασης της επικοινωνίας μεταξύ κινητών χρηστών αλλά και μεταξύ κινητών και ακινήτων χρηστών, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, σε οποιοδήποτε περιβάλλον (ιδιωτικό ή δημόσιο) και αν βρίσκονται οι χρήστες» (Πολύμερος, 1997, σ. 10). Η επικοινωνία αυτή, μάλιστα, θα έπρεπε να είναι ολοκληρωμένη, παρά τη συχνότητα με την οποία χρησιμοποιούταν το δίκτυο αυτό.

Τέτοιου είδους απαιτήσεις μπόρεσαν να λυθούν με ορισμένες καινοτομίες στις εγκαταστάσεις του δικτύου. Αρχικά, τοποθετήθηκαν κατάλληλοι σταθμοί βάσης, οι οποίοι έδιναν τη δυνατότητα ασύρματης κάλυψης σε όλους τους χώρους. Αυτή η κάλυψη ονομάστηκε «δημόσιο δίκτυο», ενώ στα υπόλοιπα μέρη, όπως τα σπίτια, τα αυτοκίνητα και οι χώροι εργασίας καλύφθηκαν από τα επονομαζόμενα «δευτερεύοντα συνδρομητικά δίκτυα». Πρόκειται για τα CPN επιχειρήσεων, οικιών και CPNκινητά.

Επομένως, η λειτουργία του UMTS μπορεί να γίνει αντιληπτή ως ένα σύνολο δικτύων δημόσιας και ιδιωτικής εμβέλειας, το οποίο ενοποιείται με το ενσύρματο δίκτυο τηλεπικοινωνίας. Η επικοινωνία όλων αυτών των δικτύων γίνεται είτε με ασύρματο είτε με ενσύρματο τρόπο. Ειδικά το κινητό CPN επικοινωνεί μόνο ασύρματα με το δημόσιο

δίκτυο ενώ τα CPNοικειών και επιχειρήσεων διαθέτουν και τις δύο επιλογές.

Υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες του UMTS διακρίνονταν από μεγάλη ποικιλία και ήταν τόσο οι τυπικές, όσο και οι καινούργιες. Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά ήταν τα εξής: Η αποθήκευση και η αναζήτηση φωνητικών μηνυμάτων, η τηλεομοιοτυπία, η μεταφορά αρχείων από βάσεις δεδομένων, τα μικρά μηνύματα, το teletex, η μετάδοση εικόνων, η μεταφορά χάρτη, η αποστολή κινητής εικόνας, τόσο χωρίς ομιλία όσο και με ομιλία, το teleconferencing αλλά και η αποστολή κινητής εικόνας, μέσω της κάμερας, όπως για παράδειγμα, η κίνηση του δρόμου.

Επίσης, ορισμένες νέες συμπληρωματικές δυνατότητες του νέου εκείνου συστήματος ήταν η αναγνώριση κλήσεων, η φραγή κλήσεων, η προώθηση κλήσεων, οι κλήσεις σε αναμονή, η τριμερής συνομιλία αλλά και η χρέωση. Όλα αυτά τα στοιχεία παρέχονταν μάλιστα στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, ο οποίος δεν ξεπερνούσε, συνήθως, τα 10 δευτερόλεπτα. Τόσο για παράδειγμα μπορούσε να διαρκέσει μια αποστολή εικόνας από μια συσκευή σε άλλη. Πρόκειται για τη λεγόμενη «ανεκτή καθυστέρηση παροχής μιας πληροφορίας».

Κινητικότητα

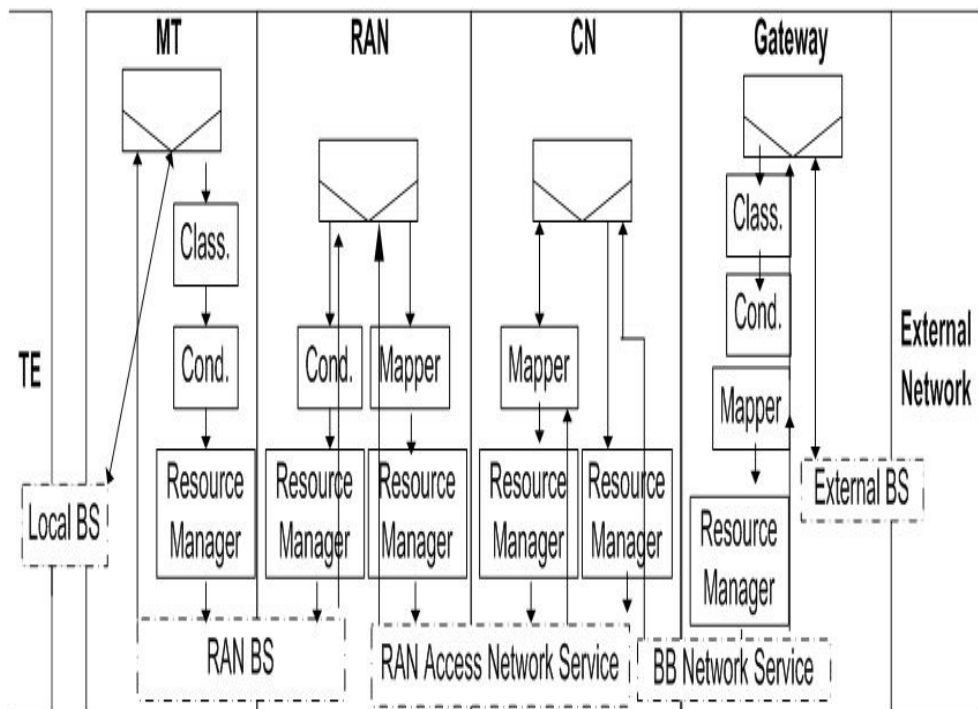
Πρόκειται για τη βασικότερη επιδίωξη του UMTS, η οποία πρόσφερε τη δυνατότητα κλήσεως από οποιοδήποτε σημείο και συσκευή σε οποιαδήποτε Χώρα της Ευρώπης. Οι χρήστες με αυτού του είδους τη δυνατότητα αποκαλούνταν “terminalboundusers”, εφόσον χρησιμοποιούσαν μόνο μία τερματική συσκευή, η οποία κάλυπτε όλες αυτές τις ξεχωριστές δυνατότητες (Πολύμερος, 1997, σ. 10). Το σύστημα αυτό συνοδευόταν και από κινητικότητα, εφόσον ο χρήστης μπορούσε να προσαρμόσει την κάρτα του σε οποιαδήποτε άλλη συσκευή με άλλο τύπο και δυνατότητες, ώστε να εκπληρώσει τις εκάστοτε επικοινωνιακές του ανάγκες.

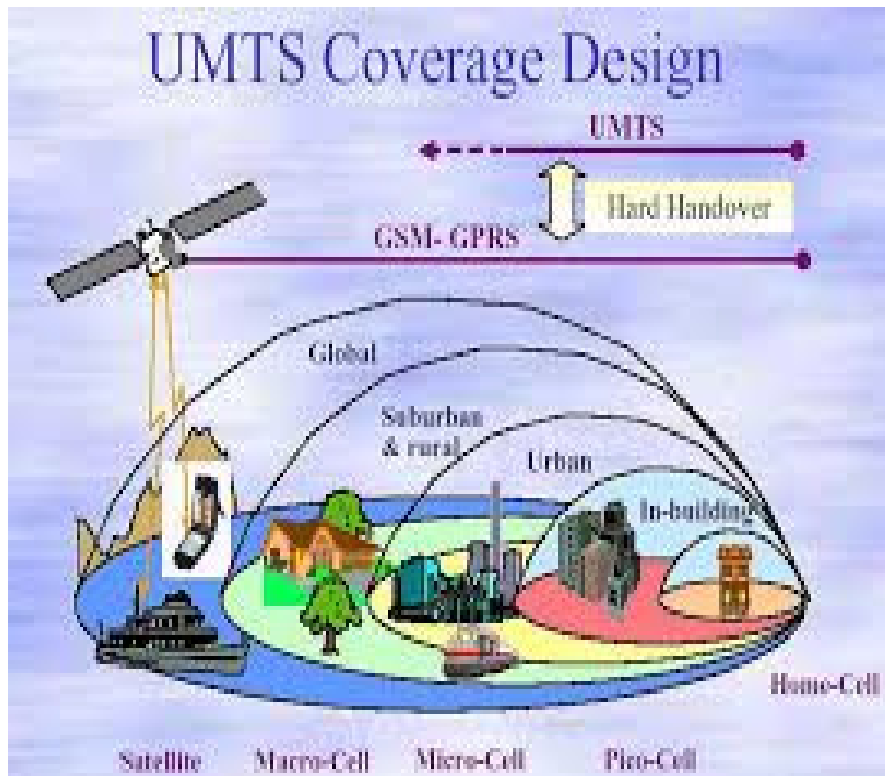
Εκτός από αυτή την προσαρμοστικότητα σε διαφορετικές συσκευές, μπορούσε να συμβεί και το αντίθετο. Δηλαδή, μπορούσαν να κάνουν εγγραφή πολλοί διαφορετικοί χρήστες σε μία μόνο τερματική συσκευή. Αυτό το γεγονός αποτελούσε μεγάλη καινοτομία που δεν την συναντούσαμε στη δεύτερη γενιά κινητής τηλεφωνίας. Κατ' επέκταση, υπήρχε η ευκαιρία να εγγραφούν χρήστες άλλων συστημάτων, όπως του UPT στο UMTS.

Υποδομή του UMTS

Το δίκτυο UMTS είναι ένα δίκτυο που συνενώνει υπηρεσίες και αποτελείται από ένα μεγάλο σύνολο δικτύων που συνενώνονται με το ενσύρματο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Όλα αυτά επικοινωνούν μεταξύ τους, τόσο με ενσύρματο όσο και με ασύρματο τρόπο ανάλογα με την περίπτωση. Για να υποστηριχθεί η κινητικότητα των χρηστών, πρέπει να ενυπάρχει στο δίκτυο η ανάλογη υποδομή που να αφορά την εύρεση της εκάστοτε θέσης των συνομιλητών αλλά και την προώθηση της κλήσης. Η επικοινωνία αυτή έπρεπε να είναι απρόσκοπτη και να μην επηρεάζεται από αλλαγές κυψέλης ή περιβάλλοντος. Πρόκειται για τη διαδικασία της μεταπομπής.

Υποσύστημα διαχείρισης ποιότητας υπηρεσίας του UMTS σε επίπεδο χρήστη

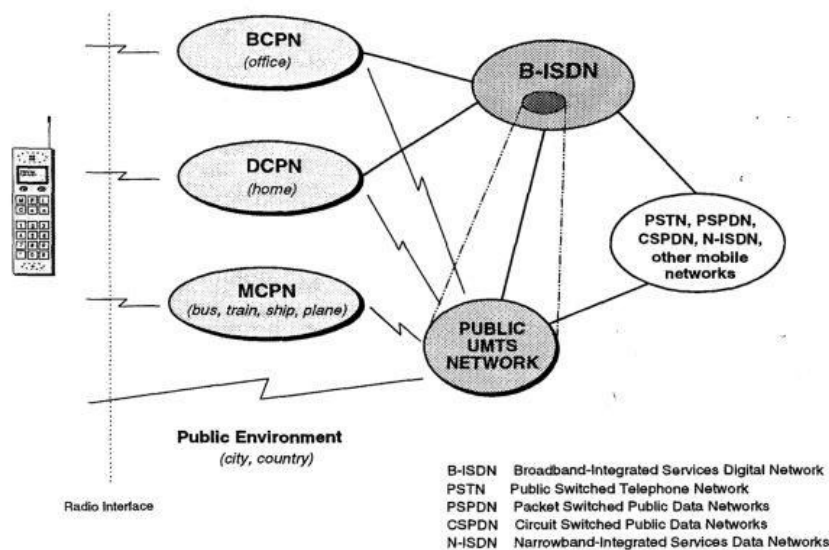




Το UMTS, εκτός από τη διαδικασία ενημέρωσης θέσης που υπάρχει στο GSM, είχε και την ιδιότητα της ενημέρωσης για το περιβάλλον. Πρόκειται για μια διαδικασία όπου ο χρήστης ρυθμίζει με τέτοιο τρόπο τη συσκευή του που θέτει το περιβάλλον από το οποίο προτιμά να λαμβάνει ή να κάνει κλήση σε προτεραιότητα.

Η επικοινωνία του UMTS με άλλα δίκτυα.

Ανάλυση των στοιχείων του UMTS

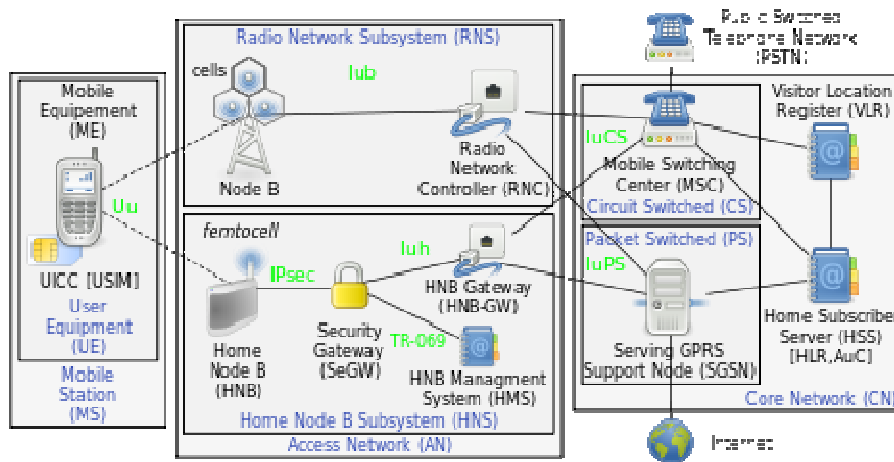


Το UMTS αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα. Αρχικά, είναι το τμήμα πρόσβασης όπου εμπεριέχονται η συσκευή και το CPN, είτε ασύρματης είτε ενσύρματης μορφής. Μετά, είναι το ενσύρματο δίκτυο του UMTS. Η συσκευή με τα διάφορα περιβάλλοντα πρόσβασης, μπορεί να βρίσκεται σε επικοινωνία με όλα τα προαναφερθέντα δίκτυα. Οι λεγόμενες «φυσικές οντότητες» του συστήματος, λοιπόν, είναι η κινητή συσκευή, το σύστημα της ασύρματης πρόσβασης, ο σταθμός πρόσβασης, το τοπικό κέντρο, ο κόμβος ελέγχου κινητικότητας, ο κόμβος

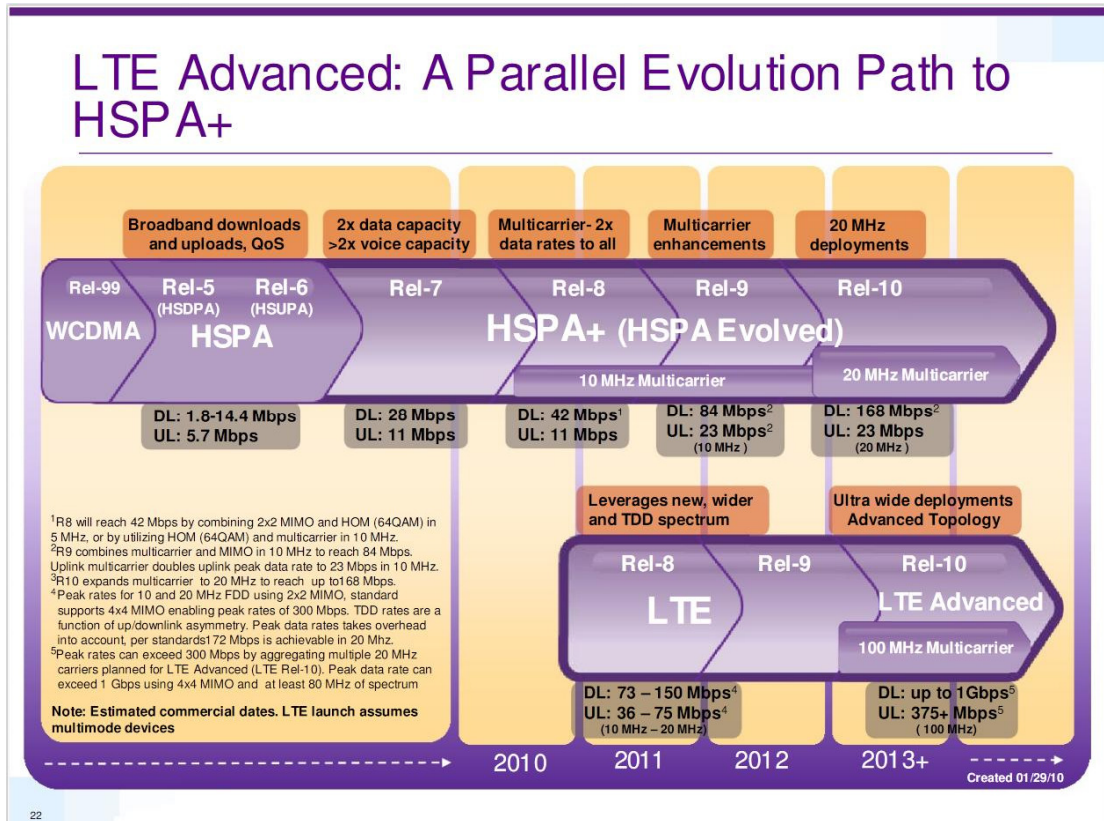
αποθήκευσης πληροφοριών, το διαβιβαστικό κέντρο και οι τερματισμοί των δικτύων (Πολύμερος, 1997).

Ως τερματικό ή συσκευή, ονομάζεται το μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στο δίκτυο. Η ίδια συσκευή αυτή προσφέρεται για χρήση σε όλα τα περιβάλλοντα, είτε δημόσια είτε ιδιωτικά. Όσον αφορά στο περιβάλλον, το κινητό θα έρχεται σε επαφή είτε με το δημόσιο δίκτυο είτε με έμμεσο τρόπο, με το CPN.

Το σύστημα UMTS



Το σύστημα HSPA+

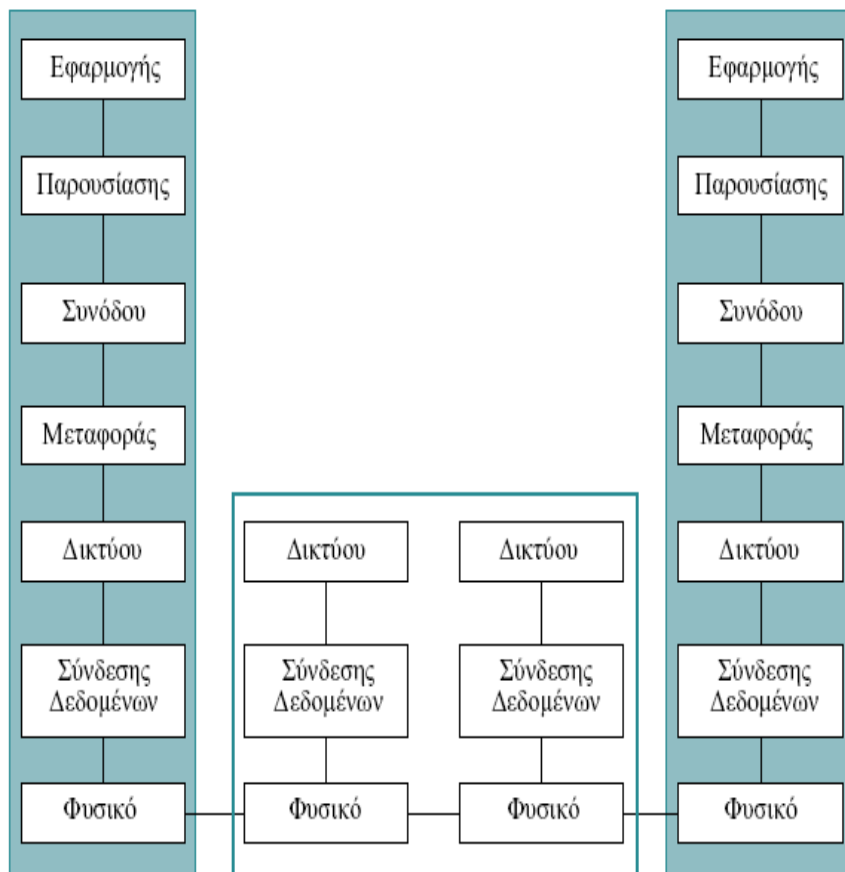


Κεφάλαιο 2

2.1 Διεπαφή αέρα.

Η διεπαφή αέρα έχει δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο που ένα σύνολο πρωτοκόλλων κατά τις τεχνικές απαιτήσεις της 3GPP (3GPPtechnicalRecommendations). Σε εικόνα που θα παρατεθεί παρακάτω, η στοίβα της αριστερής πλευράς είναι επιφορτισμένη με την αποστολή μηνυμάτων που αφορούν στη σηματοδότηση αλλά και στις συνολικές δραστηριότητες σηματοδότησης. Αντίστοιχα, η δεξιά στοίβα είναι δημιουργημένη για τα πακέτα δεδομένων και τις πληροφορίες του συνδρομητή.

Υπάρχουν ορισμένα πρωτόκολλα που αφορούν στην εκτέλεση των απαιτούμενων λειτουργιών της διεπαφής αέρα. Αυτά είναι τα εξής: PDCP (PacketDataConvergenceProtocol), RLC (RadioLinkProtocol), MAC (MediumAccessControl) και, τέλος, το φυσικό επίπεδο. Εάν εστιάσουμε στην αποστολή των μηνυμάτων, της σηματοδότησης layer 3, το πρωτόκολλο που αξιοποιείται είναι το RRC (RadioResourceControl). Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο το οποίο ασχολείται με τη μεταφορά μηνυμάτων AS (AccessStratum) και NAS (NonAccess Stratum).

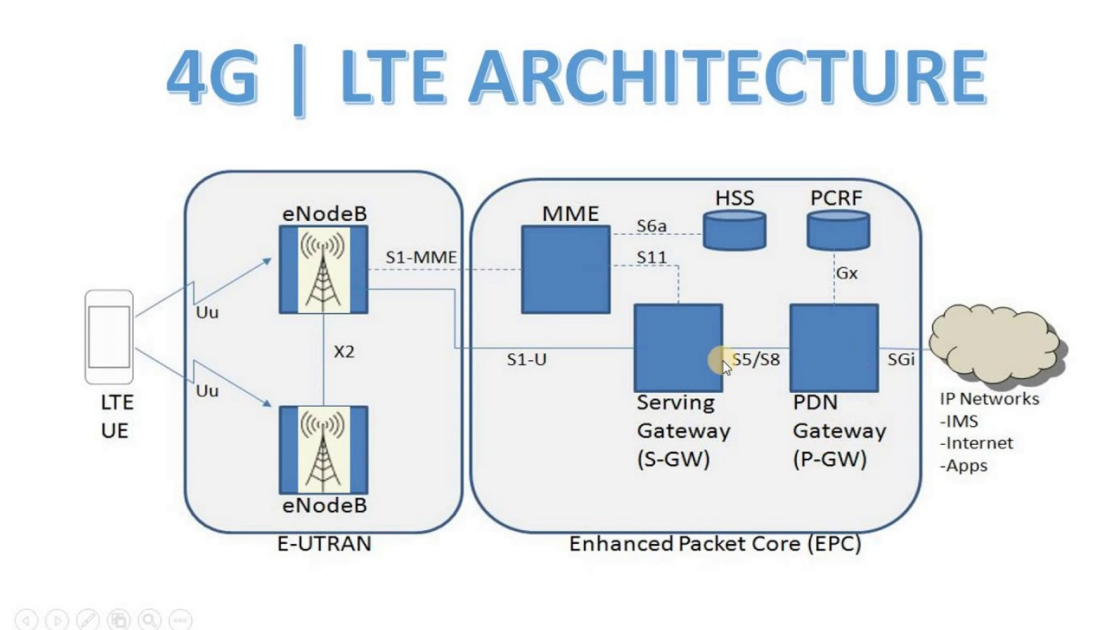


Το PDCP πρωτόκολλο διαθέτει συμπίεση RobustHeaderCompression (ROHC) και χρησιμεύει ως ασφάλεια των προαναφερθέντων πρωτοκόλλων. Αντίστοιχα, το RLC δημιουργεί τα λεγόμενα «λογικά κανάλια», με τεμαχισμό μηνυμάτων σε μικρότερα και μετακινεί σειρές μηνυμάτων. Έπειτα, έχουμε το πρωτόκολλο MAC, το οποίο είναι επιφορτισμένο με την αντιστοίχιση των λογικών καναλιών με τα κανάλια μεταφοράς και για το «πρώτο επίπεδο αναμετάδοσης βεβλαμμένων μηνυμάτων» (Λούβρος, 2014, σ. 38). Το πρωτόκολλο αυτό διαθέτει και τις εξίσου ζωτικές δυνατότητες της λειτουργίας του scheduler, του transportblock και του dynamiclinkadaptation(επονομαζόμενη και ως ratecontrol).

Το φυσικό επίπεδο, συνακόλουθα, κάνει την αντιστοίχιση του καναλιού μεταφοράς με ένα φυσικό κανάλι, πραγματοποιώντας την κωδικοποίηση του καναλιού, την προσαρμογή του ρυθμού της μετάδοσης στα μεγέθη του transportblock, interleaving, filtering και OFDMmapping.

Κατά τα πρότυπα του 3GPP, η τεχνική της πρόσβασης στη διεπαφή του αέρα είναι η «Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας», για την κατερχόμενη ζεύξη και η «Πολλαπλή Πρόσβαση διαίρεσης Συχνότητας Μοναδικού Φέροντος» για την ανερχόμενη ζεύξη. (Λούβρος, 2014, σ. 39). Τα εύρη ζώνης και των δύο αυτών τεχνικών είναι μεταβλητά, με αποτέλεσμα να υποστηρίζεται η τεχνολογία LTE σε πολλά μέρη και περιοχές του πλανήτη με διαφορετικές συχνότητες.

Δίκτυο LTE



Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

Το δίκτυο αυτό εξελίχθηκε μετά από τα δίκτυα της τρίτης γενιάς με στόχευση την προσφορά ουσιαστικής ευρυζωνικής πρόσβασης κινητής τηλεφωνίας 4G. Η αρχιτεκτονική του είναι διμερής και περιλαμβάνει ένα ασύρματο δίκτυο και ένα κεντρικό δίκτυο, τα οποία θα αναλυθούν σε αυτή την ενότητα.

Τα δίκτυα αυτά υποστηρίζουν όλες τις διαθέσιμες υπηρεσίες που είναι σχετικές με το radio, όπως ο «χρονοπρογραμματισμός», ο «χειρισμός ραδιο-πόρων», τα πρωτόκολλα αναμετάδοσης η κωδικοποίηση και πολλά σχήματα που αφορούν στις πολλαπλές κεραιές. Επίσης, οι νέοι σταθμοί βάσης του δικτύου αυτού είναι εξελιγμένοι, σε σχέση με τα προγενέστερα δίκτυα και προσφέρουν τόσο το επίπεδο του χρήστη, όσο και τον έλεγχο προς τον εξοπλισμό του χρήστη (Βαρδιάμπαση, 2015).

Ακόμη, διατίθενται ισχυρές IP- based υπηρεσίες, οι οποίες έχουν ανεμπόδιστη κινητικότητα και αναβαθμισμένους μηχανισμούς, όπως αυτός του «qualityofservice». Όλες του οι παροχές έχουν, μάλιστα, αναβαθμιστεί σε πολλές εκδόσεις του συγκεκριμένου δικτύου. Οι εκδόσεις αυτές φθάνουν στο εξελιγμένο LTE (LTE-Advanced). Ειδικότερα η τελευταία του έκδοση είναι εγκεκριμένη από τη Διεθνή Μονάδα Τηλεπικοινωνιών ως τεχνολογία τέταρτης γενιάς.

Η διεπαφή αέρα αυτού του συστήματος περιλαμβάνει τόσο τον διαχωρισμό συχνοτήτων (FrequencyDivisionDuplexing) όσο και τον διαχωρισμό του χρόνου (TimeDivisionDuplexing), ως δύο διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Αρχικά, η λειτουργία της κάτω ζεύξεως (Downlink) λειτουργεί μέσω της ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OrthogonalFrequencyDivisionMultiple Access OFDMA) ενώ η άνω ζεύξη του συστήματος λειτουργεί μέσω της πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας μονού διαφέροντος (SingleCarrierFrequencyDivisionMultiple Access- SC-FDMA) (Βαρδιάμπαση, 2015).

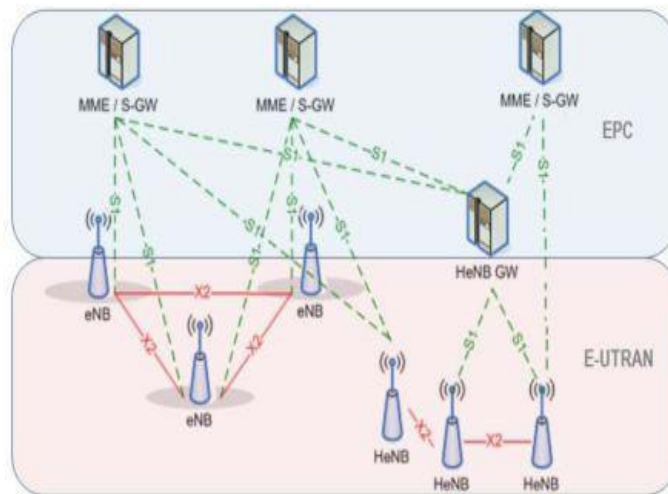
Περιλαμβάνει τρία βασικά χαρακτηριστικά, τον χρηστικό εξοπλισμό, το βελτιωμένο και αναβαθμισμένο UMTS (TerrestrialRadioNetwork- U-TRAN) και το επίσης αναβαθμισμένο πακέτο πυρήνα (PacketCore). Αυτό το πακέτο υποστηρίζει την επικοινωνία με πακέτα δικτύου του έξω κόσμου, όπως το διαδίκτυο και τα δίκτυα των ιδιωτικών εταιριών ή τα πολυσυστήματα πολυμέσων.

Η εσωτερική δομή και η αρχιτεκτονική του νέου αυτού δικτύου προσιδιάζει αρκετά στο UMTS και το GSM. Πρόκειται, ουσιαστικά, για ένα κινητό τερματικό που αποτελείται από τρία επιμέρους στοιχεία. Αρχικά, έχουμε το στοιχείο του χειρισμού όλων των λειτουργιών επικοινωνίας (MobileTermination), έπειτα, τον τερματισμό των ροών

δεδομένων (terminalequipment) και η γνωστή κάρτα SIM που ενσωματώνει το κινητό στο δίκτυο (UniversalSubscriberIdentityModule) (Κοσιάντης, 2015). Στην κάρτα αυτή, εντυπώνονται οι πληροφορίες του αριθμού τηλεφώνου, η ταυτότητα του δικτύου και το κλειδί της ασφαλείας.

Αρχικά, χωρίζεται σε δύο βασικά υποσυστήματα, το εξελιγμένο διεθνές τηλεφωνικό-τηλεπικοινωνιακό σύστημα (UMTS) και τον εξελιγμένο πυρήνα πακέτου (EvolvedPacketCore). Η αρχιτεκτονική του απλοποιήθηκε, ώστε να αποφευχθούν οι ιεραρχικές δομές και να προσφερθούν δυνατότητες επέκτασης και αποτελεσματικότητας. Το δεύτερο υποσύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να αποδίδει υψηλότερα «data rates» και χαμηλή καθυστέρηση στο ζήτημα της επιδιόρθωσης πιθανών ελαττωμάτων (Τσόλκας, 2014).

Επίσης, στόχος του είναι να λειτουργεί υπό ποικίλες ραδιοσυχνότητες, ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του συστήματος και να υποστηριχθεί η απρόσκοπτη κινητικότητά του. Οι βασικές ενότητες του συστήματος που χρησιμεύουν σε αυτό το σκοπό είναι αυτή του «mobile management», της «service gateway» και η «packet data network gateway»



Το επόμενο υποσύστημα του LTE, επονομαζόμενο ως σύστημα U-TRAN, αφορά στη διαχείριση των ραδιοεπικοινωνιών ανάμεσα στην τερματική συσκευή και τον αναβαθμισμένο πυρήνα των πακέτων. Έχει ως βασικό νέο συστατικό του μόνο τους καινούριους σταθμούς βάσεως που ονομάζονται eNodeB ή eNB. Κάθε eNB αποτελεί ένα σταθμό ο οποίος ελέγχει τις τερματικές συσκευές μέσω μίας ή περισσότερων κυψελών. Ο σταθμός της βάσης που επικοινωνεί με τα τηλέφωνα ονομάζεται «servingeNB».

Το eNB αποστέλλει και λαμβάνει σε όλα τα τερματικά μέσω της χρήσης της αναλογικής και της ψηφιακής λειτουργίας που επεξεργάζεται το σήμα της διεπαφής αέρα. Αντίστοιχα, διαθέτει τη λειτουργία ελέγχου του χαμηλού επιπέδου όλων των συσκευών με αποστολή μηνυμάτων με συγκεκριμένες εντολές.

Κάθε eNB (HeNB) δημιουργεί σύνδεση με το EPC μέσω της διεπαφής αέρα S1 και είναι δυνατό, επίσης, να συνδέεται με σταθμούς που βρίσκονται σε κοντινές βάσεις, μέσω της διεπαφής X2, που λειτουργεί κυρίως στη δημιουργία σήματος και στην προώθηση πακέτων κατά την διάρκεια συνδιαλλαγών.

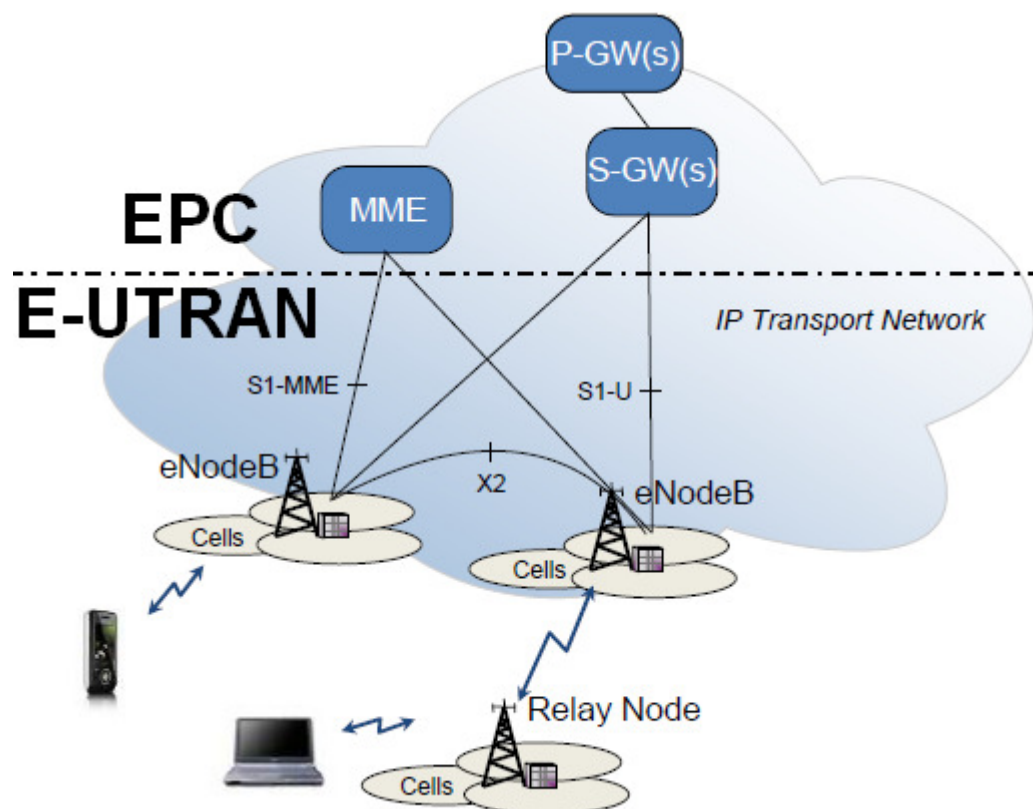
«Ένα HomeeNB (HeNB) είναι ένας σταθμός βάσης, που έχει αγοραστεί από έναν χρήστη για να παρέχει femtocell κάλυψη μέσα στο σπίτι. Ένα homeeNB ανήκει σε ένα κλειστό groupσυνδρομητών (closedsubscriber CSG) και μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο κινητά που έχουν USIM η οποία ανήκει στο κλειστό αυτό group[2]» (Κοψιάυτης, 2015).

Το U-TRAN δημιουργεί μια συνύπαρξη ανάμεσα σε μεγάλους σταθμούς-βάσεις (Τα eNB και HeNB) μαζί με μικρότερους- ίδιου τύπου σταθμούς (homeeNBS) και κινητά τερματικά που αποκαλούνται εξοπλισμοί χρηστών (UserEquipment).

Όπως έχει ειπωθεί, αυτή η νέα γενιά κινητής επικοινωνίας αναπτύχθηκε για λόγους ευρείας και ιδιαίτερα αξιόπιστης υπηρεσίας τηλεπικοινωνιών, με συσκευές οι οποίες βελτιώνουν συνεχώς την ποιότητα των τηλεπικοινωνιών και την εσωτερική κάλυψή τους, σε χώρους που παλαιότερα δεν θα ήταν εύκολο να αποκτήσουν ένα ικανοποιητικό σήμα (Συσκευές Femtocells). Το LTE (longTermEvolution) και η μετεξέλιξή του που ονομάζεται LTE-A

(Advanced), είναι τα πρώτα συστήματα που υιοθετούν το μικτό αυτό κινητό δίκτυο και δημιουργούν, ουσιαστικά, την πρόκληση ενός πολυεπιπέδου και ετερογενούς δικτύου) (Τσόλκας, 2014).

EPC- E-UTRAN



Η κάρτα SIM



Χαρακτηριστικά του LTE

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου δικτύου που ώθησαν στη μετάβαση σε μια πιο απλή αρχιτεκτονική που αναλύθηκε προηγουμένως και μετέβαλε τα ενοποιημένα δίκτυα των προηγούμενων τριών γενιών κινητής τηλεφωνίας.

Καταρχήν, προσφέρονται ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων στο downlink έως την τάξη των 300 Mbps και στο uplink μέχρι τα 75 Mbps, ανάλογα με την κατηγορία του UE. Τα τερματικά εργαλεία του δικτύου αυτού διαθέτουν ικανότητα επεξεργασίας σε εύρος της τάξεως των 20 MHz. Επιπροσθέτως, οι καθυστερήσεις στη μεταφορά των δεδομένων είναι πολύ πιο χαμηλές από παλαιότερα δίκτυα (Πακέτα κάτω από 5 ms).

Στη συνέχεια, παρατηρείται εξελιγμένη υποστήριξη κινητών τερματικών, ανεξάρτητα από την ταχύτητα με την οποία αυτές κινούνται (Μέχρι και τα 500 χιλιόμετρα ανά ώρα). Σε αυτή τη δυνατότητα συντελούν δύο χαρακτηριστικά: Η αξιοποίηση της διαμόρφωσης του OFDMA κατά τη διάρκεια της καθοδικής ζεύξης και της SC-FDMA για την ανοδική ζεύξη.

Ακόμη, το νέο σύστημα υποστηρίζει και διπλεξία τόσο στο χρονικό κομμάτι όσο και στο κομμάτι της συχνότητας, με ευελιξία του φάσματος και πρότυπα κανάλια στα 1.4MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz.

Οι κυψέλες του συστήματος μεταβάλλονται ως προς το μέγεθος από τα δεκάδες μέτρα ως τα 100 χιλιόμετρα, με το ιδανικό μέγεθος να διαφέρει ανά περιοχή. Σε αγροτικές περιοχές, το μέγεθος είναι ιδανικό στα πέντε χιλιόμετρα, ενώ σε αστικές περιοχές, το μέγεθος που επαρκεί αγγίζει τα 100 χιλιόμετρα ώστε να είναι η απόδοση του δικτύου ωφέλιμη

και ικανοποιητική. Γενικότερα, στις αστικές περιοχές, οι συχνότητες είναι υψηλές για λόγους ευρυζωνικότητας.

Τέλος, η λιγότερο περίπλοκη δομή του νέου δικτύου ευνοεί τη συλλειτουργία του με άλλα δίκτυα παλαιότερου τύπου, τα οποία καλύπτουν τις περιοχές στις οποίες ακόμη δεν έχει δραστηριοποιηθεί το LTE (GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000). Έτσι ο χρήστης θα μπορεί να συνεχίζει απρόσκοπτα την κλήση του σε οποιοδήποτε σημείο κι αν βρίσκεται.

Η αρχιτεκτονική του LTE μπορεί να χαρακτηριστεί υψηλού επιπέδου, με συγκεκριμένες συνιστώσες. Όπως προαναφέρθηκε, αυτές οι συνιστώσες είναι ο εξοπλισμός του χρήστη, το εξελιγμένο και αναβαθμισμένο UMTS (U-TRAN) και το εξελιγμένο πακέτο πυρήνα (EvolvedPacketCore). Το τελευταίο είναι επιφορτισμένο με την επικοινωνία των δικτύων μεταφοράς και πακέτων δεδομένων στον κόσμο, με παραδείγματα το διαδίκτυο και τα ιδιωτικά δίκτυα εταιριών. Οι διεπαφές των συστημάτων αυτών έχουν και συγκεκριμένους συμβολισμούς (Uu, S1 και SGi).

Ο εξοπλισμός του χρήστη στο σύστημα αποτελείται από ορισμένες σημαντικές συσκευές. Ξεκινώντας, έχουμε το κινητό τερματικό που συμβάλλει στο χειρισμό όλων των επικοινωνιακών αναγκών. Ακολουθεί ο εξοπλισμός τερματικού ο οποίος μπορεί να τερματίσει τα δεδομένα και

τη ροή τους. Τέλος, η κάρτα SIM της τέταρτης γενιάς, ενώ προσιδιάζει σε αυτή της τρίτης γενιάς, μπορεί να διατηρεί πληροφορίες για τον αριθμό, την ταυτότητα δικτύου και τα κλειδιά ασφαλείας.

E-UTRAN

Το E-UTRAN ασχολείται με το χειρισμό των ραδιοεπικοινωνιών μεταξύ του κινητού (UE) και του EPC και διαθέτει μόνο ένα στοιχείο, που καλείται eNodeB ή eNB. Κάθε eNB είναι ένας σταθμός που ελέγχει εάν τα κινητά βρίσκεται σε μία ή περισσότερες κυψέλες. Ο σταθμός βάσης που επικοινωνεί με ένα κινητό, όπως είναι εύληπτο και κατανοητό, προέρχεται από τον eNB.

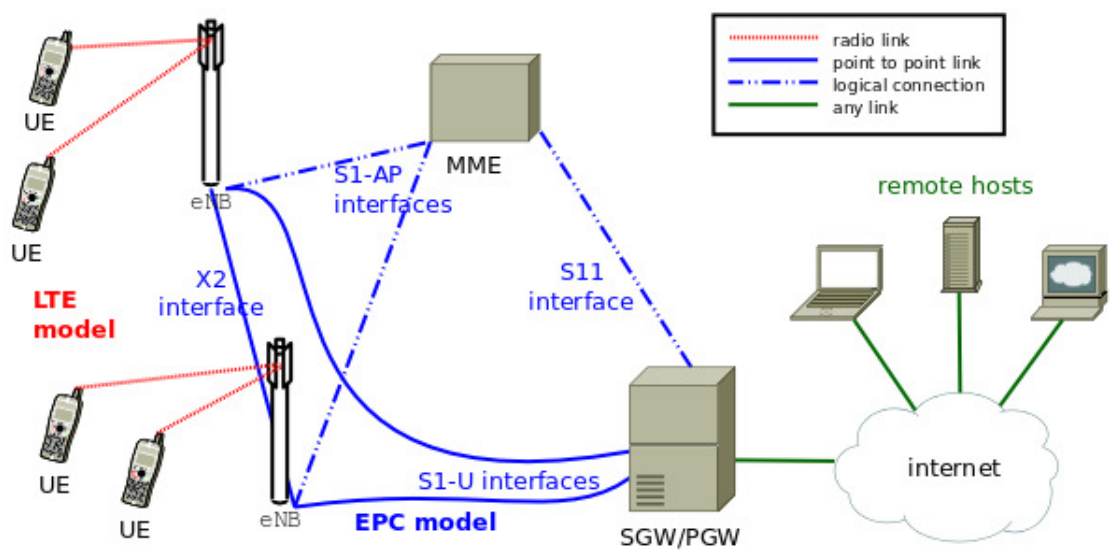
Το κινητό τερματικό βρίσκεται σε επικοινωνία με ένα συγκεκριμένο σταθμό βάσης και αυτή η διαδικασία ακολουθείται από άλλες δύο εξίσου βασικές συνιστώσες που είναι οι παρακάτω:

Ο eNB αποστέλλει και αποδέχεται ράδιο μεταδόσεις σχετικές με όλα τα κινητά που χρησιμοποιούν αναλογικές και ψηφιακές λειτουργίες επεξεργασίας σημάτων της ασύρματης διεπαφής (airinterface) του LTE. Επίσης, Ο eNB ελέγχει «τη λειτουργικότητα χαμηλού επιπέδου όλων των κινητών τηλεφώνων του, με την αποστολή μηνυμάτων, όπως εντολές μεταβίβασης σηματοδότησης» (Βαρδιάμπαση, 2015)

Κεντρικό δίκτυο EPC

Η αρχιτεκτονική του συγκεκριμένου τμήματος είναι επίσης υψηλού επιπέδου και με πολλά συστατικά, όπως το EarthquakeandTsunamiWarningSystem (ETWS), το EquipmentIdentityRegister (EIR) και το PolicyControlandChargingRulesFunction (PCRF).

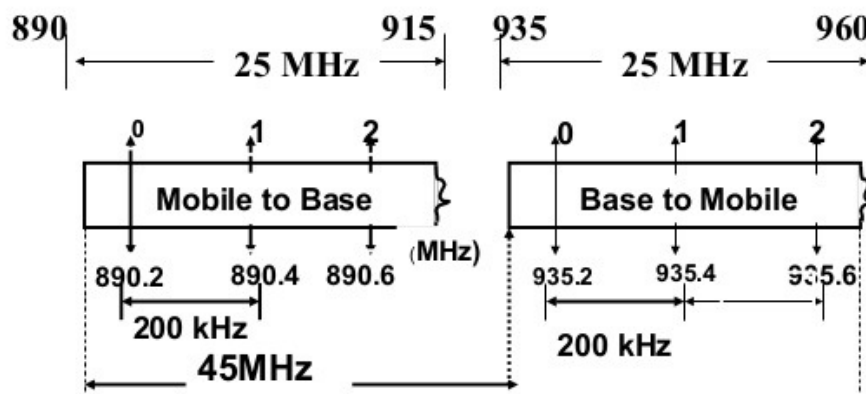
Σχέδιο του EPC



Κανάλι διεπαφής αέρα



GSM FDMA (Frequency Division Multiple Access)



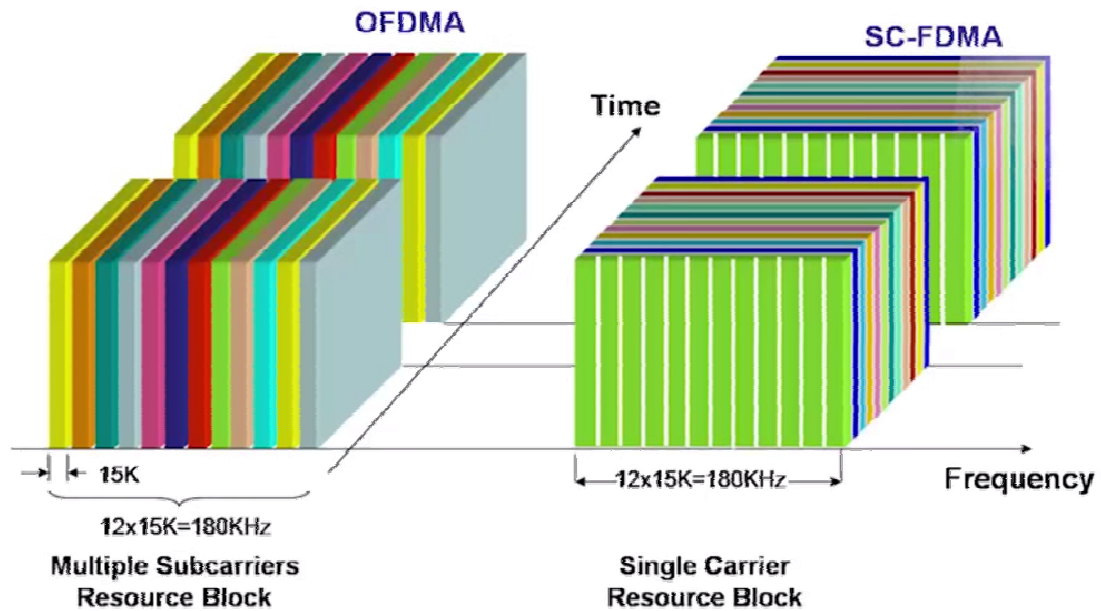
Channel layout and frequency bands of operation

2.1.1 UPLINK-SCFDMA

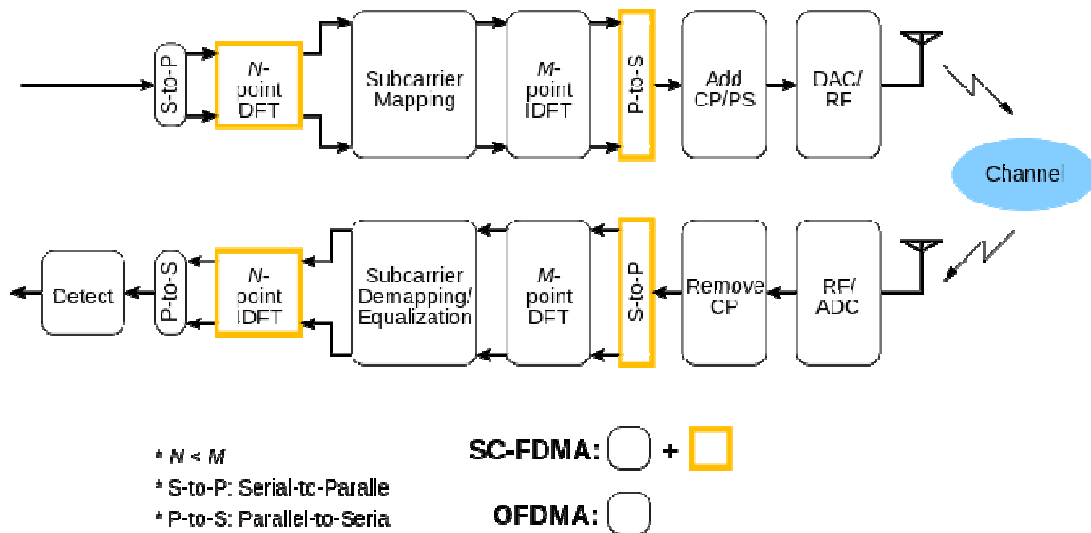
Το βασικότερο στοιχείο της τεχνικής SC-FDMA (SingleCarrier-FrequencyDivisionMultiplexing) είναι το ότι παρέχει μόνο ένα διάυλο μετάδοσης σημάτων, σε αντίθεση με την OFDMA (OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing), η οποία διαθέτει πολλούς τέτοιους διαύλους. Το πλεονέκτημα που προσφέρει ο μοναδικός διάυλος

είναι το ότι τι μεταδιδόμενο σήμα με χαμηλότερο συντελεστή ισχύος καθιστά βελτιωμένη την επίδοση της κυψέλης.

Διαφορές μεταξύ OFDMA- SCFDMA



SC-FDMA



2.1.2 Downlink-OFDM

Το OFDM αποτελεί ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται με επιτυχία σε επικοινωνίες και υπηρεσίες ενσύρματου τύπου, με κύριο παράδειγμα το DSL. Επίσης, συναντάται και σε ασύρματες εφαρμογές, όπως το Wifi και το WiMAX. Αυτό το σύστημα έχει μεγάλη προοπτική δυνατοτήτων και για αυτόν ακριβώς το λόγο επιλέχθηκε για το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου LTE.

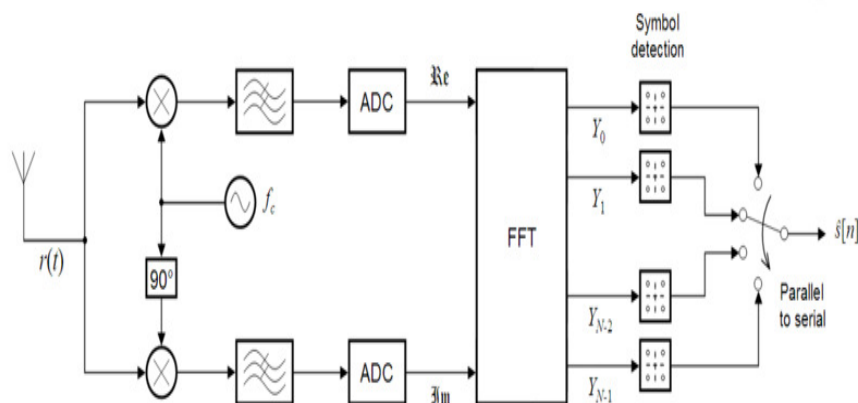
Πρόκειται για ένα είδος συστήματος που συνθέτει ένα ψηφιακό τρόπο δημιουργίας «πολλαπλών φερόντων ορθογώνιων μεταξύ τους». Συγκεκριμένα, το διαθέσιμο φάσμα διαχωρίζεται σε «παράλληλα κανάλια στενής ζώνης (narrowband) που αναφέρονται ως subcarriers (υπό-φέροντα)». Κάθε ένα από αυτά τα υπό-φέρονται κανάλια, δημιουργούνται με πολύ συγκεκριμένο τρόπο (BPSK, QPSK, M-QAM) (Τράκας, 2012).

Στόχος της λειτουργία όλου αυτού του συστήματος είναι να συντεθούν όλες εκείνες οι κατάλληλες προϋποθέσεις, ώστε να απλοποιηθεί η λειτουργία της ισοστάθμισης του καναλιού (channelequalization). Στη συνέχεια, μέσω της χρησιμοποίησης ενός guardinterval, μπορεί να χειριστεί τον παράγοντα της χρονικής διασποράς (time-spreading), λόγω πολλών οδεύσεων αλλά και η

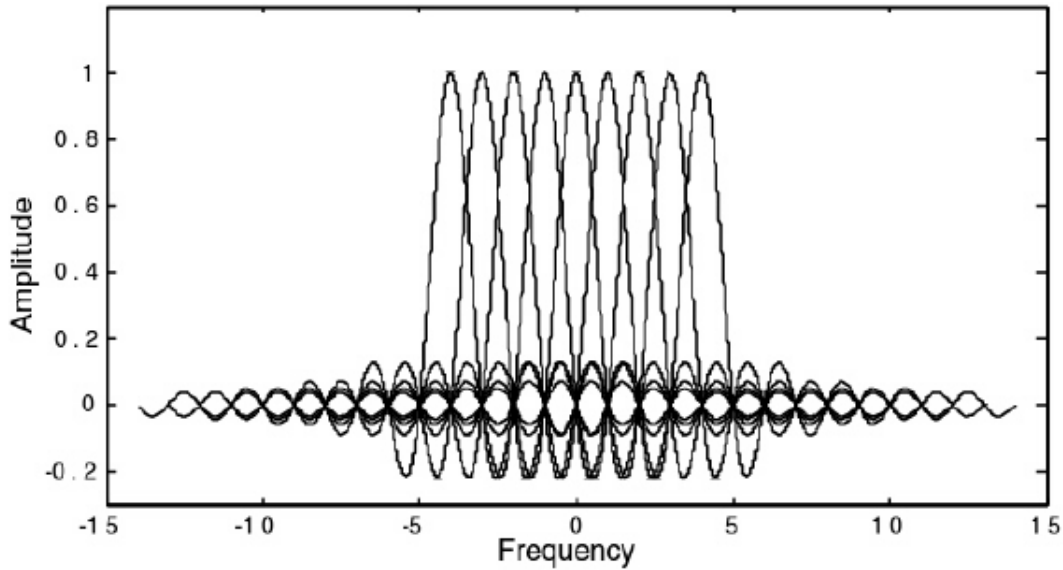
εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής. Ακόμη, η χρήση της ορθογωνιότητας, περιορίζει τις πιθανές παρεμβολές (Τράκας, 2012).

Πιο συγκεκριμένα, η ορθογωνιότητα μπορεί να επιτρέψει σε ποικίλα σήματα πληροφοριών να μεταδίδονται από το ίδιο κανάλι. Οι υποδιαίρεσεις του καναλιού αυτού κάνουν ταυτόχρονη μετάδοση πληροφοριών και σε χρονικό επίπεδο αλλά και χωρίς την πιθανότητα αλλοίωσης της συχνότητας, όταν, φυσικά, οι παλμοί μεταδίδονται με αυτό τον ορθογώνιο τρόπο (Τσακμακίδης, 2011).

OFDM- Μορφή



Συχνότητα OFDM-ορθογωνιότητα



2.1.3 Διασυμβολική παρεμβολή

Ένα από τα συνήθη ζητήματα για τη μεταγωγή δεδομένων σε υψηλούς ρυθμούς είναι η διασυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference – ISI). Το ζήτημα αυτό προκαλείται από την επιλεκτική συμπεριφορά του διαύλου (frequency selective fading) και εξαιτίας της «πολυδιαδρομικής διάδοσης» (multipath propagation). Στην περίπτωση αυτή, σε ένα σύστημα ασύρματων επικοινωνιών, η εκπομπή λαμβάνει χώρα σε πολλές κατευθύνσεις, με τους δέκτες να ανιχνεύουν ταυτόχρονα, πολλά αντίγραφα των σημάτων του πομπού.

Αυτό το φαινόμενο προέρχεται και από τις ανακλάσεις που λαμβάνουν χώρα σε μεγάλα αντικείμενα, με μέγεθος βουνών ή κτιρίων, με αποτέλεσμα το σήμα να καταφθάνει με καθυστέρηση από τον πομπό στο δέκτη και να υφίσταται παρεμβολή του πρώτου σήματος. Η

συνολική αυτή κατάσταση προσκομμάτων στην επικοινωνία ονομάζεται διασυμβολική παρεμβολή (Τσακμακίδης, 2011).

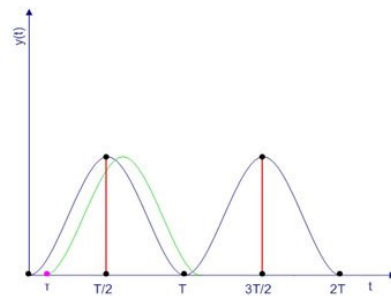
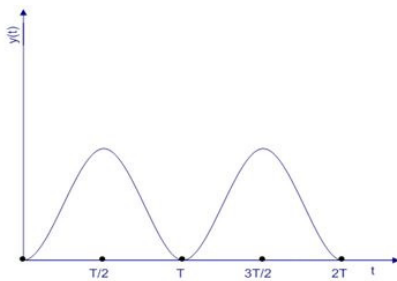
Με διαφορετικούς όρους, η παρεμβολή αυτή αφορά στα δεδομένα που μεταφέρονται κωδικοποιημένα σε σύμβολα, από τα οποία το ένα συμπλέκεται με τα επόμενα λόγω της χρονικής μετατόπισης των αντιγράφων του σήματος που αποκωδικοποιεί ο δέκτης. Συγκεκριμένα, σύμβολο είναι η πληροφοριακή μονάδα που απαρτίζεται από έναν ορισμένο αριθμό bits. Ο αριθμός της μονάδας bit ανά σύμβολο ονομάζεται baud (baudrate). Πρόκειται για την πληροφορία που σχετίζεται με τον εξής τύπο: Για παράδειγμα, εάν το σύμβολο ισοδυναμεί με 2 bits, τότε, το baud ισούται με 2 bit ανά σύμβολο.

Η περιγραφή του φαινομένου αυτού ξεκινά αν υποθέσει κανείς ότι ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται σε μια απόσταση με πολλές διαδρομές και με το σήμα να διαδίδεται δύσκολα. Αυτές οι συνεχόμενες δυσκολίες μετάδοσης ονομάζονται «απώλειες διάδοσης». Εκτός, όμως, από αυτές, έχουμε και το φαινόμενο της σκίασης. Αυτή είναι η απώλεια του σήματος λόγω όλων των προαναφερθέντων εμποδίων (βουνά-κτίρια-τείχη). Οι διαλείψεις που έχουν ως πηγή τους τις παραπάνω αιτίες, καλούνται διαλείψεις «μεγάλης κλίμακας» ή αργές. Η ονομασία τους δικαιολογείται από το ότι η αλλοίωση είναι υπολογίσιμη ακόμη και σε πολύ μικρές μονάδες σήματος ($\lambda / 2$) (Τσακμακίδης, 2011).

«Συγκεκριμένα διασυμβολική παρεμβολή (ISI) έχουμε όταν η μέγιστη διαφορά στην καθυστέρηση των πολυδιαδρομικών συνιστωσών είναι μεγαλύτερη από ένα τμήμα ενός συμβόλου» (συνήθως το ήμισυ της περιόδου του) (Τσακμακίδης, 2011).

Διασυμβολική παρεμβολή-διάγραμμα

- Σειριακή μετάδοση 2 συμβόλων.
- Σειριακή μετάδοση συμβόλων με αμελητέα παρεμβολή λόγω πολυδιαδρομικής διάδοσης. Η χρονική διασπορά τ είναι μικρή εν σχέση με την περίοδο του παλμού T



2.1.4 Throughput-Διαμεταγωγή

Ως μεταγωγή, ονομάζεται η διαδικασία που διασφαλίζει ότι τα δεδομένα θα έχουν τη σωστή πορεία προς τον προορισμό-δέκτη τους. Πρόκειται για μια δραστηριότητα που πραγματοποιείται με δύο τρόπους: Τη διαμεταγωγή κυκλώματος και τη μεταγωγή του πακέτου.

Ο πρώτος τρόπος αφορά στη δημιουργία ενός κυκλώματος που είναι φυσικό και πλήρες και προσφέρει την επικοινωνία δύο συστημάτων κάθε είδους. Το κύκλωμα αυτό δεν έχει τη δυνατότητα χρήσης από κάποιον άλλο, είτε έχουμε είτε όχι ανταλλαγή μηνύματος. Στα περισσότερα πρόσφατα συστήματα, δεν εμπεδώνεται η φυσικότητα τους αλλά αποτελούν νοητά κυκλώματα (virtualcircuits). Η σημασία αυτού του στοιχείου είναι ότι το ήδη εγκατεστημένο φυσικό σύστημα-κύκλωμα θα δίνει τη δυνατότητα επικοινωνίας των δύο συστημάτων.

Η διαφορά των δύο κυκλωμάτων έγκειται και στο ότι το νοητό κύκλωμα εξασφαλίζει ένα σταθερό ρυθμό απόδοσης της επικοινωνίας. Το βασικό του, όμως, μειονέκτημα είναι ότι τα συστήματα που μετέχουν στην επικοινωνία δεν το αξιοποιούν ολοκληρωτικά. Σε κάθε περίπτωση, ο στόχος της μεταγωγής πακέτου είναι να χρησιμοποιείται το σύστημα όσο το δυνατό περισσότερο.

Ένα από τα βασικά στοιχεία της μεταγωγής πακέτου είναι ο ρυθμός εξυπηρέτησης (Throughput). Πρόκειται για τον «ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων μεταξύ δύο συστημάτων και ορίζεται ως το πλήθος των δυαδικών ψηφίων (ή πακέτων) που μπορεί να δεχτεί και να μεταδώσει το δίκτυο στη μονάδα του χρόνου».

Ο ρυθμός αυτός της μεταφοράς μετρείται με διάφορες μονάδες, όπως οι εξής: Kbps, Mbps, Gbps. Μάλιστα, στον προαναφερθέντα

ορισμό, βλέπουμε και τη διαφορά του ρυθμού και της ταχύτητας πρόσβασης από την ταχύτητα και το ρυθμό μετάδοσης από το ίδιο το δίκτυο. Άλλα δίκτυα, δηλαδή, χρησιμοποιούν διαμεταγωγή πακέτων και άλλα διαμεταγωγή κυκλώματος, με την πρώτη να είναι ασταθής και τη δεύτερη να είναι σταθερή.

2.2 Αρχές απωλειών

2.2.1 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολία στο χώρο

Το ασύρματο ραδιο-κανάλι αποτελεί ένα σημαντικό εγχείρημα και αυτό σχετίζεται με την αξιοπιστία του στην επίτευξη της επικοινωνίας , όταν οι ρυθμοί μετάδοσης είναι υψηλοί. Πρόκειται για ένα κανάλι που χαρακτηρίζεται από ευαισθησία σε θορύβους και παρεμβολές από διάφορους άλλους παράγοντες, όπως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που συγκεντρώνεται στην ευρύτερη περιοχή του καναλιού.

Συγκεντρωτικά, οι απώλειες της απόδοσης του ασύρματου ραδιο-καναλιού οφείλεται, κατά κύριο λόγο, σε φυσικά φαινόμενα, με παράδειγμα την σκέδαση της «ακτινοβολούμενης ισχύος, λόγω ανακλάσεων στις παρακείμενες επιφάνειες, , τα φαινόμενα διαχύσεων και αυτά των περιθλάσεων» (Λούβρος, 2014). Τα εμπόδια αυτά έχουν διαφορετική επίδραση στην απόδοση, εφόσον οι συσκευές αλλάζουν θέση κατά τη διάρκεια της μετακίνησης.

Η πρώτη φορά στην ιστορία που εντοπίζουμε την αναφορά στα ράδιο-κύματα είναι στην εργασία του James Clerk Maxwell που το έτος 1864, προέβη στη διατύπωση της θεωρίας της ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης. Πρόκειται για τη θεωρία εκείνη που διέβλεψε την ύπαρξη των ράδιο-κυμάτων. Λίγο αργότερα, το 1887, αποδείχτηκε με φυσικό τρόπο, από τον Heinrich Hertz. Αξιοσημείωτο, ωστόσο, είναι ότι ο ερευνητής αυτός, αν και επιβεβαίωσε την ύπαρξη των ραδιο-κυμάτων, δεν πίστευε ότι θα μπορούσαν αυτά να αξιοποιηθούν με πρακτικό τρόπο (Λούβρος, 2014).

Οι διαπιστώσεις των δύο προαναφερθέντων ερευνητών μπορεί να μην αποτέλεσαν ουσιαστική τομή στην εποχή τους, ωστόσο, σηματοδότησαν αργότερα την έναρξη του τομέα των ραδιοεπικοινωνιών. Μάλιστα, το 1894, οι διαπιστώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για να δημιουργηθεί το πρώτο σύστημα ασύρματων επικοινωνιών, από τον Oliver Lodge, χωρίς να έχει εντούτοις ένα βεληνεκές που ξεπερνούσε τα 150 μέτρα. Η απόσταση αυτή αυξήθηκε το 1907, όπως προαναφέρθηκε από το εγχείρημα του Guglielmo Marconi, ενώ το 1901, το σύστημα ήταν πλέον υπερατλαντικό και το 1906 επιτεύχθηκε η πρώτη παράλληλη μετάδοση φωνής και μουσικής από τον Reginald Fessenden.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαθέτουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αρχικά, εξαπλώνονται μέσα σε ορισμένη γεωγραφική

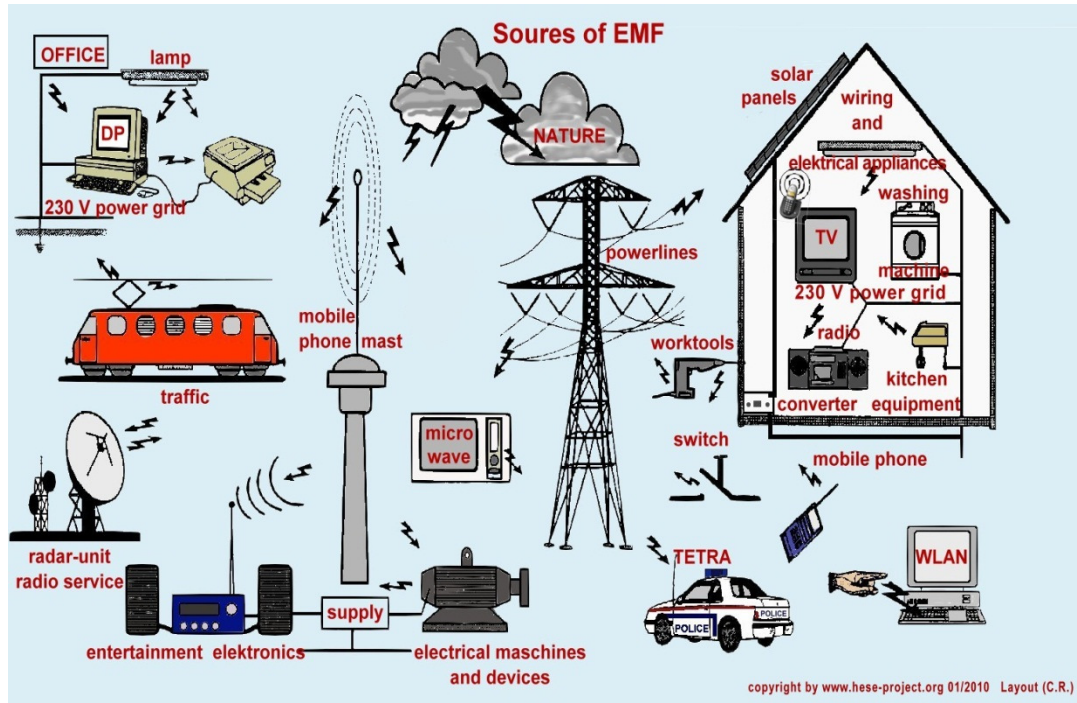
έκταση, στην οποία μπορούν να διασκορπιστούν και να αλλοιωθούν από αντικείμενα όπως οι τοίχοι και τα κτίρια. Λεπτομερειακά, τα φαινόμενα αυτά αναλύονται από τους τύπους των εξισώσεων που επινόησε ο Maxwell.

Οι πιο γνωστές και διαδεδομένες προσεγγίσεις για να αναλυθούν αυτές οι περίπλοκες εξισώσεις είναι τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της διάδοσης των ραδιο-κυμάτων που αναφέρονται και με τον όρο «σήματα» στη θεωρία των τηλεπικοινωνιών. Αυτές οι προσεγγίσεις απλοποιούν τους σύνθετους όρους και τις λύσεις των εξισώσεων του Maxwell.

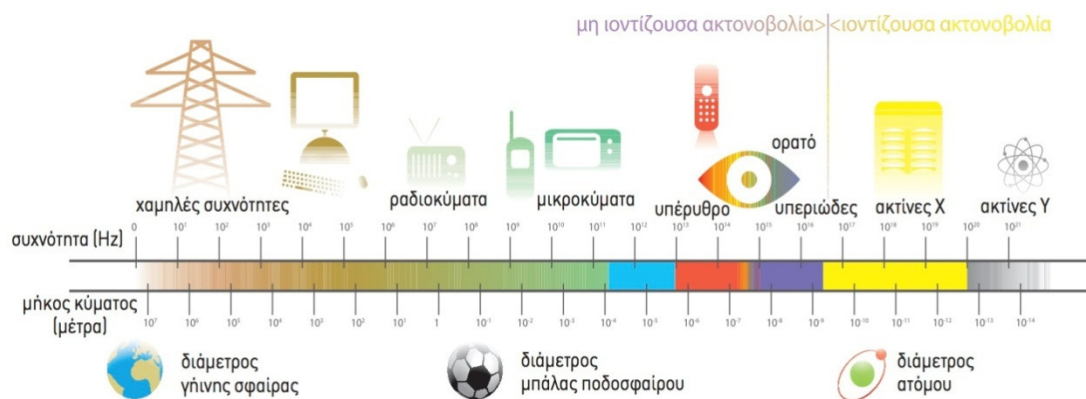
Οι προσεγγίσεις αυτές αξιοποιούν την τεχνική ανίχνευσης των μονοπατιών (ray-tracemodels) με το πιο εύληπτο μοντέλο να είναι αυτό με τις «δύο ακτίνες» που στην ανάλυσή του, αναφέρει την πορεία δύο διαφορετικών μονοπατιών, «ένα στην απευθείας ζεύξη και ένα δεύτερο με ανάκλαση από κάποιο γειτονικό εμπόδιο» (Λούβρος, 2014).

Αυτή η συνθετότητα των ραδιο-καναλιών αποτελεί πρόσκομμα στο να κατανοηθεί και να οριστεί ένα πιο συγκεκριμένο πρότυπο καναλιών, γεγονός που ωθεί στη χρήση στατιστικών μοντέλων περιγραφής με εστίαση στην απώλεια της ισχύος κατά τη λήψη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις εκάστοτε τερματικές συσκευές.

Πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας



Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Σχήμα 1: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Όταν μετριέται η μεταβολή της ισχύος του σήματος σε έναν καθορισμένο γεωγραφικό τόπο με κυψέλες, έχουμε την δημιουργία ενός γραφήματος που παρουσιάζει τη μείωση της ισχύος με ένα συγκεκριμένο τριμερή τρόπο. Αρχικά, έχουμε τη γρήγορα μεταβαλλόμενη εξασθένηση, που βασίζεται σε μικρού τύπου ανακλάσεις από τον άμεσο και κοντινό χώρο του χρήστη. Αυτές οι ανακλάσεις συντελούν στο να δημιουργούνται φαινόμενα «πολυόδευσης» και κατακόρυφης πτώσης της ισχύος που διαθέτει το σήμα. Βασικό περιβάλλον αυτής της ισχυακής πτώσης είναι τα αστικά κέντρα με την ύπαρξη πυκνής κτιριακής δόμησης.

Στη συνέχεια, έχουμε την μεταβαλλόμενη εξασθένηση με μικρότερη ταχύτητα (βραδεία) που ονομάζεται και λογαριθμική κατανομή, σταθερής απόκλισης. Πρόκειται για τη σκίαση που αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο και οφείλεται τόσο σε φυσικά εμπόδια (Βουνά, ποικιλόμορφο γεωγραφικό ανάγλυφο) όσο και σε τεχνητά εμπόδια (Κτίρια). Τέλος, έχουμε την απώλεια ισχύος σε ελεύθερο χώρο, όπου η αιτία είναι η απόσταση από την κεραία εκπομπής του σήματος.

Όσον αφορά στη σκίαση, το πρότυπο λογαρίθμου βασίζεται σε πολλά αντικείμενα που παρεμποδίζουν την άμεση οπτική επαφή του πομπού με τον δέκτη. Μάλιστα, όταν ο αριθμός των διαδρομών είναι

αυξημένος και η γεωμετρία με τις διηλεκτρικές δυνατότητες είναι ασαφείς, τότε ενδείκνυται η χρήση των στατιστικών προτύπων και μοντέλων κατανομών.

Η γρήγορα μεταβαλλόμενη ταχύτητα της λήψης στην κεραία του κινητού τερματικού δεν αποφεύγεται εύκολα στα αστικά κέντρα που χαρακτηρίζονται από πυκνή δόμηση. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου, επιβάλλεται να εξεταστούν αυτοί οι παράγοντες, κατά τη διάρκεια του κυτταρικού σχεδιασμού, ώστε να προβλεφθεί κάθε πιθανή απώλεια ισχύος κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, όταν θα δημιουργηθεί η εξίσωση που υπολογίζει την ισχύ της ραδιο-ζεύξεως (FadingMargins).

Άλλο ένα ζήτημα στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι και η απώλεια πληροφοριών εξαιτίας των ριπών που βρίσκονται στον αέρα η οποία προκαλεί ανάλογη πτώση του σήματος. Οι απώλειες, ωστόσο, της μεταδιδόμενης πληροφορίας είναι περιστασιακές και προσωρινές, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν παρεμποδίζουν την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών.

Η μείωση αυτή της ισχύος καθίσταται αντιληπτή, ακόμη και όταν ο συνδρομητής είναι σταθερός. Αυτό το γεγονός οφείλεται στη στατιστική κατανομή των πολύ-οδεύσεων. Οι ανακλάσεις, δηλαδή, μεταβάλλουν το σήμα της κεραίας λήψης του κινητού. Είναι, επομένως,

δύσκολο να εξαλειφθεί το ζήτημα της πολυόδευσης από την κεραία του κινητού τερματικού.

Υπάρχουν, εντούτοις, ορισμένες τακτικές που μας βοηθούν να μειώσουμε το πρόβλημα, όπως οι τεχνικές επεξεργασίας του σήματος που μπορούν να αμβλύνουν σε έναν ικανοποιητικό βαθμό όλα αυτά τα φαινόμενα. Ένα παράδειγμα αυτών των τεχνικών είναι ο δέκτης που βασίζεται στον εξισωτή καναλιού του Viterbi.

Είναι αξιοσημείωτο ότι εάν η κεραία του τηλεφώνου βρίσκεται σε οπτική επαφή με την κεραία του σταθμού και η απόσταση είναι κοντινή, τότε η ζεύξη εκτελείται απευθείας και είναι πολύ πιο σταθερή από τις περιπτώσεις των πολύ-οδεύσεων και των ανακλάσεων. Το αποτέλεσμα αυτού είναι να μεταβάλλεται η κατανομή της ισχύος.

Η αντιμετώπιση του φαινομένου της σκίασης πραγματοποιείται με τη διαδικασία μεταφοράς της κλήσης σε άλλη κυψέλη, μια ενέργεια που ονομάζεται handover ή handoff. Αυτή η ευελιξία στην αλλαγή των κυψελών μπορεί να υπερκεράσει το πρόβλημα κάλυψης, όταν βρεθεί ο χρήστης σε μια κατάσταση έλλειψης επικοινωνίας λόγω της σκίασης που εμποδίζει την οπτική επαφή.

2.2.1 Διάδοση ακτινοβολίας στο χώρο

Ο πιο απλός και ενδεδειγμένος τρόπος ώστε να διαδοθεί η ακτινοβολία είναι ο ελεύθερος χώρος. Εάν θεωρήσουμε ότι οι κεραιές του πομπού και του δέκτη χωρίζονται από μεγάλη απόσταση, η δορυφορική επικοινωνία πρέπει να είναι καλής ποιότητας και αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρήζει αναφοράς στη σύγκριση με άλλα πρότυπα επικοινωνίας.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει εξίσωση που υπολογίζει την ισχύ της λήψης και συμπεριλαμβάνει την ταχύτητα του φωτός ως μέτρο σύγκρισης.

2.2.2 RayTraceModel

Πρόκειται για το μοντέλο που σχετίζεται με την απλή διάδοση στην επιφάνεια της γης. Η γενικότερη θεώρηση του φαινομένου εντοπίζει τρεις παράγοντες για τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτοί οι παράγοντες είναι το άμεσο κύμα, το ανακλώμενο κύμα και το επιφανειακό κύμα. Το τελευταίο δεν θεωρείται υπολογίσιμο στις συχνότητες της κινητής τηλεφωνίας αλλά το ανακλώμενο είναι άξιο αναφοράς και ανάλυσης.

Απεικόνιση του μοντέλου απλής διάδοσης

RAY TRACING
(for one pixel up to first bounce)

1 Sphere equation: $(x - c_x)^2 + (y - c_y)^2 + (z - c_z)^2 = r^2$ Intersection: $(x + nd - d)^2 + (y + nd - d)^2 + (z - d)^2 = r^2$
Ray equation: $r(x) = o + rd$ $t^2(d \cdot d) + 2(d - d) \cdot nd + (d - d) \cdot (d - d) - r^2 = 0$

2 Illumination Equation (Blinn-Phong) with recursive Transmitted and Reflected Intensity:
 $I = k_a I_a + I_r \left(k_d (L \cdot N) + k_s (V \cdot R)^n \right) + \underbrace{k_t I_t + k_r I_r}_{\text{recursion}}$

3 Snell's law: $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{r_2}{r_1}$ $n_{\text{air}} \sin \theta_1 = n_{\text{glass}} \sin \theta_2$ refraction coefficients: $n_{\text{air}} = 1, n_{\text{glass}} = 1.5$

4 Area Light Simulation: $I_{\text{color}} = \frac{\omega \cdot (\text{visible area of rays})}{\omega \cdot (\text{all shadow rays})}$

2.2.3 Διπλό πρότυπο κλίσης

Πρόκειται για ένα πρότυπο που υπερκαλύπτει το κενό που εντοπίστηκαν στα προηγούμενα μοντέλα. Το κενό αυτό αφορούσε στην απόκλιση που υπήρχε ανάμεσα στις θεωρητικές μετρήσεις και τις πραγματικές. Οι μετρήσεις σε αυτό το πρότυπο, αναφέρουν ότι η ένταση του σήματος υπολογίζεται μέσω μιας συνάρτησης η οποία παρουσιάζει την λογαριθμική απόσταση σε καμπύλη, ανάλογα με την εγγύτητα του χρήστη με την κεραία.

2.2.4Πρότυπο Egli

Πρόκειται για ένα πρότυπο που ανέπτυξε ακόμη περισσότερο την προσέγγιση ανάμεσα στις θεωρητικές και τις πρακτικές μετρήσεις του σήματος, χωρίς, όμως, να θέσει επί τάπητος το θέμα της εξάρτησης από την εκάστοτε συχνότητα. Το έκανε, βέβαια, σε περιορισμένο βαθμό, περιγράφοντας διάφορα εμπειρικά πειραματικά μοντέλα συχνοτήτων και ράδιο-διάδοσης.

Διάδοση με την παρουσία εμποδίων

Όπως προαναφέρθηκε, τα σύγχρονα δίκτυα εντός των πόλεων, με πυκνή κτιριακή δόμηση, αντιμετωπίζουν προβλήματα που δυσχεραίνουν την οπτική επαφή με την κεραία-πομπό και η ζεύξη συνοδεύεται από τις ανακλάσεις και τις περιθλάσεις. Η σκίαση, μάλιστα, υπολογίζεται μέσω της θεωρίας της περίθλασης, ενώ το ενιαίο αντικείμενο-εμπόδιο που την προκαλεί αποκαλείται «περίθλαση αιχμής» (Λούβρος, 2014).

Μοντέλο Okamura-Hata

Πρόκειται για μια μέθοδο που δεν περιορίζεται σε απλές μετρήσεις και υπολογισμούς των απωλειών διαδρομής. Αντίθετα, λαμβάνει υπόψη

και παράγοντες όπως η συχνότητα και το ύψος που βρίσκεται η κεραία-πομπός σε σχέση με την κεραία του κινητού.

Η μέθοδος Okamura-Hata είναι ημι-εμπειρική και βασισμένη σε μετρήσεις που έλαβαν χώρα στην πόλη του Τόκιο. Οι μετρήσεις αυτές παρουσίαζαν «τη δύναμη των πεδίων σε συνάρτηση με την απόσταση για τις διάφορες συχνότητες και τα ύψη των κεραιών» (Λούβρος, 2014). Επίσης, καθορίζεται ως πρότυπο ένα συγκεκριμένο ύψος της κεραίας, ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, ώστε να ληφθεί μια ικανοποιητική ένταση πεδίου.

Μοντέλο cost-231 Hata

Το μοντέλο αυτό είναι ένα εγχείρημα της ευρωπαϊκής ένωσης και στοχεύει στην επιστημονική έρευνα συνεταιρισμού. Συγκεκριμένα, το 231 είναι ένα υποσύνολο της γενικότερης ομάδας αυτού του μοντέλου που ερευνά διαφορετικούς μηχανισμούς διάδοσης και επιδιώκει να αναπτύξει νέα μοντέλα ή να ολοκληρώσει τη λειτουργικότητα των ήδη υπάρχοντων μοντέλων. Το ζήτημα του μοντέλου είναι ότι περιορίζεται σε συχνότητες της τάξεως των 1500 MHz, χωρίς να δουλεύει σε μεγαλύτερες ζώνες.

Μοντέλο IKEGAMI

Πρόκειται για ένα είδος μοντέλου που εστιάζεται στα αστικά περιβάλλοντα, εφόσον εκεί συγκεντρώνονται τα προβλήματα της πολύ-όδευσης, της περίθλασης και της εξασθένησης κατά κύριο λόγο. Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στο ζήτημα του περιορισμού λόγω της περίθλασης.

Μοντέλο Walfish-Bertoni

Ακόμη ένα θεωρητικό μοντέλο για τη διάδοση σε αστικά περιβάλλοντα. Μάλιστα, εξειδικεύεται στις περιπτώσεις πολύ πυκνής κτιριακής δόμησης, με τις κεραιές να εδρεύουν σε ταράτσες και στέγες κτιρίων, χωρίς να υπάρχει οπτική επαφή. Οι παράγοντες που συντελούν σε επικοινωνιακά προσκόμματα είναι τρεις κατά τη θεώρηση αυτή: η απώλεια χώρου λόγω κυματικής συμβολής, η μείωση της ισχύος του σήματος από την περίθλαση και η κυματική διάθλαση.

Διάδοση εσωτερικών χώρων

Η κάλυψη των εσωτερικών χώρων γίνεται από συστήματα που βρίσκονται μέσα στα κτίρια και τα μοντέλα που συντελούν σε αυτήν είναι διαφορετικά από αυτά των εξωτερικών χώρων.

Αρχικά, έχουμε το μοντέλο Keenan-Motley, το οποίο μελετά τη διάδοση του σήματος εντός των χώρων. Εκεί υπολογίζεται μόνο η

διαδρομή ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη. Η ακρίβεια με την οποία προβλέπει η ισχύς από αυτό το μοντέλο θεωρείται είναι ικανοποιητική.

Επίσης, έχει αναπτυχθεί και μια μέθοδος που καλύπτει την εσωτερική επικοινωνία μέσω εξωτερικών κεραιών με μικροκύτταρα και μακροκύτταρα. Το μοντέλο αυτό χωρίζεται σε δύο υποενότητες, ανάλογα με το αν υπάρχει ή δεν υπάρχει οπτική επαφή με την κεραία.

2.3 Βασικές αρχές κυτταρικής κάλυψης

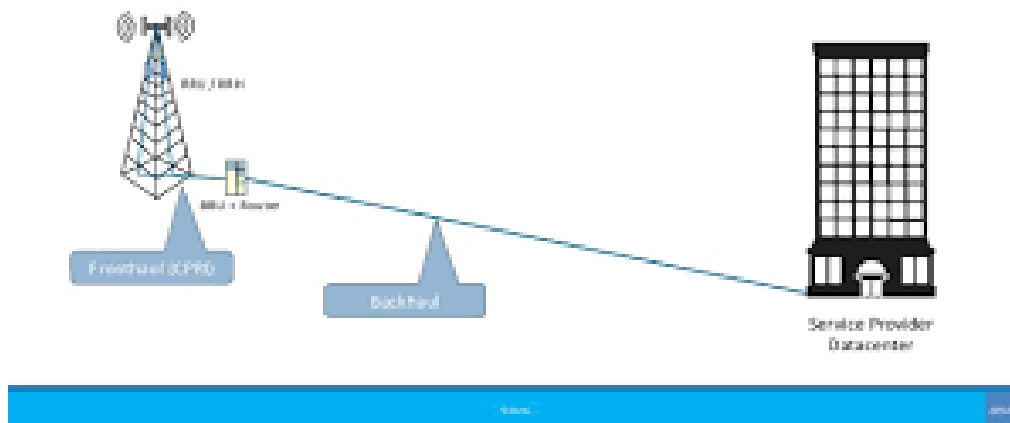
Η ιδέα δημιουργίας ενός ράδιο-δικτύου οφείλεται στο θεμέλιο της κυτταρικής κάλυψης. Ως κύτταρο (ή και κυψέλη), καλούμε τη «γεωγραφική περιοχή που καλύπτεται νοητά από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εκπεμπόμενη από μια κεραία του σταθμού βάσης και οριοθετείται από ένα κατώφλι στάθμης ισχύος» (Λούβρος, 2014, σ.285).

Για να απεικονισθεί η μορφολογία ενός μέρους και να πραγματοποιηθεί η κυτταρική κάλυψη, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα σύμβολα που χαρτογραφούν τον χώρο. Πρόκειται για σχέδια τα οποία είναι απλά και διευκολύνουν τον σχεδιασμό της κυτταρικής δομής.

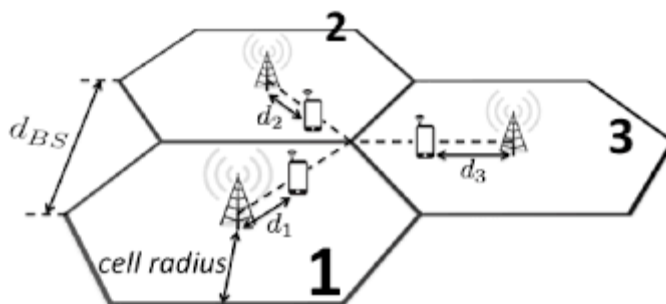
Σε περίπτωση που έχουμε δομή μακρο-κυττάρων, τότε η κεραία διακρίνεται από τον σταθμό βάσης, ενώ στα μικρο-κύτταρα, αυτό το γεγονός δεν συμβαίνει. Μάλιστα, στις περιπτώσεις των μικροκυττάρων, οι δομές αυτές αποκρύπτονται στον χώρο.

Μακρο-κυτταρική δομή(macro-cell)

Macrocell Connections & Terminology



Μικρο-κυτταρική δομή (Micro-cell)



Για να μελετηθεί η αρχιτεκτονική της κάλυψης μιας περιοχής, το πιο ταιριαστό σχήμα που δίνεται στο κύτταρο είναι το εξάγωνο, εφόσον αυτό καλύπτει ολοκληρωτικά μια επιφάνεια, σε αντίθεση με το κυκλικό σχήμα που δημιουργεί κενές περιοχές και παρεμβολές. Με τη σειρά του, το διάγραμμα ακτινοβολίας των κεραιών πρέπει να είναι κατάλληλο ώστε να καλύπτει το συνολικό κυτταρικό εμβαδόν.

Οι κεραιές είναι δύο ειδών: Αρχικά οι παν-κατευθυντικές που σχετίζονται με τα κύτταρα μεγάλης εμβέλειας και συνδρομητές με χαμηλές απαιτήσεις για χωρητικότητα. Έπειτα, οι κατευθυντικές που εξυπηρετούν κύτταρα τα οποία διαιρούνται σε συγκεκριμένους γεωγραφικούς τομείς.

Γεωγραφική κυτταρική κάλυψη

Η γεωγραφική κάλυψη του κυττάρου υπόκειται σε συγκεκριμένα όρια τα οποία ορίζονται από το υλικό και το λογισμικό του σταθμού βάσης. Τέτοια περιορισμοί μπορεί να αφορούνται από την αρχιτεκτονική του μηχανήματος (φορτίο επεξεργαστή), τη σχεδίαση του ραδιο-δικτύου και τη χωρητικότητα του δικτύου μετάδοσης.

Τα προβλήματα της αύξησης χωρητικότητας που παρουσιάζονται καθημερινά, λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων τηλεπικοινωνιακής

δραστηριότητας. Εάν προβλεφθούν εγκαίρως αυτές οι απαιτήσεις, τότε το κύτταρο σπάει σε μικρότερα και η ίδια γεωγραφική περιοχή εξυπηρετείται από αυτά.

Μια διαφορετική λύση είναι και η αλληλοκάλυψη με τη σχεδίαση διαφορετικών κυττάρων και περιοχών της κάλυψης. Αυτή η λύση προκρίνεται, εφόσον εξασφαλίζει τόσο την αύξηση της χωρητικότητας όσο και την αύξηση της ισχύος κάλυψης μια περιοχής με πολλαπλά κύτταρα.

Ακόμη, έχουμε τη λύση ετερογενών περιβαλλόντων κάλυψης, με την αξιοποίηση της τεχνολογίας LTE σε κοινό γεωγραφικό χώρο. Η λύση αυτή είναι εξίσου αποτελεσματική αφού χρησιμοποιεί τις ήδη υπάρχουσες δομές προγενέστερων συστημάτων κάλυψης, εξασφαλίζοντας την έλλειψη των νεκρών ζωνών.

Στη συνέχεια, η δυνατότητα δημιουργίας κάλυψης τύπου hotspot ενδείκνυται σε περιβάλλοντα όπου η ανάγκη αύξησης της χωρητικότητας είναι αναγκαία, επειδή η κινητικότητα των χρηστών είναι αυξημένη, με παραδείγματα τις οικίες σημεινόντων προσώπων, αίθουσες συσκέψεων, αεροδρόμια και άλλα σημεία. Κοντά σε αυτό το στοιχείο είναι και η τοποθέτηση κεραιο-συστήματος σε περιστάσεις όπως η διεξαγωγή αθλητικών γεγονότων.

Προϋπολογισμός ζεύξης

Για να σχεδιαστεί σωστά ένα κύτταρο, χρειάζεται απαραίτητως να οριστεί το πραγματικό του μέγεθος κατά τη διάρκεια της σκιαγράφησης του σε ένα χάρτη. Για να είναι το μέγεθός του επαρκές, χρειάζεται να δοκιμαστεί η αποτελεσματικότητά του όταν ο χρήστης-δέκτης εδρεύει σε πολυσύχναστα περιβάλλοντα με θορύβους.

Στο δίκτυο LTE, η κεραία-πομπός συγκεντρώνει τον εξοπλισμό του άνω διαμορφωτή, τον τελικό ενισχυτή και τη μονάδα του φίλτρου που βρίσκεται στο σταθμό βάσης. Από την άλλη πλευρά, ο δέκτης είναι στο κύκλωμα της κεραίας της κινητής συσκευής, σε συνοδεία με το κύκλωμα του αποδιαμορφωτή, τη μονάδα επεξεργασίας και τη μονάδα διόρθωσης λαθών.

Για να υπολογιστεί ορθά το μέγεθος ενός κυττάρου, δεν φθάνει μονάχα η στάθμη Κατωφλίου και Ευαισθησίας της Λήψης. Η ηλεκτρομαγνητική διάδοση δεν γίνεται σχεδόν ποτέ απρόσκοπτα και σε ιδανικά περιβάλλοντα. Έτσι, οι παράγοντες της ανάκλασης, της διάθλασης, της περίθλασης και της απόσβεσης θα πρέπει να συνυπολογίζονται, ώστε οι απώλειες του σήματος να είναι προβλεπόμενες.

Φυσικά, όλες αυτές οι πρόσθετες επιβραδύνσεις χρειάζεται να αποτυπώνονται στο χάρτη, ως «περιθώρια σχεδίασης» (Λούβρος, 2014). Άλλωστε, καμιά θεωρητική μελέτη ενός τόσο σύνθετου φαινομένου δεν δύναται να επικαλύψει και να συμπεριλάβει όλες εκείνες τις ειδικές παραμέτρους που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας.

Περιθώρια απωλειών

Ως περιθώρια απωλειών, ονομάζονται οι παράγοντες εκείνοι που επιδρούν στις επιδόσεις της κινητής επικοινωνίας, μειώνοντας την επίδοσή του σε σχέση με αυτή που θα είχε σε απόλυτα ελεύθερο χώρο.

Καταρχήν, υπάρχει το περιθώριο απώλειας λόγω του ανθρωπίνου ιστού. Όταν το κινητό τερματικό βρίσκεται κοντά στον άνθρωπο-χρήστη χάνει μέρος της ακτινοβολίας του που αφομοιώνεται από τους μυϊκούς ιστούς του με έμφαση στο κεφάλι που αποτελείται κατά το 80% από νερό.

Φυσικά, αυτή η αφομοίωση εξαρτάται άμεσα και από την επικοινωνιακή κατεύθυνση ανάμεσα στο κινητό τερματικό και την κεραία του σταθμού βάσεως. Όταν ,για παράδειγμα, μεσολαβεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος μεταξύ κινητού και σταθμού, τότε η αφομοίωση είναι μεγαλύτερη. Επίσης, σημαντικός είναι και ο παράγοντας του διαγράμματος ακτινοβολίας.

Στη συνέχεια, όταν σκιαγραφείται ένα δίκτυο, πρέπει να υπολογίζεται και η κάλυψη των δρόμων, αφού η επίδοση του κινητού μέσα σε όχημα είναι μειωμένη. Αυτό οφείλεται και στο υλικό του αυτοκινήτου που καθιστά την επαφή του χρήστη με την κεραία-πομπό δύσκολη. Για να επιλυθεί αυτό το ζήτημα, χρειάζεται να προβλεφθεί το ποσοστό απώλειας Faradey ώστε να υπάρξει ακόμη ένα περιθώριο σχετικά με την οδική κάλυψη.

Ακόμη, σε εσωτερικούς χώρους, οι απώλειες είναι αναμενόμενες, εφόσον η ακτινοβολία δεν διεισδύει ανεμπόδιστα σε αυτούς. Τα δομικά υλικά των κτιρίων σε συνδυασμό με τους περιορισμούς στη χρήση κεραιών, πρέπει να υπολογιστούν τα απαιτούμενα περιθώρια κάλυψης εσωτερικών χώρων.

Οι εσωτερικοί χώροι έχουν απώλειες ανάλογες και με το υλικό των κτιρίων, τον αριθμό των ορόφων και το υλικό των δαπέδων, ενώ μια επιπλέον παράμετρος είναι και η πρόβλεψη της κάλυψης των υπογείων χώρων, όπως το μετρό.

Τέλος, πολύ σημαντική είναι και η μνεία στη σκίαση, ως παράγοντα απώλειας αφού σε εξωτερικούς χώρους, αυτή είναι που παρακωλύει την οπτική επαφή του χρήστη με την κεραία-πομπό και εξασθενεί τη διάδοση της ακτινοβολίας. Η ισχύς της λήψης ονομάζεται βραδεία μεταβαλλόμενη και υπολογίζεται ένα περιθώριο σκίασης, το

οποίο είναι βέβαια μεταβλητό από περιοχή σε περιοχή και δεν διευκολύνει έτσι τους υπολογισμούς.

3. Ραδιοκάλυψη στο νησί της Ψυττάλειας

Το **RadioMobile** είναι ένα πρόγραμμα που έχει φτιαχτεί από ένα ραδιοερασιτέχνη, τον RogerCoudé και απευθύνεται σε ραδιοερασιτέχνες, γι' αυτό οι παράμετροί του είναι πολλές. Είναι ένα λογισμικό, που μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει δωρεάν, το οποίο κάνει την εικονική χαρτογράφηση μιας περιοχής και την ραδιοκυματική διάδοση.

Για την υλοποίηση του πειράματος θα χρησιμοποιήσουμε το νησί της Ψυττάλειας, το οποίο βρίσκεται στον Αργοσαρωνικό και στο οποίο υπάρχουν εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού για το λεκανοπέδιο της Αττικής, άρα υπάρχουν και ανάγκες ραδιοκάλυψης.

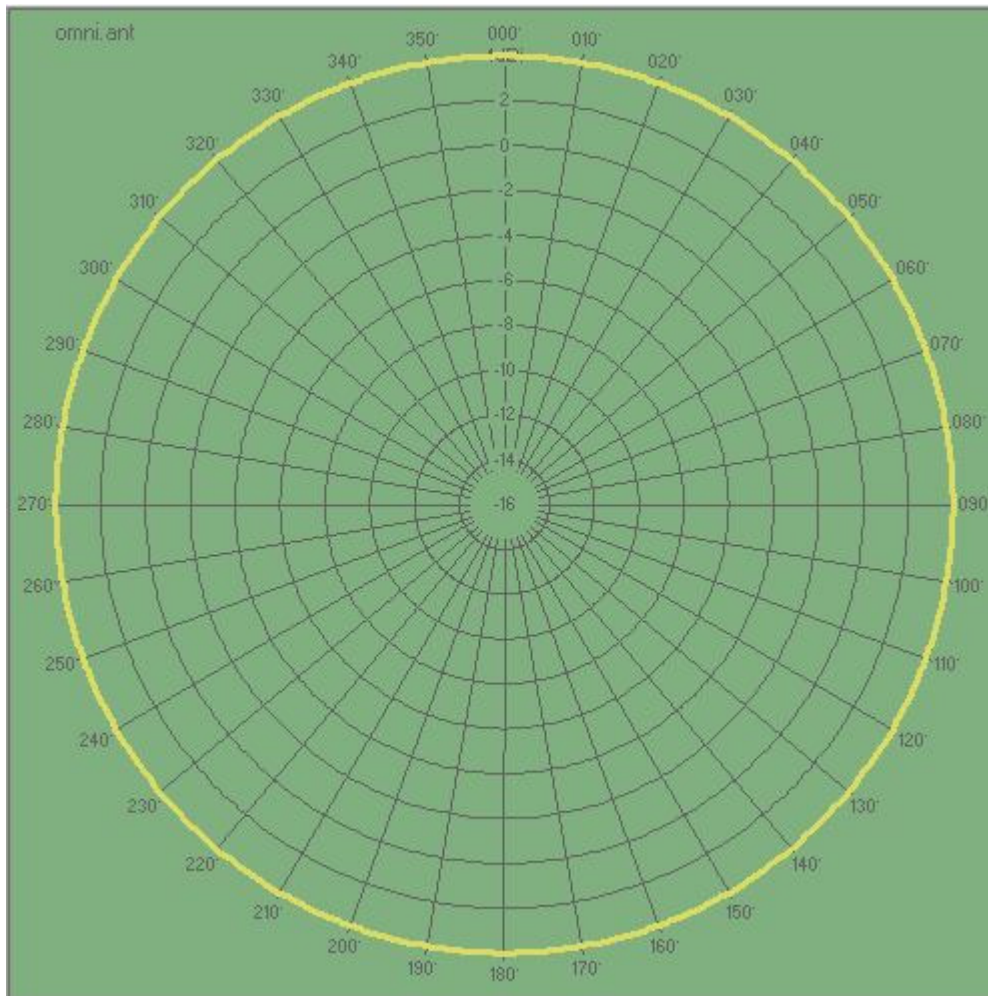
Με τη βοήθεια του RadioMobile θα κάνουμε μία πειραματική μελέτη για τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο χώρο, με διάφορους τύπους κεραιών. Για τη πειραματική μελέτη θα χρησιμοποιήσουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας για τους παρακάτω τύπους κεραιών: Omni, Cardio, Corner, Dipole, Ellipse και Yagi.

Το συμπέρασμα το οποίο καταλήγουμε είναι ότι ανάλογα του διαθέσιμου πλήθους σταθμών αλλά και της μορφολογίας της περιοχής, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε και τον κατάλληλο τύπο κεραιάς για τη κάλυψη που θέλουμε να παρέχουμε στη περιοχή.

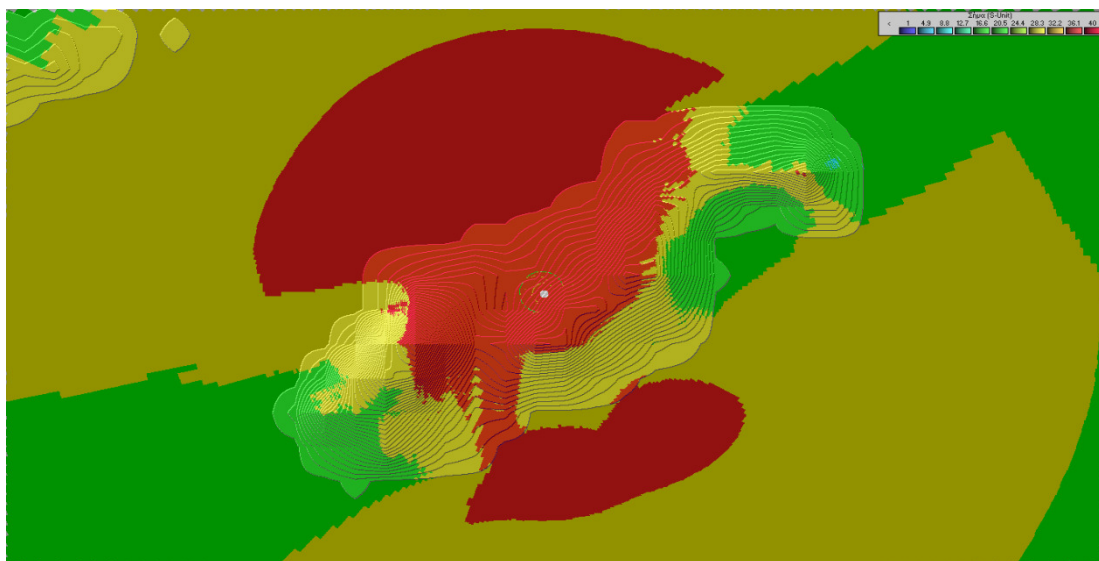
Για την ικανοποιητική ραδιοκάλυψη του νησιού της Ψυττάλειας, λόγω του ότι δεν είναι αστική περιοχή και η μορφολογία του το επιτρέπει, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία κεραιά Omni, εγκατεστημένη σε ιστό 35m, στο κέντρο του νησιού.

Παρακάτω θα βρείτε τα διαγράμματα ακτινοβολίας, για όλους τους παραπάνω τύπους κεραιών, αλλά και την εφαρμογή τους στο νησί της Ψυττάλειας.

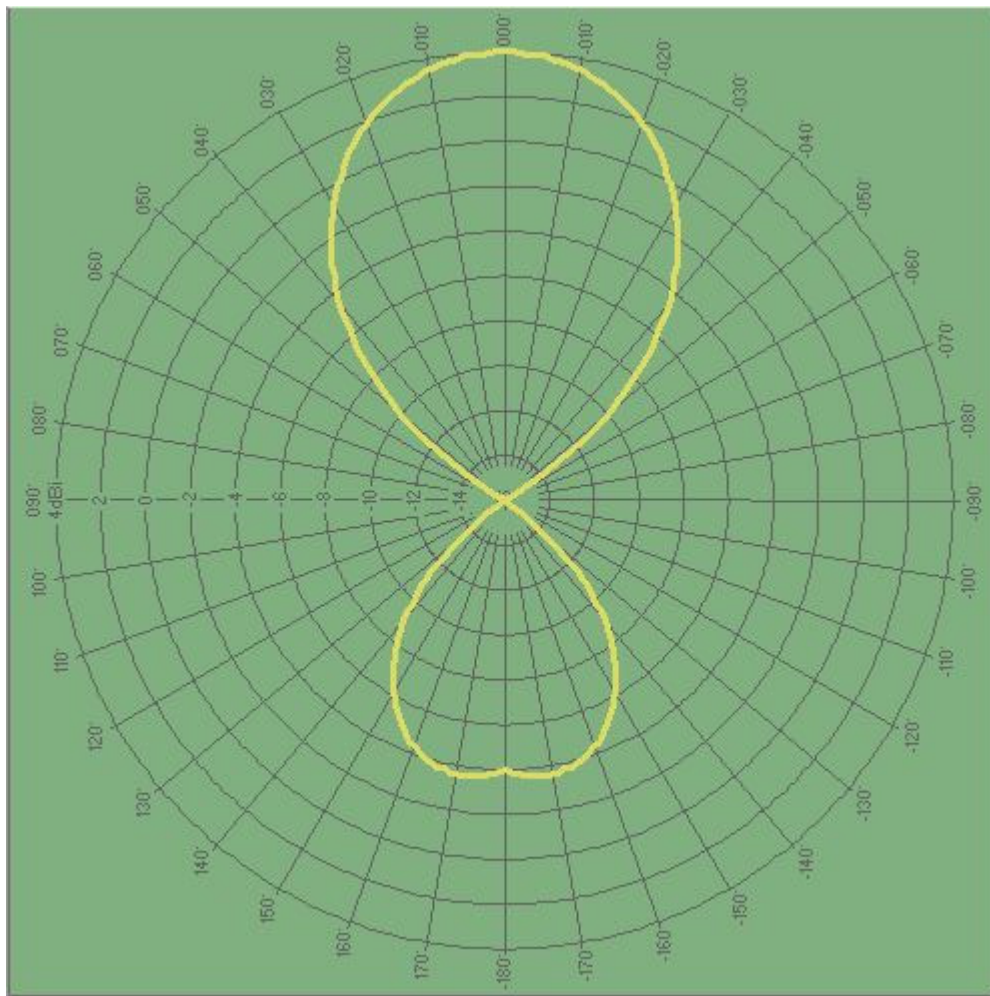
Το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεραία τύπου **Omni**:



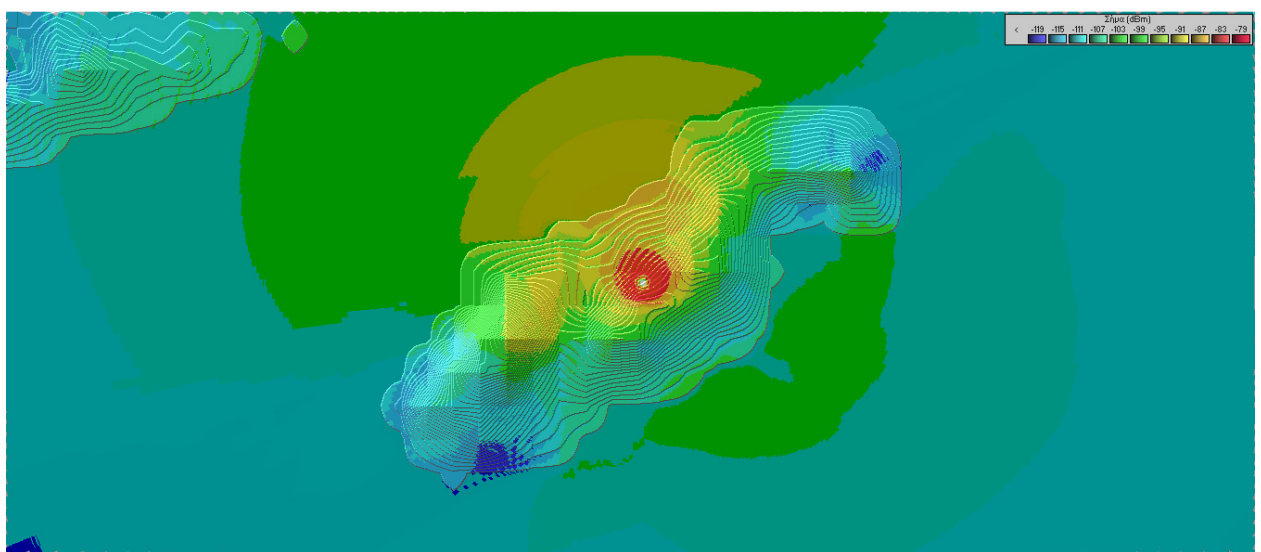
Και η εφαρμογή του στο νησί της Ψυττάλειας:



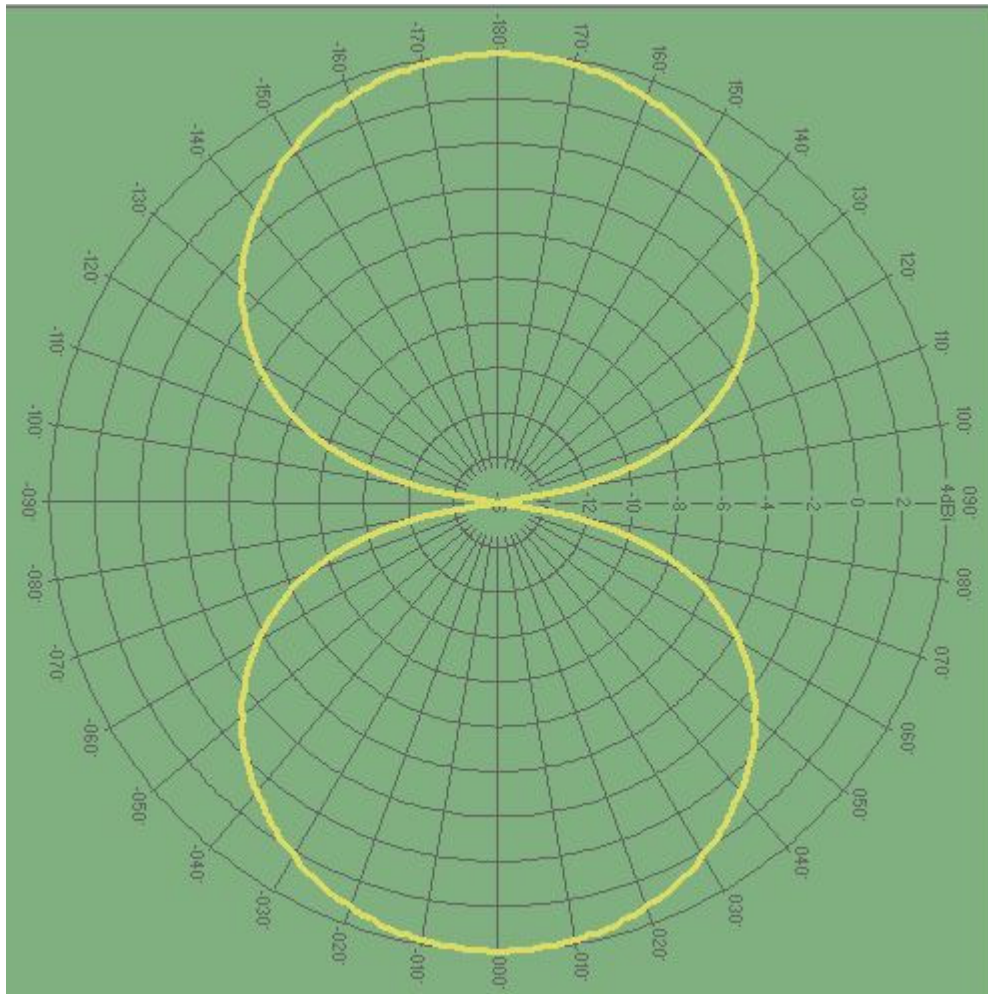
Το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεραία τύπου**Cardio**:



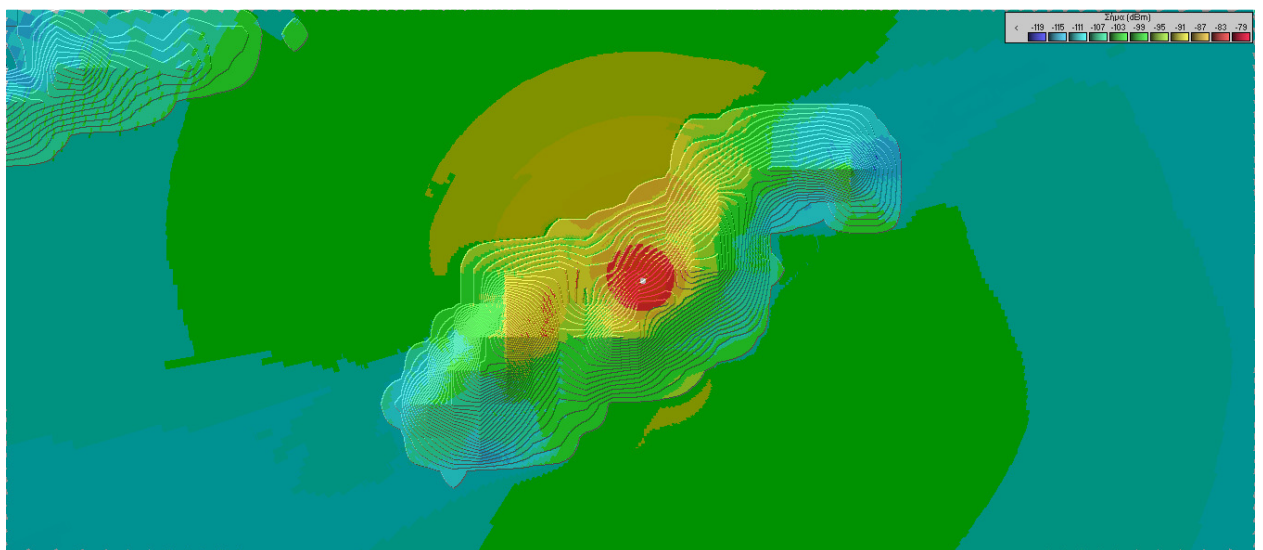
Και η εφαρμογή του στο νησί της Ψυττάλειας:



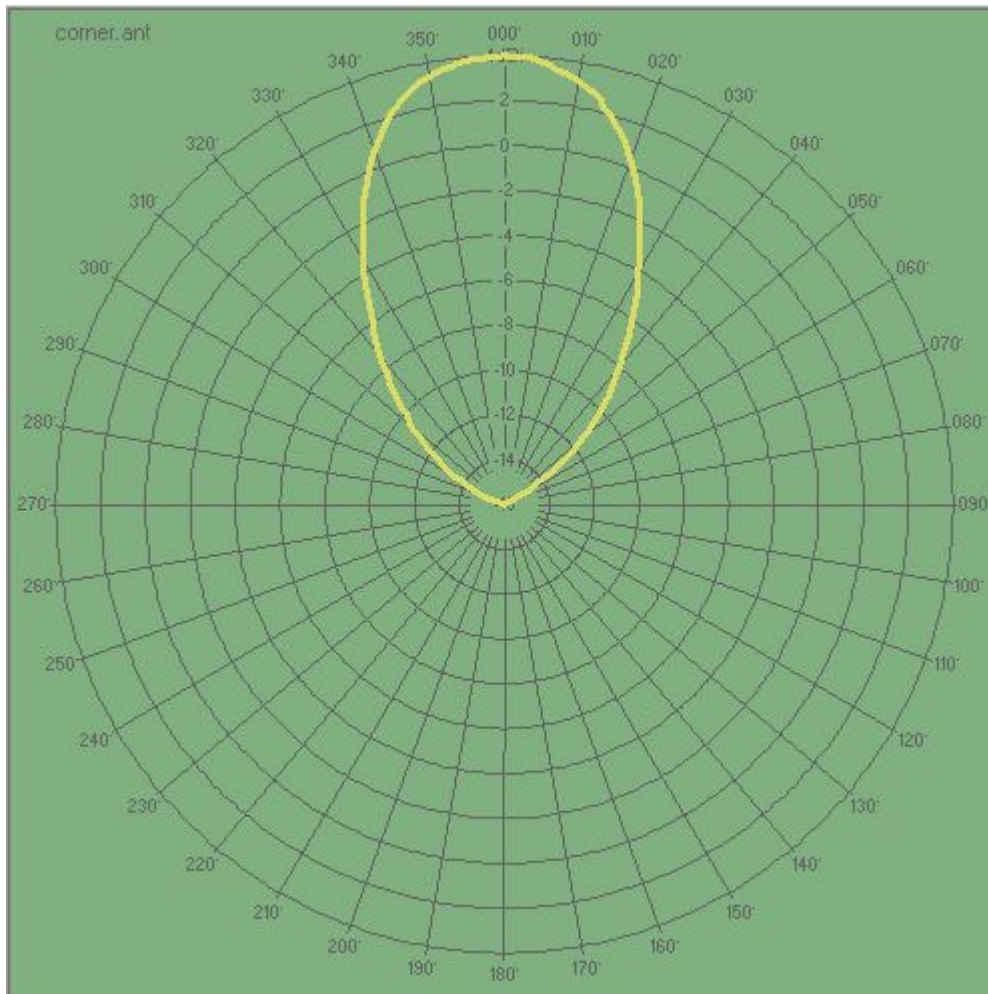
Το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεραία τύπου **Dipole**:



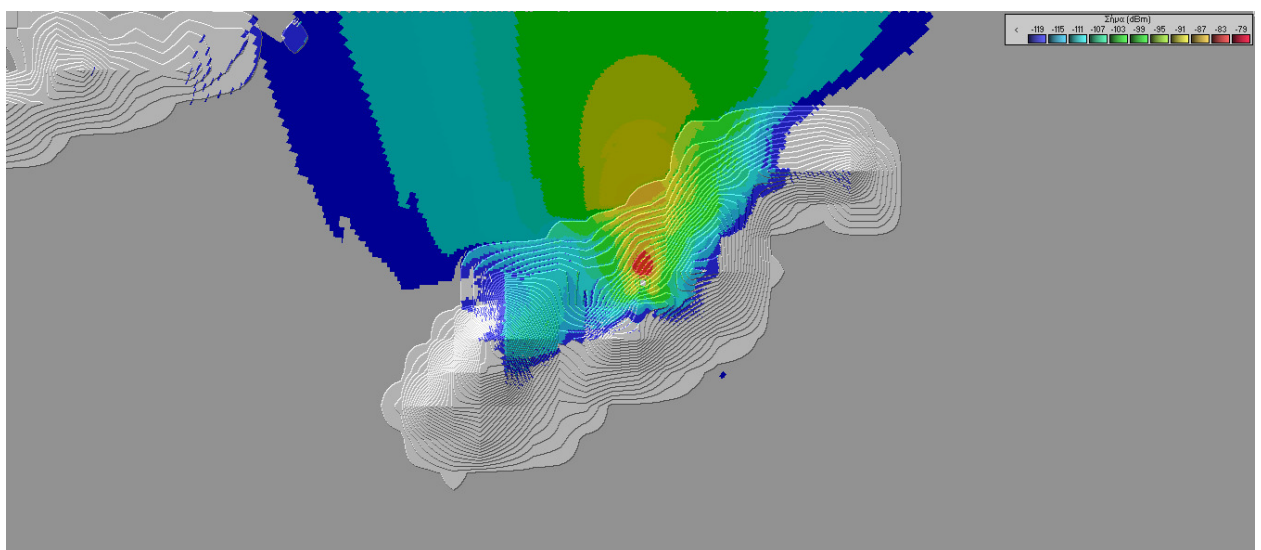
Και η εφαρμογή του στο νησί της Ψυττάλειας:



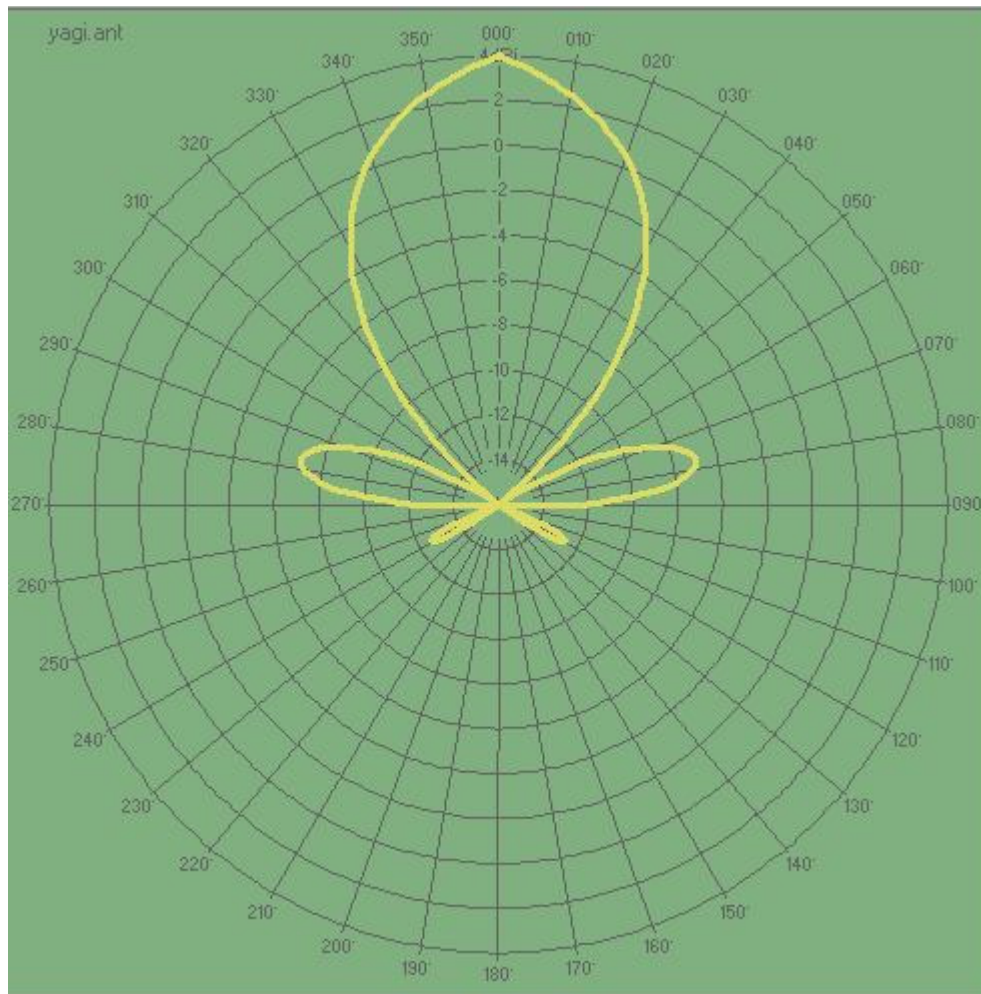
Το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεραία τύπου **Corner**:



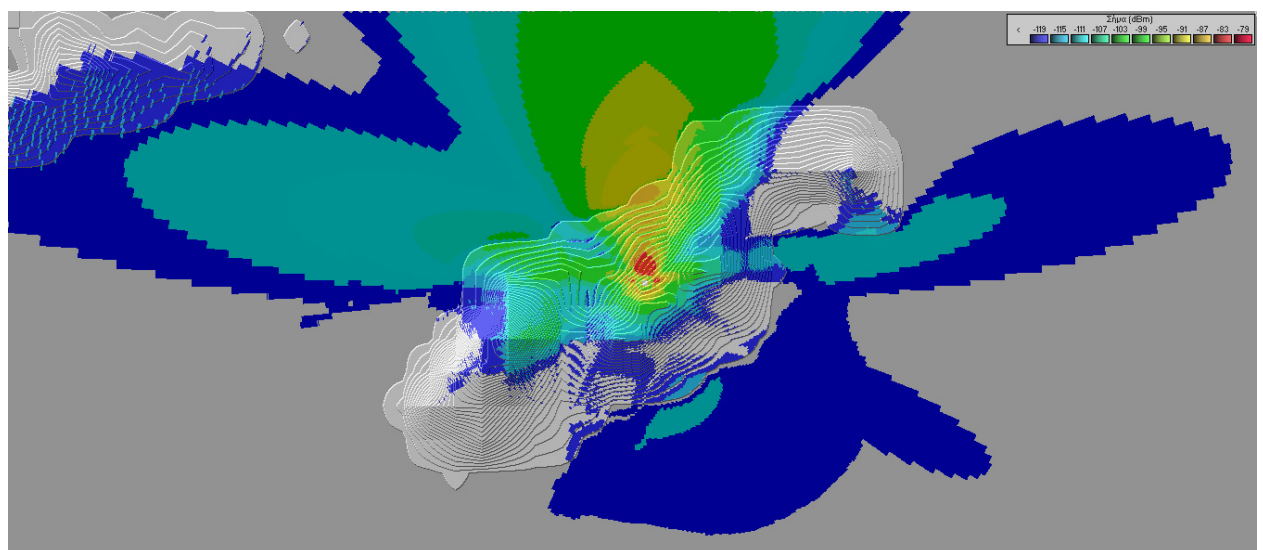
Και η εφαρμογή του στο νησί της Ψυττάλειας:



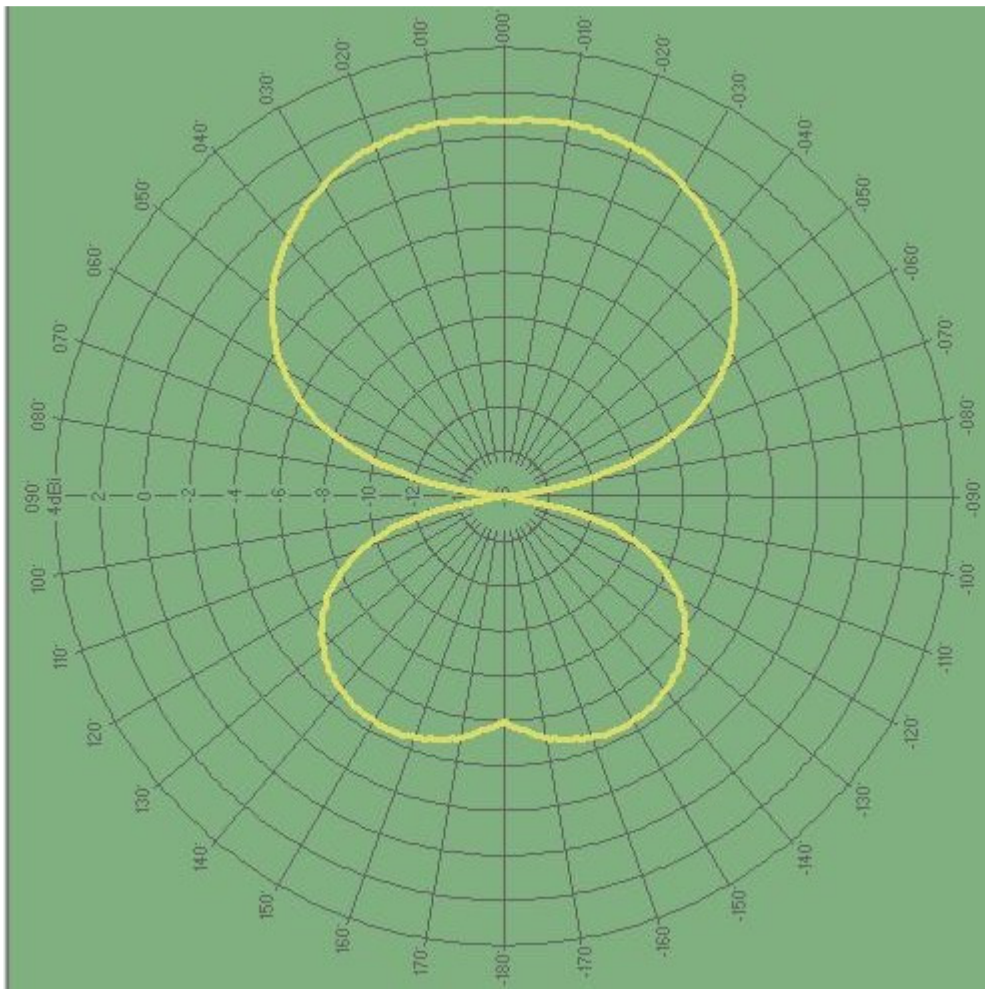
Το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεραία τύπου **Yagi**:



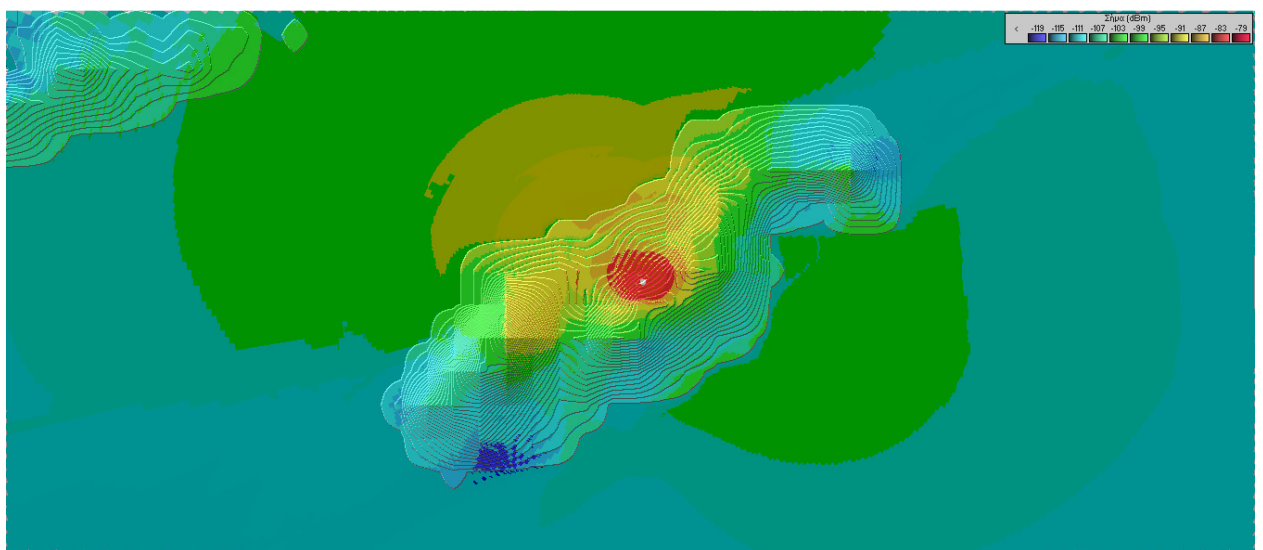
Και η εφαρμογή του στο νησί της Ψυττάλειας:



Το διάγραμμα ακτινοβολίας για κεραία τύπου **Ellipse**:



Και η εφαρμογή του στο νησί της Ψυττάλειας:



Βιβλιογραφία

Λούβρος, Σ. (2014). Το δίκτυο LTE. Από τις βασικές αρχές στο σχεδιασμό. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

Λούβρος, Σ., Κούγιας, Ι. (2010). Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

Πολύμερος, Δ. (1997). Η διαδικασία μεταπομπής σε κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αχτύπη, Α., Μπαρλάμπα, Μ. (2015). Εφαρμογές σε κινητές συσκευές: Σύγχρονες τάσεις. ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος.

Τσακμακίδης, Μ. (2011). Βασικές αρχές OFDM και διαμόρφωση OFDM-OQAM. Διπλωματική εργασία. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τράκας, Π. (2012). Προσομοίωση φυσικού επιπέδου 4G επικοινωνίας σταθμού βάσης-τερματικού, σύμφωνα με το πρότυπο LTEadvanced. Διπλωματική εργασία. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.

Τσόλκας, Δ. (2014). Spatial Spectrum reuse in heterogeneous wireless networks interference management and access control. Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα: Καποδιστριακό πανεπιστήμιο.

Nubarron, (2011). Εφαρμογές σε κινητές συσκευές: σύγχρονες προσεγγίσεις. Πτυχιακή εργασία.

Κοψιάτης, (2014). Διδακτορική Διατριβή.

Παπατσώρης, (2006), ΤΕΙ Σερρών.

Βαρδιάμπαση, Ε. (2015).

Μελέτη του Air Interface του Long term evolution, σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ Κρήτης.

Τσαμπαλάς, Κ. (2015). Μελέτη σκοπιμότητας δημιουργίας ασύρματου δικτύου σε αστική περιοχή. Πτυχιακή εργασία. ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ