



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής (πρώην Τ.Ε.Σ.Υ.Δ)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εξαγωγή μοντέλου ραδιοκάλυψης της περιοχής της Νίκαιας Δυτικής Αττικής βάσει πεδιομετρήσεων στάθμης ισχύος λήψης φορητής συσκευής.

Συγγραφή/Επιμέλεια: Κοκκίνη Χρυσάνθη
A.M: 0725

Επιβλέπων Καθηγητής: Ασαρίδης Ηλίας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή
Αντίρριο,.....Ιούνιος 2017

Όνομα Καθηγητή 1

Όνομα Καθηγητή 2

Όνομα Καθηγητή 3

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ασαρίδη Ηλία για τις πολύτιμες υποδείξεις καθώς και την εξεταστική επιτροπή.

Πίνακας περιεχομένων

Παραρτήματα.....	6
Εισαγωγή.....	7
Περίληψη.....	8
Summary.....	9
1. Ιστορική εξέλιξη Ασυρμάτων δικτύων.....	10
<i>Εισαγωγή.....</i>	<i>10</i>
1.1. Το Δίκτυο GSM.....	11
1.1.1. 1ης Γενιάς GSM.....	12
1.1.2. 2ης Γενιάς GSM.....	13
1.1.3. 3ης Γενιάς GSM.....	14
1.1.4. 4ης Γενιάς GSM.....	15
1.2. Κυτταρική Κάλυψη.....	20
1.2.1 Ο Κυτταρικός σχεδιασμός και η κυτταρική κάλυψη.....	21
1.2.2 Κυτταρική διάσπαση.....	30
1.2.3 Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.....	31
1.2.4 Συχνότητες λειτουργίας.....	33
1.2.4.1 GSM 900.....	33
1.2.4.2 GSM 1800.....	34
1.2.5 Ρυθμός Μεταφοράς Δεδομένων.....	35
1.2.6 Είδη Κυψελών.....	36
1.3. Αρχιτεκτονική GSM.....	38
1.3.1 Κινητός Σταθμός (MS).....	39
1.3.2 Βασικό Υποσύστημα (BSS).....	40
1.3.3 Υποσύστημα Δικτύου (NNS).....	43
1.3.4 Μονάδα Αναγνώρισης Συνδρομητή (SIM).....	46
1.4. Τεχνολογίες Πολυπλεξίας και Σηματοδοσίας.....	47
1.4.1 Πολυπλεξία χρόνου (TDMA).....	48
1.4.2 Πολυπλεξία Συχνοτήτων (FDMA).....	50
1.4.3 Πολυπλεξία Κώδικα (CDMA).....	52
1.4.4 Φυσικά και Λογικά Κανάλια.....	54
1.4.4.1 Κανάλια Ελέγχου.....	55
1.4.4.2 Κανάλια Ελέγχου Κοινής Χρήσης (CCCH).....	57
1.4.4.3 Αφιερωμένα Κανάλια Ελέγχου (DCCH).....	59
2. Μοντέλα Απωλειών Ραδιοκάλυψης.....	62
2.1. Απώλειες Διαδρομής για διάδοση σε ελεύθερο χώρο.....	63
2.1.1. Απώλειες Λόγω Εδάφους-Περιβάλλοντος.....	68
2.1.1.1. Ανάκλαση.....	68

2.1.1.2	Περίθλαση.....	69
2.1.1.3	Σκέδαση.....	70
2.1.2.	Αποσβέσεις του σήματος λόγω εδαφικών Ανωμαλιών.....	71
2.1.3.	Αρχή Huygen.....	74
2.1.4.	Ελλειψοειδής Ζώνες Fresnel.....	80
2.1.5.	Μιγαδικό Ολοκλήρωμα Fresnel.....	85
2.1.5.1.	Απώλειες Περίθλασης.....	86
2.1.6.	Μέθοδος Millington.....	87
2.1.7.	Μέθοδος Epstein-Peterson.....	88
2.1.8.	Μέθοδος Deygout.....	90
2.1.9.	Μοντέλο Egli.....	91
2.1.10.	Μοντέλο RCS (Radar Cross Section).....	92
2.2	Μοντέλα Διάδοσης.....	98
2.2.1.	Μοντέλο Okumura – Hata.....	98
2.2.2.	Μοντέλο Cost – 231 Hata.....	101
2.2.3.	Μοντέλο Ikegami.....	101
2.2.4.	Ένταση λαμβανόμενου Σήματος.....	102
2.2.4.1	Κατανομή Rice.....	105
2.2.4.2	Κατανομή Rayleigh.....	106
2.2.5.	Μοντέλο Walfisch – Bertoni.....	108
2.2.6.	Μοντέλο Cost – 231 Walfisch – Ikegami	110
2.2.7.	Μοντέλο Keenan – Montley.....	113
2.2.8.	Μοντέλο δύο ακτινών.....	115
2.2.9.	Ολίσθηση Doppler	119
2.2.10	Διαλείψεις στο Ασύρματο Περιβάλλον Κινητών Επικοινωνιών..	123
2.2.11.	Εκθέτης Απωλειών Διαδρομής.....	128
3.	Εμπορικά Συστήματα Καταγραφής Ποιότητας Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας.....	131
3.1.	Ascom Tems Portofolio.....	131
3.2.	Nemo Network Testing Solutions.....	133
3.3.	SwissQual Network Benchmarking, Organization and Service Monitoring.....	134.
4.	Εργαλεία Εξαγωγής Μοντέλου Ραδιοκάλυψης.....	135
4.1	Λειτουργικό Σύστημα Android.....	135
4.2.	Android -Εφαρμογή Network Cell Info.....	135
5.	Ημι-Εμπειρικό μοντέλο Ραδιοκάλυψης.....	138
5.1.	Παρουσίαση Μετρήσεων.....	138
5.2.	Διαδικασία Εξαγωγής Μοντέλου.....	145
5.3.	Υπολογισμός εκθέτη απωλειών Ημί-Εμπειρικού μοντέλου.....	148
	Βιβλιογραφία.....	151

Παραρτήματα

Ευρετήριο Πινάκων

<u>Πίνακας 1</u>	
“Συνοπτικός Πίνακας των τεχνολογιών Κινητής Τηλεφωνίας.”	19
Ευρετήριο Πινάκων Ημι-Εμπειρικού Μοντέλου	

<u>Πίνακας 2</u>	
“Δεδομένα καταγραφής της ισχύος Λήψης φορητής συσκευής.”	141

<u>Πίνακας 3</u>	
“Δεδομένα SSR, Distance[m], Distance[dB] της Cell id(2082858)”	148

Ευρετήριο Διαγραμμάτων Ημι-εμπειρικού Μοντέλου.

<u>Διαγράμματα 1, 2, 3, 4, 5, 6</u>	
“Στάθμες ισχύος Λήψης SSR για κάθε κύτταρο, (cellid, CID).”	142-145
<u>Διάγραμμα 7</u>	
“SSR vs Distance[dB] σύμφωνα με το πίνακα 3”	149
<i>Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα.</i>	150

Εισαγωγή

Οι ραδιοεπικοινωνίες βασίζονται στη διάδοση και στη λήψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο χώρο. Τα κύματα αυτά τα οποία ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, αποτελούνται από ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο τα οποία ταλαντώνουν συμφασικά σε επίπεδα κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς την κατεύθυνση διάδοσης. Στις εφαρμογές των τηλεπικοινωνιών το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μεταφέρει σε κάποιο από τα χαρακτηριστικά του - ένταση, συχνότητα και φάση- την προς μετάδοση πληροφορία. Στις τηλεπικοινωνίες το ηλεκτρομαγνητικό κύμα παίζει κατά κάποιο τρόπο τον ρόλο του “αχθοφόρου” του βασικού σήματος.

Ο βασικός σκοπός μιας ραδιοζεύξης είναι να μεταφέρει αρκετή ισχύ σήματος από τον πομπό στο δέκτη, ο οποίος ενδεχομένα βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του δέκτη με αντικειμενικό στόχο την επιτυχή αποστολή, εξαγωγή και εκμετάλλευση της αρχικής πληροφορίας.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εξαγωγή ενός ημι-εμπειρικού μοντέλου ραδιοκάλυψης, το οποίο στηρίζεται σε πραγματικές μετρήσεις της ισχύος λήψης σήματος κινητής συσκευής. Η μέτρηση που παρουσιάζεται πραγματοποιήθηκε από την περιοχή της Νίκαιας και προς την περιοχή του Κορυδαλλού του Νομού Πειραιώς.

Αρχικά παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη και ο κυτταρικός σχεδιασμός, η αρχιτεκτονική και ο τρόπος λειτουργίας ενός GSM δικτύου. Εν συνεχεία γίνεται η ανάλυση των κυριότερων μοντέλων ραδιοκάλυψης και των φυσικών φαινομένων που υφίσταται το ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Έπειτα, παρουσιάζεται μια αναφορά στα πιο διαδεδομένα εμπορικά συστήματα καταγραφής και παρακολούθησης της ποιότητας των δικτύων κινητής τηλεφωνίας.

Τέλος παρουσιάζεται η εξαγωγή του ημί- εμπειρικού μοντέλου, η παρουσίαση αυτή περιλαμβάνει τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των δεδομένων καταγραφής και την ανάλυση αυτών μέσω του προγράμματος excell.

Λέξεις Κλειδιά

Κυτταρικά Δίκτυα / Κυψελωτά, Δίκτυο Κινητών Επικοινωνιών, Μέτρηση Ισχύς Λήψης, Ποιότητα δικτύων, Android, GPS, Google Map, Google Earth, Network Cell Info, Excell, Cellid (CID).

Summary

Objective of present work is the export of the Semi-empirical Radio Coverage, which is supported in real measurements of force of reception on signal mobile appliance. The measurement that is presented was realised by the region of Nikaia and the region of Korydallos of Prefecture Piraeus.

Initially are presented the history and the cellular planning, the architecture and the way of operation of GSM network. Then are becomes the analysis of mainer models radio-coverage and physics phenomena that subject the electromagnetic signal. Then, is presented a report in the widespreadest commercial systems of recording and follow-up of the quality of the mobile network.

Finally is presented the export of the Semi-empirical Radio Coverage, this presentation includes the tools that were used for the export of data recording and the analysis of these using the program excell.

Key Words

GSM, Mobile Network, Cellular Networks, Network Quallity, Signal Power, Measurement, GPS, Google Map, Excell, Android, Network Cell Info app, Google Earth, Cellid (CID).

1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.

Εισαγωγή

Η πρώτη επιτυχημένη ραδιοεπικοινωνία χρονολογείται το 1900, όταν ο Marconi πέτυχε να συνδεθεί ασύρματα από ένα σταθμό στην ξηρά με ένα σκάφος σε απόσταση 18 ναυτικών μιλίων. Αυτό άνοιξε τους ασκούς του Αιόλου θα έλεγε κάποιος, αφού η χρησιμότητα και η αναγνώριση των κινητών επικοινωνιών ήταν ραγδαία.

Όλα ξεκίνησαν όταν η Βασίλισσα της Αγγλίας Βικτωρία παρακολούθησε την ασύρματη διασύνδεση της νήσου Wight Island. Αυτό ήταν ένα πρόγραμμα που χρηματοδότησε και σχεδίασε ο Marconi επιτυγχάνοντας τη ράδιο-σύνδεση με τη χρήση ενός επίγειου ραδιοπομπού εγκατεστημένου στη νήσο Wight και ένα έναν ραδιοδέκτη εγκατεστημένο σε ένα σκάφος σε απόσταση 18 μιλίων από την ακτογραμμή. Εντούτοις θα έλεγε κάποιος ότι την αυλαία άνοιξε το αστυνομικό τμήμα Detroit στις Η.Π.Α. περί το 1921. Το αστυνομικό τμήμα καταλαβαίνοντας την αξία και χρησιμότητα των ραδιοεπικοινωνιών, αποφάσισε να υλοποιήσει ένα μεγαλεπήβολο πρόγραμμα το οποίο οδήγησε στο πρώτο δίκτυο κινητής επικοινωνίας εμπορικά αξιοποιήσιμο. Αρχικά μόνο ένας σταθμός βάσης είχε την δυνατότητα να μεταδίδει και οι δέκτες στα αστυνομικά οχήματα της υπηρεσίας μόνο να λαμβάνουν. Αργότερα οι πομποί στα αστυνομικά οχήματα εξελίχθηκαν σε πομποδέκτες (μπορούσαν και να εκπέμπουν) και να επικοινωνούν με το σταθμό βάσης. Σύντομα και άλλα αστυνομικά τμήματα στη χώρα ακολούθησαν το παράδειγμα του Detroit και δημιούργησαν τα δικά τους δίκτυα. Το δίκτυο στο αστυνομικό τμήμα του Detroit λειτουργούσε σε συχνότητες της περιοχής των 2MHz. Με την ευρεία ανάπτυξη των άλλων δικτύων σύντομα κορέστηκε αυτή η διαθέσιμη μάλιστα συχνοτήτων.

Επομένως περί το 1940 λόγω της μεγάλης ζήτησης χρήσης ασυρμάτων επικοινωνιών στα πεδία των μαχών η Αμερικάνικη Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) έδωσε την άδεια και σε άλλα κανάλια στη περιοχή των 30-40 MHz.

Αμέσως μετά το πέρας του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, σημείο σταθμός για την ανάπτυξη της τεχνολογίας η οποία γνώρισε απίστευτη ανάπτυξη στα επόμενα χρόνια, ήταν τα εργαστήρια Bell στην Αμερική που ξεκίνησαν μία νέα ιδέα στις ασύρματες επικοινωνίες, τις τηλεπικοινωνίες κοινού φορέα. Η ιδέα αυτή πρότεινε την παροχή υπηρεσιών σε πολλούς ταυτοχρόνως συνδρομητές σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Αυτή η ιδέα - υπηρεσία, καταχωρήθηκε στο φορέα FCC ως η υπηρεσία - δίκτυο Domestic Public Land Mobile Radio Service - DPLMRS. Κατά τη μελέτη και υλοποίηση της αναφερόμενης υπηρεσίας αναπτύχθηκαν δυο διαφορετικά δίκτυα.

Το πρώτο λειτούργησε δοκιμαστικά στην ευρύτερη περιοχή του St. Louis, το 1946, με τρεις ράδιο-διαύλους (ασύρματα κανάλια) στη ζώνη συχνοτήτων των 150 MHz. Το αρχικό ερευνητικό πρόγραμμα πρότεινε τη χρήση έξι ράδιο-διαύλων, όμως λόγω προβλημάτων στην υλοποίηση του hardware των πομποδεκτών υπήρξε μεγάλη παρεμβολή γειτονικού καναλιού (adjacent channel interface) και η τελική λύση περιέκυψε τους ράδιο-διαύλους σε τρεις. Το 1947 αναπτύχθηκε ένα δεύτερο δίκτυο για τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες της Νέας Υόρκης και Βοστώνης στη ζώνη συχνοτήτων 35-44 MHz και έμεινε γνωστό με το όνομα "Highway System". Μέχρι εκείνη την εποχή δεν είχαν αυτόματα συστήματα μεταγωγής και δρομολόγησης των κλήσεων και έπρεπε να μεσολαβήσει τηλεφωνητής. Τα αυτόματα μεταγωγής συστήματα ξεκίνησαν μετά το 1950. Αργότερα βέβαια εμφανίστηκαν και τα αυτόματα ψηφιακά κέντρα μεταγωγής οπότε άνοιξε η πόρτα στην ένωση των κινητών και των σταθερών επικοινωνιών. Το 1964 ξεκίνησε ένα νέο ερευνητικό πρόγραμμα, γνωστό με την ονομασία "Improved Mobile Telephony System – IMTS", το οποίο κατέληξε στη

δημιουργία και υλοποίηση των δύο νέων δικτύων MJ και MK στη ζώνη συχνοτήτων 150 και 450 MHz αντιστοίχως.

Τελικώς το 1970 στο συνέδριο World Administrative Radio Conference μία νέα ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz δεσμεύτηκε για μελλοντική χρήση δικτύων κινητών επικοινωνιών. Από τη σκοπιά της τεχνολογικής εξέλιξης, τα πρώτα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών ήταν αφιερωμένα για στρατιωτικούς σκοπούς. Τα πρώτα συστήματα λειτουργούσαν με λυχνίες κενού (η τεχνολογία αιχμής της εποχής) και οι απαιτήσεις σε ισχύ ήταν τεράστιες. Για αυτό το λόγο πριν το 1930 οι πομποί ήταν σε σταθερά σημεία και τροφοδοτούνταν από την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι κινητές συσκευές στα αυτοκίνητα ήταν μόνο δέκτες (οι απαιτήσεις σε ισχύ στους δέκτες είναι μικρή και για την τεχνολογία της εποχής ανεκτή). Αργότερα βέβαια όπου χρησιμοποιήθηκαν και φορητοί πομποδέκτες ήταν ογκώδεις και βαρείς με εξαιρετικά υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ. Με την εμφάνιση του transistor το 1957 ο όγκος των συσκευών ελαττώθηκε ικανοποιητικά.

1.1 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ GSM

Το **Global System for Mobile communications** (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών), συντομογραφία **GSM** είναι ένα κοινό Ευρωπαϊκό ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας. Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο (European Telecommunications Standards Institute) το 1982, άρχισε την μελέτη για την δημιουργία ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G). Αυτό το σύστημα ονομάστηκε αρχικά Group Special Mobile (GSM). Το GSM είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων.

Το 1989 η ευθύνη του GSM ανατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Ινστιτούτο Προτύπων (ETSI) και το 1990 ανακοινώθηκαν επίσημα για πρώτη φορά τα χαρακτηριστικά του GSM. Το 1991 άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε το 1993 από την WIND Hellas (πρώην TIM ή πρώην TELESTET). Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο Ευρωπαϊκό πρότυπο, αφού υιοθετήθηκε από πολλές άλλες χώρες των άλλων Ηπείρων, εκμεταλλευόμενο διάφορες ζώνες συχνοτήτων.

Στο GSM η περιοχή συχνοτήτων που έχει εκχωρηθεί για την λειτουργία των δικτύων κινητής τηλεφωνίας υποδιαιρείται σε κανάλια επικοινωνίας εύρους 200 kHz. Κάθε κανάλι μπορεί να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από οκτώ το πολύ συνδρομητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν διαδοχικά τα κανάλια για λίγο χρόνο (περίπου 0,577 ms). Κάθε σταθμός βάσης επικοινωνεί με τα κινητά τηλέφωνα που βρίσκονται στην περιοχή, συνήθως με 6 έως 12 κανάλια συχνοτήτων. Τα κανάλια αυτά είναι διαφορετικά μεταξύ γειτονικών κυψελών, έτσι ώστε να ξεχωρίζουν μεταξύ τους. Επειδή ο αριθμός των καναλιών είναι περιορισμένος,

τα ίδια τα κανάλια θα ξαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές κυψέλες. Η σχεδίαση των δικτύων είναι τέτοια, ώστε οι κυψέλες που χρησιμοποιούν τα ίδια κανάλια να είναι όσο τον δυνατόν πιο μακριά μεταξύ τους για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών της μιας στη λειτουργία της άλλης. Τα κινητά τηλέφωνα μετρούν το επίπεδο του σήματος που λαμβάνουν από τους πλησιέστερους σταθμούς βάσης και αν, καθώς μετακινούμαστε, το σήμα από ένα άλλο σταθμό βάσης γίνει καλύτερης ποιότητας από το σήμα του σταθμού που χρησιμοποιούμε, τότε το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας μας μεταβιβάζει στην κυψέλη του σταθμού αυτού, χωρίς η μεταβίβαση να γίνεται αισθητή από εμάς.

1.1.1. 1ης Γενιάς GSM

1G (ή 1-G) αναφέρεται στην πρώτη γενιά της ασύρματης τηλεφωνικής τεχνολογίας. Ανήκει στα αναλογικά πρότυπα τηλεπικοινωνιών που εισήχθησαν στη δεκαετία του 1980 και συνεχίστηκε μέχρι να αντικατασταθεί από τη δεύτερη (2G) γενιά ψηφιακών τηλεπικοινωνιών. Χρησιμοποιείται τεχνολογία FM (διαμόρφωση συχνότητας), FDD (συχνοδιαιρετική αμφίδρομη επικοινωνία) και FDMA (πολυπλεξία στη συχνότητα). Τα κοινά κανάλια σήματος χρησιμοποιήθηκαν σε κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς. Η μετάδοση δεδομένων μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού χρήστη ήταν ανεπαρκής και το χαμηλό ποσοστό των δεδομένων απαιτεί τα κυψελωτά συστήματα της επόμενης γενιάς. Τα συστήματα πρώτης γενιάς ήταν βασισμένα σε αναλογικά συστήματα, ως εκ τούτου, η μετάδοση δεν είναι ασφαλής. Ενώ τα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούν ψηφιακή διαμόρφωση έτσι, παρέχεται ασφαλής μετάδοση δεδομένων.

Το πρώτο εμπορικά αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησε στην Ιαπωνία από την Nippon Telegraph (NTT) το 1979, αρχικά στη μητροπολιτική περιοχή του Τόκιο. Μέσα σε πέντε χρόνια, το δίκτυο NTT είχε επεκταθεί για να καλύψει το σύνολο του πληθυσμού της Ιαπωνίας και έγινε το πρώτο πανεθνικό δίκτυο 1G. Το 1981, το σύστημα ταυτόχρονα ξεκίνησε στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Σουηδία. Επίσης το 1983, το πρώτο δίκτυο 1G ξεκίνησε στις Η.Π.Α. με έδρα το Σικάγο Ameritech χρησιμοποιώντας το Motorola DynaTAC κινητό τηλέφωνο.

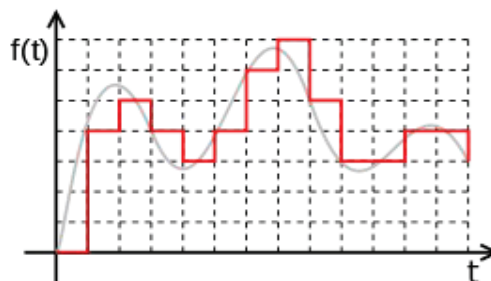
Το προηγμένο σύστημα κινητής τηλεφωνίας AMPS (Advanced Mobile Phone System) είναι ένα αναλογικό κινητό τηλέφωνο, πρότυπο σύστημα που αναπτύχθηκε στο ιστορικό εργαστήριο Bell Labs, και επίσημα εισήχθη στην Αμερική στις 13 Οκτωβρίου το 1983. Το συγκεκριμένο πρότυπο χρησιμοποιεί πρότυπο 7 κυψελών με επαναλαμβανόμενο μοτίβο και τις διατάξεις για τη διάτμηση και την διαίρεση των κυψελών έτσι ώστε να αυξήσει την χωρητικότητα όπου χρειάζεται. Το AMPS χρησιμοποιεί FM και FDD για τη μετάδοση του σήματος. Χρησιμοποιεί FDMA πολλαπλή πρόσβαση και το εύρος ζώνης του καναλιού είναι στα 30 Khz. Στις Ηνωμένες Πολιτείες οι μεταδόσεις από το κινητό για τους σταθμούς βάσης (αντίστροφη ζεύξη) χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ των 824-849 MHz, ενώ ο σταθμός βάσης μεταδίδει στο κινητό (εμπρόσθια ζεύξη) χρησιμοποιώντας συχνότητες μεταξύ

869MHz και 894MHz. Η ταχύτητα δεδομένων του AMPS στο κανάλι ελέγχου είναι 10kbps.

Το ETACS (European Total Access Communication System) αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 80' και είναι σχεδόν πανομοιότυπο με το AMPS, εκτός από το ότι κλιμακώνεται για να χωρέσει σε κανάλια των 25 KHz που χρησιμοποιούνται σε όλη την Ευρώπη. Μια άλλη διαφορά μεταξύ AMPS & ETACS είναι το πώς έχει διαμορφωθεί ο αριθμός τηλεφώνου του κάθε συνδρομητή (που ονομάζεται ο αριθμός αναγνώρισης κινητού), λόγω της ανάγκης να φιλοξενήσουν διαφορετικούς κωδικούς ανά χώρα σε ολόκληρη την Ευρώπη, σε αντίθεση με τους κωδικούς των Η.Π.Α. [2, 5].

1.1.2. 2ης Γενιάς GSM

2G (ή 2-G) αναφέρεται στην δεύτερη γενιά της ασύρματης τηλεφωνικής τεχνολογίας. Η κύρια διαφορά των δύο συστημάτων (1G-2G), είναι ότι τα ραδιοκύματα που χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα 1G είναι αναλογικά, ενώ στα δίκτυα 2G τα ραδιοκύματα που χρησιμοποιούνται είναι ψηφιακά.



Σχ1. Γραφική αναπαράσταση ψηφιακού σήματος.

Τα δεύτερης γενιάς (2G) δίκτυα είναι τα πρώτα ψηφιακά κυψελωτά συστήματα που πρωτοεμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η ανάπτυξη των συστημάτων αυτών βασίστηκε στη χρήση ψηφιακών επεξεργαστών σημάτων, καθώς και μία σειρά από επεκτάσεις των αλγορίθμων συμπίεσης, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας μετάδοσης και την αύξηση της χωρητικότητας συστήματος και της περιοχής κάλυψης. Με τα συστήματα 2^{ης} γενιάς σημειώθηκε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα φωνής, καθώς η

ψηφιακά κωδικοποιημένη πληροφορία υπόκειται σε ασθενέστερη παραμόρφωση σε σχέση με την αναλογική πληροφορία, ενώ παράλληλα έγινε δυνατή η χρήση πολυπλεξίας με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο, με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας.

Η δεύτερη γενιά δικτύων παρέχει στους χρήστες την δυνατότητα περιαγωγής, προσφέροντας τους τη μη ασυνεχή επικοινωνία ανεξαρτήτου της τοποθεσίας στην οποία βρίσκονται. Η δυνατότητα περιαγωγής έγινε ο πρόδρομος για την ανάπτυξη πολλών εφαρμογών. Η ικανότητα όμως υποστήριξης υπηρεσιών δεδομένων είναι περιορισμένη στα δεύτερης γενιάς δίκτυα (2G). Η ανάγκη για υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων οδήγησε στην εισαγωγή των συστημάτων (General Packet Radio Service) GPRS και EDGE, δύο συστημάτων που ανήκουν στη χρονική περίοδο ανάμεσα στη δεύτερη γενιά (2G) και την αμέσως επόμενη γενιά.

Η δεύτερη γενιά ασύρματης κινητής τεχνολογίας 2G ξεκίνησε το 1991 με μια ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων 9,6 k bit / s. Το 1999, στο πρότυπο GSM έχει ενσωματωθεί, το πρότυπο GPRS (θεωρείται ως ενδιάμεση γενιά-2.5G), η οποία παρέχει Internet με μεγαλύτερη ταχύτητα.

1.1.3. 3ης Γενιάς GSM

Η τρίτη γενιά δικτύων βασίζεται σε ένα σύνολο προτύπων που χρησιμοποιούνται για τις κινητές συσκευές και για τη κινητή τηλεφωνία. Ο ερχομός των δικτύων 3ης γενιάς, άνοιξε το δρόμο για την εμφάνιση ακόμα περισσότερων υπηρεσιών, που κανένα από τα προηγούμενα πρότυπα δεν μπορούσε να προσφέρει. Με ταχύτητες επιπέδου Megabit κάποιος που έχει πρόσβαση σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να πλοηγηθεί στο Διαδίκτυο, να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας υπηρεσία (VoIP), και άλλα. Η τεχνολογία 3G είναι το αποτέλεσμα των εργασιών έρευνας και ανάπτυξης που πραγματοποιούνται από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) στις αρχές του 1980. Προδιαγραφές και πρότυπα 3G αναπτύχθηκαν σε δεκαπέντε χρόνια. Οι τεχνικές προδιαγραφές διατέθηκαν στο κοινό με την επωνυμία IMT-2000. Το φάσμα επικοινωνίας που διατέθηκε για το 3G ήταν μεταξύ 400MHz έως 3GHz. Το πρώτο προ-εμπορικό δίκτυο 3G ξεκίνησε από την NTT Docomo στην Ιαπωνία το 1998, επώνυμο ως FOMA. Στα πλαίσια της εξέλιξης των ήδη υπάρχοντων δικτύων 2ης γενιάς, προέκυψαν το πρότυπο CDMA2000 σαν συνέχεια του CDMA και το Wide band-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) σαν συνέχεια των GSM, IS-136 και PDC. Το W-CDMA είναι ένα πρότυπο το οποίο έχει επηρεαστεί από τον τρόπο λειτουργίας του GSM. Βασικός σκοπός της ανάπτυξης των κινητών δικτύων 3ης γενιάς είναι η παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε και οποτεδήποτε.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες που συνδυάζουν εικόνα και ήχο (multimedia) με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Τα

συστήματα που έχουν επικρατήσει έως τώρα είναι τα UMTS στην Ευρώπη, CDMA2000 στην Βόρεια Αμερική και το NTT Docomo στην Ιαπωνία.

Το εύρος ζώνης και οι πληροφορίες τοποθεσίας που είναι διαθέσιμες για συσκευές 3G δημιουργούν εφαρμογές που δεν ήταν διαθέσιμες στους χρήστες κινητών των προηγούμενων χρόνων για παράδειγμα:

- Global Positioning System (GPS)
- location-based services
- Mobile TV
- Τηλεϊατρική
- Video Conferencing
- Video on demand

Παρόλα αυτά δεν άφησε πλήρως ικανοποιημένους τους ειδικούς αλλά ούτε και τους χρήστες.

1.1.4. 4ης Γενιάς GSM

3GPP Long Term Evolution, ή απλώς **LTE** ονομάζεται η τεχνολογία αιχμής που χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση των κινητών συσκευών, με υψηλές ταχύτητες. Βασίζεται στα προϋπάρχοντα δίκτυα **GSM/EDGE** και **UMTS/HSPA**, αυξάνοντας τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα του δικτύου χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης.

Το πρότυπο αυτό αναπτύσσεται από τον οργανισμό 3GPP. Το πρώτο δημόσιο δίκτυο LTE, ήταν στο Όσλο και τη Στοκχόλμη από την εταιρεία TeliaSonera στις 14 Δεκεμβρίου 2009. Το LTE αποτελεί τη φυσική εξέλιξη των δικτύων GSM/UMTS, αλλά ακόμα και πάροχοι CDMA (όπως η Verizon στη Βόρεια Αμερική και η KDDI στην Ιαπωνία) έχουν υιοθετήσει το LTE. Έτσι, οι δημιουργοί του LTE φιλοδοξούν να αποτελέσει το πρώτο πραγματικά πρότυπο κινητής τηλεφωνίας.

Παρόλο που αναφέρεται ως σύστημα 4ης γενιάς κινητής τηλεφωνίας (4G) αυτό δεν ισχύει καθώς δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU-R. Γι'αυτό το λόγο, το LTE αναβαθμίστηκε σε LTE Advanced για να πληροί τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρείται σύστημα 4G.

Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS. Ο

στόχος του LTE είναι να αυξήσει τη χωρητικότητα και την ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων με την χρησιμοποίηση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος. Λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνοτήτων καθώς η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα υφιστάμενα δίκτυα 2ης και 3ης γενιάς.

Το LTE προτάθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία το 2004. Το πρότυπο οριστικοποιήθηκε το 2008. Τα πρώτα εμπορικά διαθέσιμα LTE smart phone ήταν το Samsung Galaxy Indulge (από τη MetroPCS) και HTC Thunderbolt για την αγορά της Βόρειο Αμερικής.

Αρχικώς, οι διαχειριστές των δικτύων CDMA είχαν σχεδιάσει να αναβαθμίσουν τα συστήματα τους σε μια ανταγωνιστική τεχνολογία ονόματι UMB, ωστόσο όλες οι μεγάλες εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αποφάσισαν να συνεχίσουν με το LTE. Η εξέλιξη του είναι το LTE Advanced, το οποίο προ τυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011.

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (down link) της τάξης των 300Mbps και στην ανοδική (up link) μέχρι 75 Mbps. Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1.4 έως τα 20 MHz και υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD). Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το Evolved Packet Core (EPC), το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής ακόμα και σε δίκτυα με παλαιότερη τεχνολογία (GSM, UMTS, CDMA2000). Η απλούστερη αρχιτεκτονική αποσκοπεί σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ LTE

- Ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στη καθοδική ζεύξη έως και 299.6 Mbps και στην ανοδική έως και 75.4 Mbps, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει ο εξοπλισμός του χρήστη. Έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες ή κλάσεις τερματικών συσκευών. Η πιο χαμηλή υποστηρίζει μόνο απλή τηλεφωνία ενώ η μεγαλύτερη (η οποία απευθύνεται σε τερματικές συσκευές υψηλών προδιαγραφών) υποστηρίζει τις μέγιστες δυνατές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Όλες οι τερματικές συσκευές είναι ικανές να επεξεργαστούν σήμα εύρους ζώνης 20 MHz.
- Χαμηλές καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά δεδομένων (καθυστέρηση IP πακέτων κάτω από 5 ms).
- Βελτιωμένη υποστήριξη για κινητές συσκευές ακόμη και αν αυτές κινούνται με ταχύτητες μέχρι και 500 χλμ/ώρα ανάλογα και με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται.
- Χρησιμοποίηση διαμόρφωσης OFDMA για τη καθοδική ζεύξη και SC-FDMA για τη ανοδική.
- Υποστήριξη διπλεξίας τόσο στο χρόνο όσο και στη συχνότητα (TDD, FDD) όπως

επίσης και ημιαμφίδρομη FDD με την ίδια τεχνολογία πρόσβασης.

- Βελτιωμένη φασματική ευελιξία: προτυποποίηση καναλιών στα 1.4 MHz, 3 MHz, 5MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.
- Υποστήριξη κυψελών μεταβλητού μεγέθους από μερικές δεκάδες μέτρα έως και 100 χλμ. Το ιδανικό μέγεθος κυψέλης στις αγροτικές περιοχές (στις οποίες χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες) είναι στα 5 χλμ, με μέγεθος 30 χλμ η απόδοση είναι αρκετά καλή ενώ με μέγεθος 100 χλμ η απόδοση του δικτύου είναι ικανοποιητική. Σε αστικά περιβάλλοντα και γενικότερα σε περιβάλλοντα πόλεων χρησιμοποιούνται υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες πρόσβασης. Σε αυτή τη περίπτωση κάθε κυψέλη έχει μέγεθος το πολύ 1 χλμ.
- Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.
- Υποστήριξη τουλάχιστον 200 ενεργών συνδέσεων δεδομένων σε κάθε κανάλι, συχνότητας 5 MHz.
- Υποστήριξη διαλειτουργικότητας και συνύπαρξη με παλαιότερα πρότυπα (πχ: GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000). Οι χρήστες θα μπορούν να πραγματοποιούν μια τηλεφωνική συνομιλία ή σύνδεση δεδομένων σε μια περιοχή με κάλυψη LTE και θα μπορούν να συνεχίσουν τη σύνδεση τους χωρίς πρόβλημα ακόμα και σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE, χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο.
- Ραδιοεπικοινωνιακό δίκτυο μεταγωγής πακέτων.
- Υποστήριξη υπηρεσιών όπως μετάδοση τηλεοπτικού προγράμματος στις κινητές συσκευές με τη χρήση των υποδομών του δικτύου LTE, αποτελώντας επίσης και άμεσο ανταγωνιστή του προτύπου DVB-H.

Όσο αφορά τις τηλεφωνικές κλήσεις το πρότυπο του LTE υποστηρίζει μεταγωγή πακέτων, αφού η δομή του βασίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου IP. Οι τηλεφωνικές κλήσεις που πραγματοποιούνται στα δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 αποτελούν μεταγωγή κυκλώματος. Έτσι οι πάροχοι θα πρέπει να επαναπροσδιορίσουν τη λειτουργία του δικτύου κατά τη πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων. Πάνω όμως σε αυτό το θέμα αναπτύχθηκαν εναλλακτικές επιλογές. Αρχικά, οι χρηματοδότες του εγχειρήματος του LTE, προώθησαν το VoLTE (Voice over LTE). Ωστόσο, η έλλειψη στην υποστήριξη εφαρμογών τόσο στις τερματικές συσκευές όσο και στις συσκευές του πυρήνα του δικτύου οδήγησαν ορισμένους παρόχους στην προώθηση του VoLGA (Voice over LTE Generic Access) ως μια ενδιάμεση λύση. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες αρχές στις οποίες βασίστηκε το GAN (Generic Access Network), το οποίο καθορίζει τα πρωτόκολλα μέσω των οποίων ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να πραγματοποιεί τηλεφωνικές κλήσεις χρησιμοποιώντας μια ιδιωτική σύνδεση στο Διαδίκτυο, συνήθως μέσω ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Η ανάγκη όμως για την άμεση και ομαλή πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων, οδήγησε τους πάροχους LTE στην εισαγωγή του CSFB (Circuit Switched Fall Back) ως μια προσωρινή λύση. Με αυτό τον μηχανισμό, οι συσκευές LTE θα διεκπεραιώνουν τη κλήση

μέσω των δικτύων 2G ή 3G για όσο διαρκεί η κλήση.

ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΕΝΑΣ ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ (1) ΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ
ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

Χαρακτηριστικό	NMT	GSM	UMTS (3GSM)	IS-95 (CDMA)	IS-2000 (CDMA 2000)	LTE
Τεχνολογία	FDMA	TDMA & FDMA	W-CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA
Γενιά	1G	2G	3G	2G	3G	4G
Κωδικοποίηση	Αναλογι κό	Ψηφιακό	Ψηφιακό	Ψηφιακό	Ψηφιακό	Ψηφιακό
Έτος 1ης χρήσης	1981	1991	2001	1995	2000/2002	2009
Περιοχή	Σκανδινα βικές χώρες άλλες ευρωπαϊ κές χώρες	Σε όλο τον κόσμο εκτός την Ιαπωνία και την Νότια Κορέα	Παγκόσμιος	Περιορισμέν ος	Περιορισμέν ος	Περιορισ μένος
Ποιότητα σήματος/ περιοχή κάλυψης	Καλή κάλυψη λόγω χαμηλών συχνότη των	Καλή κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους 850/900MHz 35 km hard limit	Μικρότερα κύτταρα σε εσωτερικούς χώρους 2100 Mhz. Ισοδύναμη κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους (ανώτερη σειρά από GSM 850/900 MHz	Απεριόριστο μέγεθος κυψέλης, χαμηλής ισχύος πομπός επιτρέπει μεγάλα κύτταρα	Απεριόριστο μέγεθος κυψέλης, χαμηλής ισχύος πομπός επιτρέπει μεγάλα κύτταρα	
Χρησιμοποίηση της συχνότητας/πυκνότη τα Call	Πολύ χαμηλής πυκνότη τας	0,2MHz =8 χρονοθυρίδε ς Κάθε χρονική στιγμή μπορεί να κρατήσει μέχρι και 2 κλήσεις	5MHz=2Mbit/ s.42Mbit/s για HSPA+ Κάθε κλήση χρησιμοποιεί 1,8-12kbit/s, ανάλογα με την επιλεγμένη ποιότητα ήχου	Κάτω από το CDMA- 2000	1.228MHz= 3Mbit/s	

1.2. ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ

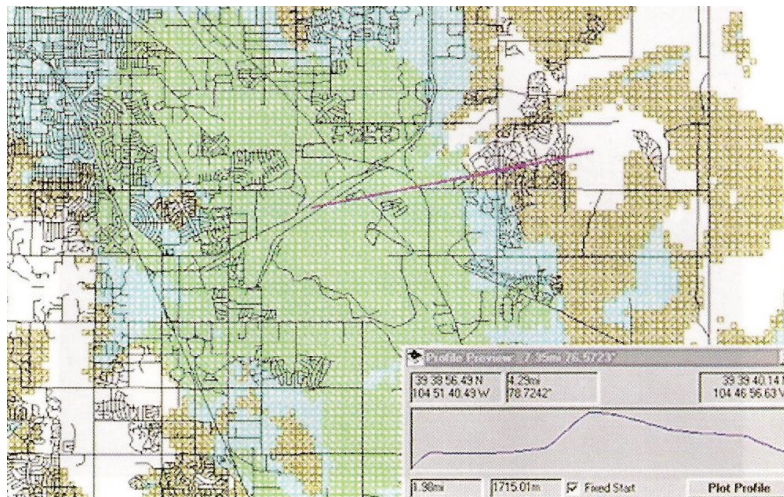


1.2.1 Ο Κυτταρικός σχεδιασμός και η κυτταρική κάλυψη

Ο σχεδιασμός του ράδιο-δικτύου ενός κυτταρικού συστήματος κινητής τηλεφωνίας βασίζεται στη βασική θεμελιώδη έννοια της κυτταρικής κάλυψης. “Κύτταρο ή Κυψέλη ονομάζουμε τη γεωγραφική περιοχή η οποία καλύπτεται νοητά από Η/Μ ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από μία κεραία του σταθμού βάσης, και η οποία περιοχί οριοθετείται από ένα κατώφλι στάθμης ισχύος”.

Η δομή της κυτταρικής κάλυψης είναι μία βασική παράμετρος στον υπολογισμό του δικτύου, καθότι περιλαμβάνει το μεγαλύτερο γεωγραφικό χώρο και την ουσιαστικότερη διαδικασία της εισαγωγής του συνδρομητή στο δίκτυο μέσω ασυρμάτου πρόσβασης.

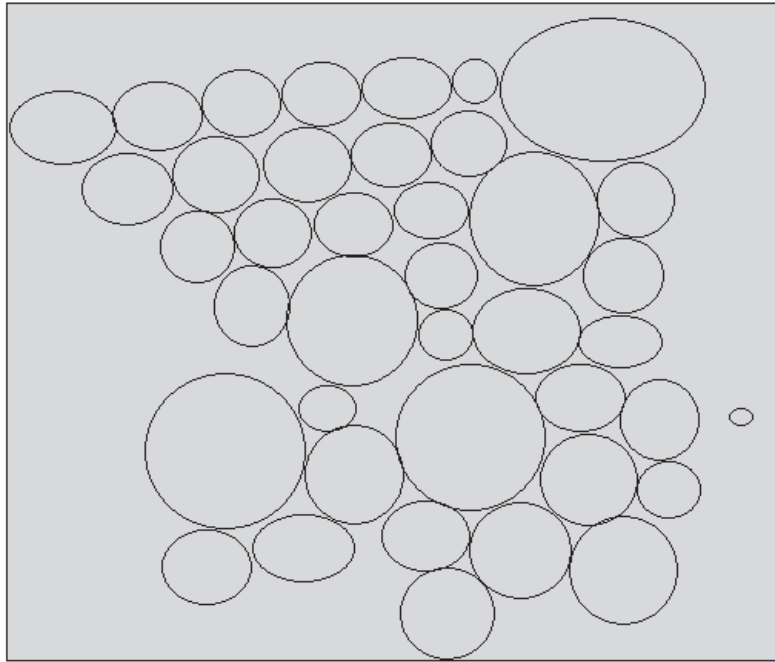
Η κεραία ενός σταθμού βάσης εκπέμπει στον αέρα Η/Μ ακτινοβολία σε μία συχνότητα εντός της επιτρεπόμενης μπάνας συχνότητάς. Η ακτινοβολία αυτή διαδίδεται στο γεωγραφικό ανάγλυφο ακολουθώντας όλα τα φυσικά (λόφοι, δέντρα, δάση κτλπ) και τα τεχνητά εμπόδια (κτίρια) βάσει των βασικών φαινομένων της κυματικής θεωρίας όπως διάθλαση, ανάκλαση, περίθλαση, απόσβεση κτλπ. Η μορφή ενός κυττάρου δεν έχει κάποιο συγκεκριμένο γεωμετρικό σχήμα αλλά έχει μια άμορφη δομή στο χώρο. (Εικόνα 1.2.1.1)



Εικόνα 1.2.1.1

“ Παρουσίαση πραγματικής δομής ενός κυττάρου (χρώμα πράσινο) σε μια γεωγραφική κάλυψη”.

Παρόλα αυτά όταν οι μηχανική του δικτύου σχεδιάζουν στο χαρτί την Η/Μ κάλυψη δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τέτοια άμορφα σχήματα. Έτσι χρησιμοποιούνται δομές όπως κύκλοι, τετράγωνα ή εξάγωνα για να σχεδιάσουν την κάλυψη σε μία γεωγραφική περιοχή στο χάρτη, δομές οι οποίες ουδεμία σχέση έχουν με την πραγματικότητα, αλλά είναι εύρηστες στον απλό σχεδιασμό.



Σχήμα 1.2.1.2

“Παρουσίαση γεωγραφικής κάλυψης περιοχής με κύτταρα σχήματος κύκλου.

“Φαίνεται η αδυναμία πλήρους κάλυψης”.

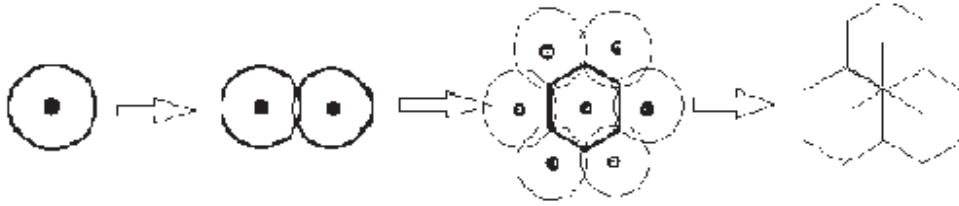
Αξίζει να αναφερθεί ότι η κεραία (το όλο Κεραιοσύστημα συμπεριλαμβανομένου και του πυλώνα πάκτωσης) και ο σταθμός βάσης είναι συνήθως διακριτά. Αυτό συμβαίνει συνήθως στα macro κύτταρα, στα micro κύτταρα και εν γένει στα mini κύτταρα, όπου θέλουμε να έχουμε τη δυνατότητα ράδιο-κάλυψης σε σημεία στα οποία δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε και το μηχάνημα του σταθμού βάσης. Τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν όταν θέλουμε να βάλουμε τις κεραίες πακτωμένες σε μπαλκόνια ή τοίχους κτιρίων εντός πόλης ή σε υψηλά σημεία (λόφοι, βουνά) και προφανώς δεν είναι δυνατόν να πακτώσουμε αντιστοίχως και τα μηχανήματα BTS τα οποία ζυγίζουν αρκετά κιλά.**(Εικόνα. 1.2.1.3)**



Εικόνα. 1.2.1.3

“Κεραιοσύστημα συμπεριλαμβανομένου και του πυλώνα πάκτωσης”

Στη θεωρία, για να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε και να μελετήσουμε την αρχιτεκτονική σχεδίαση κάλυψης μιας περιοχής, δεν μας ενδιαφέρουν τυχόν αποκλίσεις από ένα τέλειο σχήμα κυττάρου. Το πιο ιδανικό σχήμα ενός κυττάρου είναι το κανονικό εξάγωνο, διότι το κανονικό εξάγωνο είναι ένα γεωμετρικό σχήμα που καλύπτει πλήρως μία επιφάνεια χωρίς επικαλύψεις. Αντιθέτως ο κύκλος δεν είναι πρακτικό από σχεδιαστική άποψη, διότι υπάρχουν κενές περιοχές επικάλυψης, δηλ. Παρεμβολές. **(Σχήμα 1.2.1.4)**

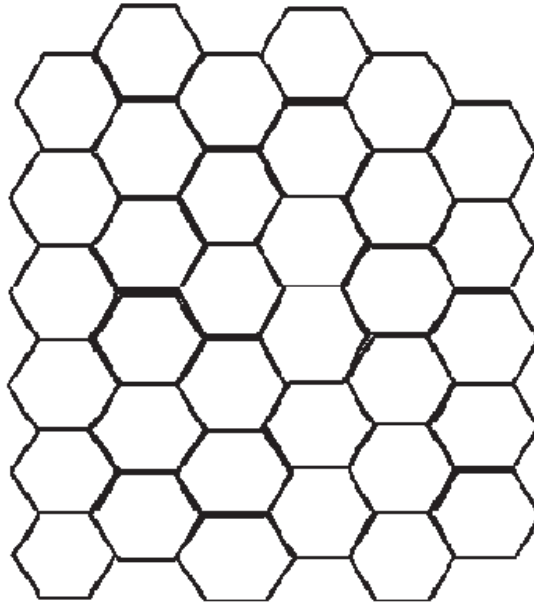


Σχήμα 1.2.1.4

“Η χρήση του εξαγώνου στο κυτταρικό σχεδιασμό”.

Επιλέγουμε το **κανονικό εξαγόνο** λόγω:

- Προσεγγίζουν καλά τον κύκλο
- Δεν εμφανίζουν κενά, ή επικαλυπτόμενες περιοχές
- Ο απαιτούμενος αριθμός σχημάτων για την κάλυψη μιας περιοχής είναι μικρότερος από τα τετράγωνα και κατά πολύ μικρότερος από τα ισόπλευρα τρίγωνα.



Σχήμα 1.2.1.5

Στο **σχήμα 1.2.1.5** δίδεται η μορφή κάλυψης με εξαγωνικά κύτταρα κατά το θεωρητικό σχεδιασμό του δικτύου. Σε αυτή την αρχιτεκτονική υπεισέρχεται η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων (frequency reuse) με απώτερο σκοπό την αύξηση της συνδρομητικής χωρητικότητας.

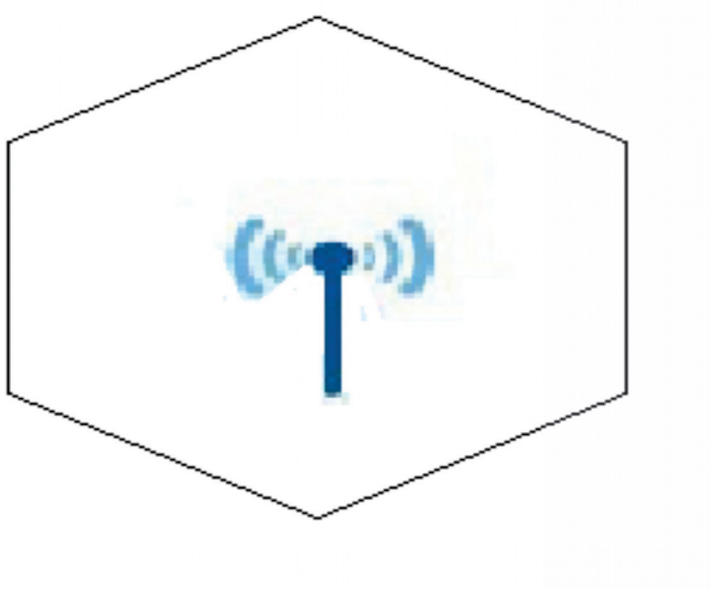
Η ηλεκτρομαγνητική κάλυψη επιτυγχάνεται με τη χρήση κεραιών, οι οποίες ενεργοποιούνται και ελέγχονται από τον σταθμό βάσης. Το διάγραμμα ακτινοβολίας των κεραιών αυτών είναι τέτοιο, ώστε να καλύπτουν με πολύ καλή προσέγγιση όλο το εμβαδόν του κυττάρου.

Οι κεραιές αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Παν-κατευθυντικές:
Οι παν-κατευθυντικές εξυπηρετούν κύτταρα μεγάλης εμβέλειας.
- Κατευθυντικές:

Οι κατευθυντικές εξυπηρετούν κύτταρα που χωρίζονται σε τομείς (sectors) για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένων τομέων στην γεωγραφική περιοχή κάλυψης του κυττάρου το οποίο ονομάζεται sectorised cell.

- **Omni directional cell:** Ένα παν-κατευθυντικό κύτταρο εξυπηρετείται από μία κεραία του σταθμού βάσης η οποία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου με την ίδια ισχύ (κάλυψη σε εμβέλεια 360⁰ μοιρών). **Σχήμα 1.2.1.6**

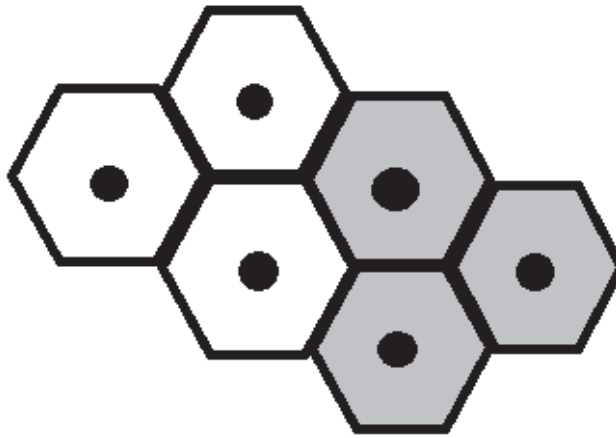


Σχήμα 1.2.1.6.

*Παρουσίαση κάλυψης περιοχής με **omni-directional antenna**. Πλήρης κάλυψη 360⁰.*

Η πρώτη ιδέα για τον σχεδιασμό μια κυτταρικής κάλυψης είναι να τοποθετούσαμε την κεραία στο κέντρο κάθε κυττάρου. Με αυτόν τον τρόπο θα υλοποιήσουμε την παν-κατευθυντική ιδέα κυτταρικής κάλυψης.

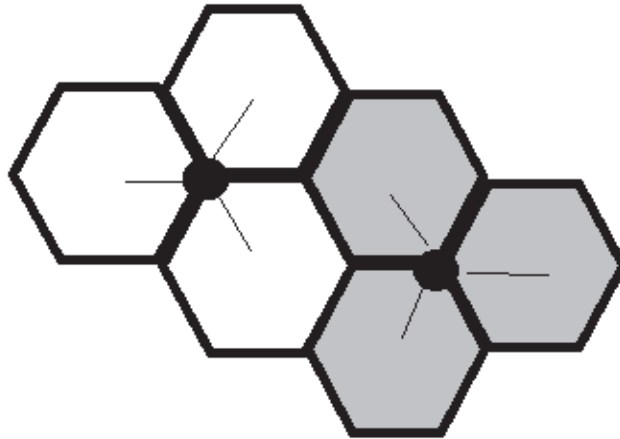
Είναι μια σχεδίαση με πολλά πλεονεκτήματα αφού οι σταθμοί βάσης βρίσκονται στο κέντρο του κυττάρου και καλύπτουν ομοιόμορφα την κυτταρική περιοχή. Η ισχύς κατανέμεται ομοιόμορφα στο κύτταρο και επομένως διευκολύνονται οι αλγόριθμοι βασικών λειτουργιών του δικτύου (όπως το Handover και το Location updating). Δίνει επίσης και ικανοποιητική πυκνότητα καναλιών για τους συνδρομητές. Προϋποθέτει δε, κεραίες παν-κατευθυντικές. **Σχήμα 1.2.1.7**



Σχήμα 1.2.1.7

*Περίπτωση κάλυψης με **omni-directional cells**. Με τη βούλα συμβολίζεται ο σταθμός βάσης*

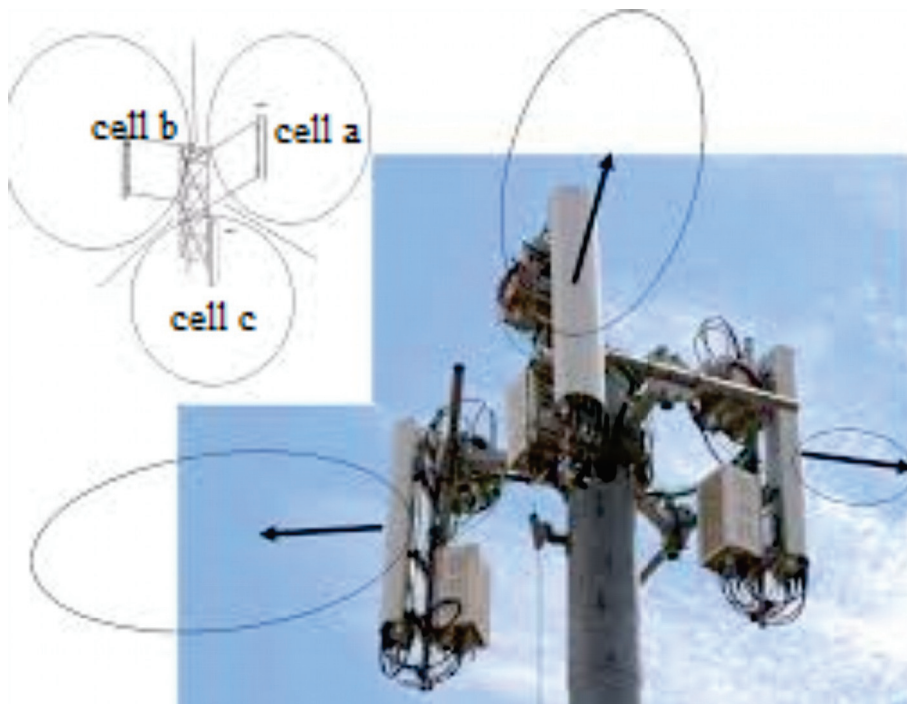
Μια εναλλακτική σχεδίαση είναι βάλουμε ένα σταθμό βάσης στην ένωση τριών κυττάρων. Σ' αυτή τη σχεδίαση φαίνεται η οικονομία που επιτυγχάνεται στον αριθμό των σταθμών βάσης στην ίδια περιοχή κάλυψης. Ο οικονομικός παράγοντας, είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες τον οποίο πρέπει να λάβει υπόψιν ο σχεδιαστής του δικτύου. Βέβαια δεν είναι ο κυριότερος παράγοντας, αλλά πρέπει να συνυπολογιστεί με άλλους παράγοντες όπως είναι η ποιότητα σήματος, η παροχή υπηρεσιών, η πυκνότητα των συνδρομητών και η συμφόρηση καναλιών ομιλίας και σηματοδοσίας στον αέρα.**Σχήμα 1.2.1.8**



Σχήμα 1.2.1.8

*Κυτταρική ιδέα με ένα σταθμό βάσης στην κορυφή κάθε τριάδας κυττάρων,
(χρησιμοποιώντας sectorized cells 120°).*

- **Sector cell:** Ένα κύτταρο με κατευθυντική κεραία κάλυψης αποτελείται από μια κεραία η οποία εκπέμπει σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση έχοντας ένα εύρος λοβού ενίοτε 120°. Το εύρος του λοβού είναι συσχετιζόμενο με τον αριθμό των κυττάρων το οποίο θα θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε για να καλύψουμε περιμετρικά 360° τη γεωγραφική περιοχή. Πχ: Εάν χρησιμοποιήσουμε κεραίες με εύρος λοβού 60° μοιρών θα χρειαστούμε 6 κεραίες για κάλυψη όλου του χώρου ($6 \times 60^\circ = 360^\circ$), με εύρος 120° θα χρειαστούμε 3 κεραίες και ούτω καθεξής. **Σχήμα 1.2.1.9.**



Σχήμα 1.2.1.9

Κάλυψη περιοχής με τη χρήση τριών κυττάρων.

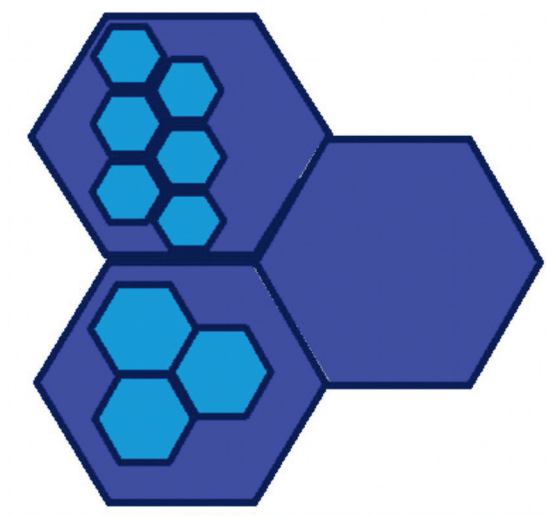
Εν κατακλείδι η καλύτερη λύση σχεδίασης για την κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής θα ήταν ένας συμβιβασμός ανάμεσα της 1ης σχεδίασης και της 2ης σχεδίασης. Αυτό συμβαίνει διότι στην πραγματικότητα, η γεωγραφική περιοχή κάλυψης δεν έχει στάσιμο πληθυσμό. Σε μια μεγάλη πόλη, όπου κάθε μέρα συμβαίνουν πληθυσμιακές μετακινήσεις, το μοντέλο κάλυψης δεν μπορεί να είναι στάσιμο, αλλά προσαρμοζόμενο στα δεδομένα. Επομένως σε μια τέτοια περιοχή ο μικτός τρόπος κάλυψης δηλαδή ο συνδυασμός και των δύο τρόπων που προαναφέρθηκαν θα ήταν η καλύτερη επιλογή. Επίσης όταν ξεκινάμε να καλύψουμε μια περιοχή με ραδιοσταθμούς, συμβουλευόμαστε μετρήσεις κίνησης ή αν δεν υπάρχουν υπολογίζουμε περίπου τον αριθμό των συνδρομητών που θα ζητήσουν τα κανάλια την ώρα αιχμής και μη. Με αυτόν τον τρόπο στήνουμε τους σταθμούς βάσης και αναλόγως βάζουμε έναν αριθμό πομποδεκτών ανά κύτταρο. Φροντίζουμε να μην βάζουμε τον μέγιστο αριθμό πομποδεκτών εξ'αρχής. Παρατηρούμε κάθε μέρα στατιστικές μετρήσεις από τους σταθμούς βάσης (κατάληψη καναλιών ομιλίας και σηματοδοσίας, εμφάνιση συμφόρησης, μετρήσεις σε handovers και σε σηματοδοσία location updating, αριθμό μη επιτυχημένων κλήσεων).

1.2.2 Κυτταρική διάσπαση

Στην περίπτωση που δεν μπορούμε να αυξήσουμε τον αριθμό των πομποδεκτών. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει ένα όριο πομποδεκτών που μπορεί να ελέγχει ένα κύτταρο το οποίο καθορίζεται από την αρχιτεκτονική του μηχανήματος. Επίσης η προσθήκη ενός πομποδέκτη σε ένα κύτταρο επηρεάζει το πλάνο συχνοτήτων της περιοχής.

Η λύση του προβλήματος, βασίζεται στη ιδέα της κυτταρικής διάσπασης που ήλθε για να βοηθήσει ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της συνεχόμενης χωρητικότητας, η οποία παρατηρείται κάθε μέρα και περισσότερο σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Στην περίπτωση που σε κάποια γεωγραφική περιοχή παρατηρείτε αύξηση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης και δεν υπάρχει άλλος τρόπος προκειμένου να αυξήσουμε την χωρητικότητα του σταθμού βάσης, (πρόσθεση επιπλέον πομποδεκτών λόγω περιορισμών στο hardware), διασπάμε το κύτταρο σε μικρότερα κύτταρα (δηλαδή καλύπτουμε την ίδια γεωγραφική περιοχή με περισσότερα μικρότερα κύτταρα), αυτό προϋποθέτει τον σωστό ορισμό των συχνοτήτων στην ίδια γεωγραφική περιοχή έτσι ώστε να μην έχουμε προβλήματα παρεμβολών.

Στην περιοχή που παρατηρείται το πρόβλημα, καταργούμε το κύτταρο που την εξυπηρετεί και ορίζουμε περισσότερα από ένα κύτταρα να την εξυπηρετούν. Με αυτό τον τρόπο αυξάνουμε τον αριθμό των διαθέσιμων πομποδεκτών (άρα και καναλιών) που εξυπηρετούν την ίδια περιοχή κατά nX , όπου n είναι ο αριθμός των νέων κυττάρων που εξυπηρετούν την ίδια περιοχή και a ο αριθμός των πομποδεκτών. Αυτή η ιδέα φαίνεται στο παρακάτω **σχήμα 1.2.2.1**

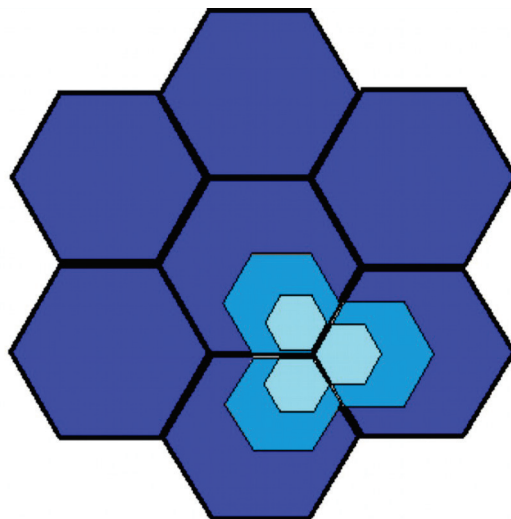


Σχήμα 1.2.2.1

Η κυτταρική διάσπαση και η επαύξηση της χωρητικότητας.

Στο σχήμα φαίνεται η ιδέα της κυτταρικής διάσπασης σε περίπτωση που θέλουμε προσωρινά να αυξήσουμε τη χωρητικότητα μιας περιοχής με την τοποθέτηση ενός προσωρινού BTS κεραιοσυστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ενός mobile BTS.

Στην περίπτωση όμως όπου δεν έχουμε την δυνατότητα να τοποθετήσουμε πολλά νέα BTS στην περιοχή λόγω περιορισμών οικιστικών ή νομικών, μπορούμε στον πυλώνα του ήδη υπάρχοντος BTS να τοποθετήσουμε και άλλες κεραιές δημιουργώντας έτσι επικαλυπτόμενα κύτταρα διαφορετικών μεγεθών για την αύξηση της χωρητικότητας. Αυτό είναι ένα παράδειγμα συνδυασμού cell splitting και capacity planning. Σε αυτή την περίπτωση χρειάζεται πολύ προσοχή στο σχεδιασμό των συχνοτήτων ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές. Στο **σχήμα 1.2.2.2** φαίνεται η ιδέα της κυτταρικής διάσπασης στον ίδιο πυλώνα με συνδυασμό επικαλυπτόμενων κυττάρων.



Σχήμα 1.2.2.2

Η κυτταρική διάσπαση σε συνδυασμό με επαύξηση χωρητικότητας επικαλυπτόμενων κυτταρικών περιοχών, (με την χρήση pico και micro cells).

1.2.3 Επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

Οι προϋποθέσεις για να έχουμε επιτυχημένη λειτουργία ενός κυτταρικού δικτύου είναι οι ακόλουθες:

- **Μεγάλη χωρητικότητα συνδρομητών.**
- **Συμβατότητα.** Το δίκτυο πρέπει να απαρτίζεται από μέρη τα οποία να είναι συμβατά σε Hardware και σε Software τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.
- **Κόστος, Ποιότητα επικοινωνίας και Προσαρμογή στη μεταβλητή πυκνότητας επικοινωνιακής κίνησης**

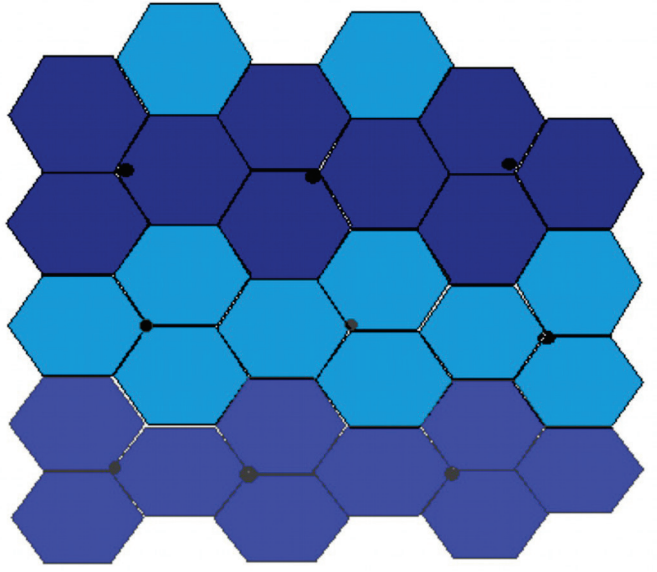
Η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης είναι πολύ βασική καθότι αναφέρεται στη δυνατότητα χρησιμοποίησης καναλιών τα οποία έχουν την ίδια συχνότητα, άλλα είναι καταχωρημένα σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές κάλυψης του δικτύου, με την μόνη προϋπόθεση να έχουν ικανοποιητική απόσταση μεταξύ τους έτσι ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία συγκαταλακικής παρεμβολής. Η ιδέα αυτή είχε εφαρμοστεί πολύ πριν την κινητή τηλεφωνία, στην τηλεόραση και στο ραδιόφωνο. Εκεί είχαμε την αναμετάδοση ενός ραδιοφωνικού ή τηλεοπτικού φορέα σε διαφορετικές συχνότητες για διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, μόνο που οι γεωγραφικές αποστάσεις ήταν μεγαλύτερες.

Με την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας καταφέρνουμε να έχουμε μικρό διαθέσιμο φάσμα, αφού όπως όλοι γνωρίζουμε το φάσμα στις μέρες μας είναι αρκετά περιορισμένο για καλύψουμε εκτενή γεωγραφική περιοχή.

Η διαδικασία του αλγόριθμου για την καταχώρηση του συνόλου συχνοτήτων, έχει ως εξής: *Έστω ότι έχουμε τον αριθμό N καναλιών και έστω ότι τα χωρίζουμε σε K ομάδες, τότε κάθε ομάδα θα περιέχει N/K κανάλια.* Επομένως μια μείωση του αριθμού των ομάδων των συχνοτήτων θα επιτρέψει σε κάθε σταθμό βάσης να μεταφέρει περισσότερη κίνηση. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι πλάνου επαναχρησιμοποίησης συχνότητας.

- $N=21, K=7$ άρα $N/K=3$
- $N=12, K=4$ άρα $N/K=3$
- $N=9, K=3$ άρα $N/K=3$

Παρατηρούμε ότι πάντα έχουμε τρία κανάλια ανά ομάδα. Αυτοί οι τρόποι οδηγούν στη δημιουργία πλάνων υπερκυττάρων (clusters) για την επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. **Σχήμα 1.2.3.1**



Σχήμα 1.2.3.1

Η επαναχρησιμοποίηση συχνότητας με τη χρήση των υπερκυττάρων (clusters) με βάση το μοντέλο κυττάρου 3/9

1.2.4 Συχνότητες Λειτουργίας

Η χρήση των διαφορετικών ζωνών συχνοτήτων μεταβάλλεται σε όλο τον κόσμο, αν και υπάρχει ένας μεγάλος βαθμός τυποποίησης. Οι διαθέσιμες συχνότητες GSM εξαρτώνται από τις κανονιστικές απαιτήσεις για τη συγκεκριμένη χώρα και τη περιοχή ITU (διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών), στην οποία βρίσκεται η χώρα.

Ως ένας πρόχειρος οδηγός η Ευρώπη τείνει να χρησιμοποιεί το GSM 900 και το GSM 1800 ως πρότυπες μπάντες συχνοτήτων.

1.2.4.1 GSM-900

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz.

Το GSM-900 χρησιμοποιεί 890-915 MHz για την αποστολή πληροφοριών από το Mobile Station στο σταθμό βάσης πομποδέκτη (uplink) και 935-960 MHz για την άλλη κατεύθυνση (downlink), παρέχοντας 124 κανάλια RF (αριθμοί καναλιών 1 έως 124) που απέχουν κατά 200 kHz. Η απόσταση αναμετάδοσης της επικοινωνίας που χρησιμοποιείται μεταξύ πομπού-δέκτη (duplex) είναι 45 MHz. Σε ορισμένες χώρες η μπάντα GSM-900 έχει επεκταθεί για να καλύψει ένα μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων. Αυτή η “εκτεταμένη GSM”, χρησιμοποιεί εύρος συχνοτήτων 880-915 MHz (uplink) και 925-960 MHz (downlink), προσθέτοντας 50 κανάλια (αριθμοί καναλιών 975-1023 και 0) στην αρχική GSM-900 MHz.

Οι προδιαγραφές GSM περιγράφουν επίσης το GSM Σιδηροδρόμων, (GSM-R), το οποίο χρησιμοποιεί φάσμα συχνοτήτων 876-915 MHz (uplink) και 921-960 MHz (downlink). Το GSM-R παρέχει επιπλέον κανάλια και εξειδικευμένες υπηρεσίες για χρήση από το προσωπικό των σιδηροδρόμων. Όλες αυτές οι παραλλαγές περιλαμβάνονται στην προδιαγραφή GSM-900.

1.2.4.2 GSM-1800

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα DSC-1800, στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM-900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων.

Το GSM-1800 χρησιμοποιεί 1710-1785 MHz για την αποστολή πληροφοριών από το Mobile Station στο σταθμό βάσης πομποδέκτη (uplink) και 1805-1880 MHz για την άλλη κατεύθυνση (downlink), παρέχοντας 374 κανάλια (αριθμοί καναλιών 512-885). Η απόσταση αναμετάδοσης της επικοινωνίας που χρησιμοποιείται μεταξύ πομπού-δέκτη (duplex) είναι 95 MHz.

Αυτή η αλλαγή στη ζώνη συχνοτήτων συνέβη διότι οι ζώνες του GSM-900 στην Ευρώπη ήταν πιασμένες από άλλους παροχείς κινητής τηλεφωνίας.

Σήμερα, όλες οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα (GSM-900/GSM-1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά την χωρητικότητα στα δίκτυα τους. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 η GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DSC (ψηφιακό κυψελωτό σύστημα) σε GSM-1800 για να φανεί η δυναμικότητα και παγκοσμιότητα του GSM.

1.2.5 Ρυθμός Μεταφοράς Δεδομένων

Στη γενιά 2.5G και 2.7G χρησιμοποιείται το τεχνολογικό πρότυπο GPRS (General Packet Radio Service) γενικά το πρότυπο αυτό επιτρέπει την ταχύτερη αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM, μέσω της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων. Το GPRS επιτρέπει την ταυτόχρονη χρήση περισσότερων του ενός χρονοθυρίδων ώστε η μεταφορά δεδομένων να μπορεί φτάσει θεωρητικά ως και τα $153.6 = 16 \times 9.6$ kbps για 16 χρονοθυρίδες ή $21.4 \times 8 = 171.2$ kbps για 8 χρονοθυρίδες.

Οι πόροι του δικτύου χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά γιατί οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται μόνο κατά την ώρα μετάδοσης και αποδεσμεύονται όταν τελειώνει η μετάδοση σε αντίθεση με την τεχνολογία CSD. Στη πράξη όμως το GPRS χρησιμοποιεί 3 με 4 χρονοθυρίδες για κατέβασμα και μια χρονοθυρίδα για ανέβασμα (μη συμμετρική σύνδεση).

Όσο για το πρότυπο EDGE που είναι μια ενδιάμεση μεταβατική τεχνολογία πριν το 3G, είναι ένα τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει στα δίκτυα 2G να έχουν τριπλάσια χωρητικότητα δικτύου με πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης για την παροχή υπηρεσιών 3G.

Το EDGE είναι μια αναβάθμιση του GPRS αλλά δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ενώ η αναβάθμιση και η εγκατάσταση του EDGE δεν απαιτεί την χρήση νέου εξοπλισμού από τις εταιρείες κινητής τηλεφωνίας αλλά την βελτίωση του ήδη υπάρχοντος.

Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας EDGE σε σχέση με το ήδη υπάρχον GSM δίκτυο, είναι η χρήση μιας διαφορετικής διαμόρφωσης των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται 8PSK (8 Phase Shift Keying modulation) επιτρέποντας τη μεταφορά 3 bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό του δικτύου. Η τεχνολογία που παρέχουν τα απλά δίκτυα GSM με υποστήριξη υπηρεσιών GPRS, χρησιμοποιεί τη μέθοδο GMSK (Gaussian pre-filtered Minimum Shift Keying) η οποία βασίζεται στη μέθοδο Gauss για την εκθετική μείωση των πιθανοτήτων λάθους κατά τη μεταφορά δεδομένων, αλλά επιτρέπει τη μεταφορά μόνο ενός bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό δικτύου.

Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται είναι 384 Kbps ή και 768 Kbps με στόχο όμως να φτάσει τα 2 Mbps. Επίσης το EDGE έχει την ικανότητα αναμετάδοσης ενός πακέτου πληροφοριών, που δεν κωδικοποιήθηκε σωστά, με ένα περισσότερο ισχυρό σχήμα κωδικοποίησης, ενώ στο GPRS τα πακέτα θα έπρεπε να αποστέλλονται με το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης ακόμη και αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αποτέλεσμα τις αποσυνδέσεις και τα προβλήματα, ιδιαίτερα σε περιοχές με αυξημένη ζήτηση.

	GPRS	EDGE
Διαμόρφωση	GMSK	8-PSK/GMSK
Symbol Rate	270 ksym/s	270 ksym/s
Modulation Bit Rate	270 kb/s	810 kb/s
Radio data rate per time slot	22,8 kb/s	69,2 kb/s
User data rate per time slot	20 kb/s (CS4)	59,2 kb/s (MCS9)
User data rate (8 time slots)	160 kb/s	473,6 kb/s

8PSK: 8 Phase shift keying, GMSK: Gaussian minimum shift keying
Σχεδιάγραμμα 1 Πηγή: Ericsson.com, Πίνακας: myPhone.gr

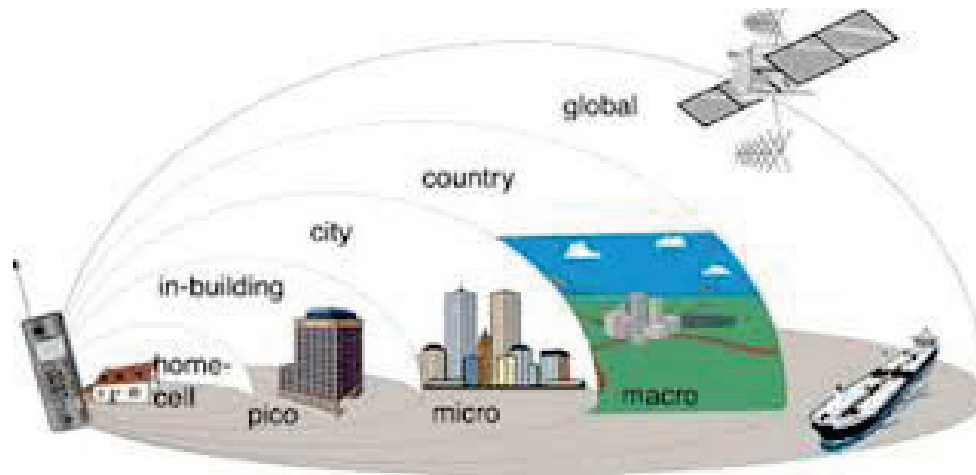
Σχήμα 1.2.5.1

Σημαντικά στοιχεία των δυο τεχνολογιών (GPRS/EDGE)

1.2.6 Είδη Κυψελών

Υπάρχουν 5 είδη Κυψελών για τη κάλυψη των επικοινωνιακών αναγκών.

- Pico cells: Χρησιμοποιούνται για την κάλυψη επικοινωνιακών αναγκών για αυτούς που κινούνται εντός κτιρίων και ειδικότερα αυτών που βρίσκονται μέσα σε τρένα, αεροπλάνα, πλοία και λεωφορεία. Η ακτίνα κάλυψης των κυττάρων είναι μικρότερη από 100m.
- Micro Cells: Χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες βρίσκονται και κινούνται σε κεντρικές περιοχές των πόλεων. Η μέγιστη ακτίνα κάλυψης αγγίζει το 1 Km, ενώ η ελάχιστη στα 100m.
- Macro Cells: Τα κύτταρα αυτά έχουν ελάχιστη τιμή ακτίνας κάλυψης 1 Km και η μέγιστη τιμή ακτίνας κάλυψης ανέρχεται στα 20 Km. Η δομή αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες κινούνται σε οδούς εκτός πόλεων καθώς και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
- Hyper Cells: Τα κύτταρα αυτά έχουν τιμή ακτίνας κάλυψης μεγαλύτερη από 20 Km και χρησιμοποιούνται για την επικοινωνιακή κάλυψη κινητών μονάδων οι οποίες βρίσκονται εντός επαρχιακών περιοχών.
- Overlay Cells: Τα κύτταρα αυτά έχουν ακτίνα κάλυψης η οποία φθάνει μέχρι και μερικές εκατοντάδες Km και χρησιμοποιούνται στη δορυφορική κινητή τηλεφωνία για να καλυφθούν επικοινωνιακά οι κινητές και οι φορητές μονάδες που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές.



Σχήμα 1.2.6.1 *Είδη κυψελών και επικοινωνιακής κάλυψης*

1.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ GSM



Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη:

1. Τον κινητό σταθμό (Mobile Station).
2. Το βασικό υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem, BSS).
3. Το υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NNS - Network Switching Subsystem).

1.3.1 Κινητός Σταθμός (MS)

Η κινητή μονάδα (MS) χρησιμοποιείται από έναν συνδρομητή για να επικοινωνήσει με το δίκτυο. Πολλά είδη (MS) υπάρχουν, κάθε ένα από αυτά δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δεχτεί ή να πραγματοποιήσει μια τηλεφωνική κλήση. Οι κατασκευαστές προσφέρουν μεγάλη ποικιλία από σχέδια και χαρακτηριστικά προκειμένου την κάλυψη των αναγκών. Η δυνατότητα επικοινωνίας ενός (MS), με τον σταθμό βάσης εξαρτάται από το κατασκευαστικό κατώφλι ισχύος λήψης (Signal Strength threshold, $S_{S_{th}}$) του MS το οποίο είναι της τάξεως του -105 dBm. Στο **Σχήμα 1.3.1.1** παρουσιάζεται μια κινητή συσκευή (MS).



Σχήμα 1.3.1.1

Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας (MS) είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και σε Αμερική είναι στα 1.6 Watt, οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

Μια κινητή συσκευή (MS) αποτελείται κατασκευαστικά από δύο κύρια μέρη:

1. Το μέρος του υπολογιστικού εξοπλισμού (microprocessor - mobile terminal MT).
2. Το τερματικό εξοπλισμό ο οποίος είναι βασισμένος στο κύκλωμα του πομπού και του

δέκτη (TRX- terminal equipment TE).

Σχεδόν πάντα μια κινητή μονάδα MS είναι μία μοναδική συσκευή χειρός η οποία αποτελείται από το MT και το TE. Όμως η αρχιτεκτονική ενός MS μπορεί να αποτελείται από ένα υπολογιστή (ο οποίος εκτελεί χρέη MT) συνδεδεμένος με μια απλή συσκευή τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού εκτελούσα χρέη TE.

1.3.2 Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BSS).

Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (Base Station Subsystem) διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά σαν αυτούς που βλέπουμε σε λόφους, ταράτσες πολυκατοικιών-εταιρειών-σχολείων-οργανισμών κτλ. Και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μία κυψέλη.

Το BSS χωρίζεται στο **Βασικό σταθμό πομπό-δέκτη, Base Transceiver Station (BTS)** και στο **βασικό σταθμό ελέγχου, Base Station Controller (BSC)**.

- **Σταθμός Βάσης (Base Transceiver Station - BTS).**

Ο σταθμός βάσης είναι μία από τις σημαντικότερες δομές στο ραδιοδίκτυο, καθότι υποστηρίζει το κεραιοσύστημα το οποίο υλοποιεί τα κύτταρα και την ασύρματη κάλυψη. Επομένως θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε με ακρίβεια ότι είναι υπεύθυνο για τη δυνατότητα διασύνδεσης του κινητού μας με το υπόλοιπο δίκτυο, δηλαδή με άλλα λόγια το BTS ελέγχει τη ράδιο επικοινωνία με το κινητό σταθμό (MS) στη διεπαφή αέρα. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραιές. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί να είναι από 40 W έως 500 W.

Όταν ένας χρήστης A θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή B, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημα του A για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή B στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του χρήστη A. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο συνδρομητής B και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Έπειτα, με τη χρήση διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του συνδρομητή B και έτσι μπορεί να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία του χρήστη A με τον συνδρομητή B. **Σχήμα 1.3.2.1**

Το πεδίο μιας GSM κεραιάς ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4.616 ή 9.232 m sec το καθένα, αυτά είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα-χρονοθυρίδες, διάρκειας 0.577 m sec η καθεμία (8X0.577 ή 16X0.577). Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί για μια τηλεφωνική κλήση από μια χρονοθυρίδα άρα ένα κανάλι

μπορεί να χρησιμοποιηθεί από 8 μέχρι 16 συνδρομητές. Οι 8 και η 16 χρονοθυρίδες που χωρίζονται σε ένα κανάλι αποκαλούνται πλαίσιο TDMA ενώ κάθε χρονοθυρίδα αντιστοιχεί σε 156 bits.



Σχήμα 1.3.2.1

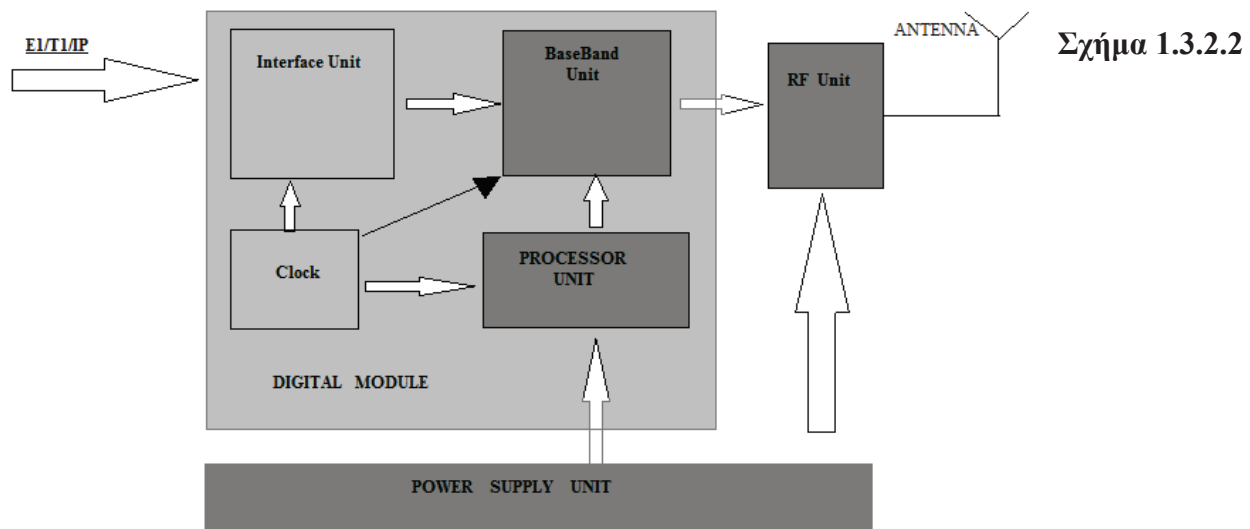
“Απεικόνιση μιας κλήσης μέσω κινητού (Mobile Station)”

Η λειτουργία BTS μπορεί να διαιρεθεί σε ακόλουθες περιοχές:

- Παροχή απαραίτητων ραδιοπόρων για τη διεκπεραίωση κλήσεων.
- Επεξεργασία σήματος πριν την μετάδοση στον αέρα.
- Διαχείριση συνδέσεων στις διεπαφές.
- Συγχρονισμός της διεπαφής αέρα στο ραδιοπλαίσιο καθώς και στη διεπαφή της PCM.

- Χειρισμός των συναγερμών και αποστολή στο BSC.

Στο παρακάτω σχήμα (1.3.2.2) παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική ενός BTS.



Σχήμα 1.3.2.2

- **Σταθμός Ελέγχου (Base Station Controller - BSC)**

Το επόμενο ουσιαστικό δομικό στοιχείο ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι ο ελεγκτής σταθμού βάσης (BSC). Το BSC ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο Κέντρο Μεταγωγής MSC (Mobile Switching Centre) ή MSS και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16 kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64 kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.

Οι κυριότερες λειτουργίες του BSC είναι οι ακόλουθες:

- **Έλεγχος του ραδιοδικτύου.** Δίνει τις σωστές παραμέτρους στα υπόλοιπα μέρη του ραδιοδικτύου (σταθμούς βάσεις BTS καθώς και στις φορητές συσκευές μέσω broadcasting από τους πομποδέκτες του δικτύου) φροντίζοντας για τη σωστή λειτουργία.
- **Σύνδεση του κινητού στο MSC.** Υπάρχουν διαδικασίες οι οποίες επιβάλουν τη μετάδοση μηνυμάτων μεταξύ κινητής μονάδος και MSC διαμέσου του BSC χωρίς να αναλυθούν από το ίδιο το BSC. Το MSC είναι δομημένο έτσι ώστε οι σταθμοί βάσης να μπορούν να συνδεθούν με αυτό. Επειδή τα κινητά τηλέφωνα συνδέονται με τους σταθμούς βάσης, όλες οι μορφές επικοινωνίας, είτε ανάμεσα σε δύο κινητά

τηλέφωνα ή μεταξύ ενός κινητού τηλεφώνου και ενός σταθερού τηλεφώνου ταξιδεύουν μέσα στο MSC. Καθώς τα κινητά τηλέφωνα κινούνται, είναι σημαντικό για την MSC να προσδιοριστεί η θέση τους προκειμένου την αποτελεσματική δρομολόγηση επικοινωνίας μεταξύ αυτών.

- **Έλεγχος του σταθμού βάσης.** Ελέγχει λειτουργικά τους σταθμούς βάσης BTS και συλλέγει όλα τα Alarms τα οποία και αποστέλλει στο OMC για περαιτέρω ανάλυση.
- **Έλεγχος του διακωδικοποιητή (Transcoder TC).** Ελέγχει το διακωδικοποιητή Transcoder - TC λειτουργικά (συλλέγει Alarms) και ουσιαστικά μέσω ενός καναλιού μετάδοσης και επικοινωνίας στη διεπαφή Abis με ρυθμό μετάδοσης 16 Kbps. Η διεπαφή αυτή υφίσταται μεταξύ του Σταθμού εκπομπής -Λήψης (BTS) και του Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC). Μεταφέρεται με τα TDM κυκλώματα. Καθήκον της διεπαφής αυτής είναι η μεταφορά των στοιχείων του συγχρονισμού από τον Ελεγκτήρα του Σταθμού Βάσης (BSC) στον Σταθμό Εκπομπής - Λήψης (BTS) και στην φορητή συσκευή. Το κανάλι μετάδοσης και επικοινωνίας είναι ένα timeslot, μέσω αυτού του timeslot μπορεί να ελέγχεται ο διακωδικοποιητής εκτελώντας διαδικασίες επανεκκίνησης, χειροκίνητης παύσης λειτουργίας (blocking), αλλαγής/αναβάθμισης έκδοσης λογισμικού εκ του μακρόθεν (remote software upgrade), αλλαγής έκδοσης διακωδικοποίησης.
- **Συγχρονισμός.** Χρησιμοποιεί ιεραρχικό συγχρονισμό, δηλαδή το MSC συγχρονίζει το BSC και αυτό με τη σειρά του συγχρονίζει τα BTS.
- **Σηματοδοσία.** Έχει ειδικό hardware υπό τη μορφή καρτών (plug-in units) το οποίο έχει εξειδικευμένο λογισμικό ώστε να μπορεί να συνθέτει και να διαβάζει μηνύματα σηματοδοσίας CCS#7 πρωτοκόλλων MTP layers 1-3 και BSSAP. Επίσης μεταφράζει αυτά τα μηνύματα σε αντίστοιχα LapD του Abis interface.
- **Έλεγχος κίνησης.** Κάθε ψηφιακό κέντρο τεχνολογίας SPC περιέχει στο λογισμικό συγκεκριμένους Counters οι οποίοι συλλέγουν στατιστικά στοιχεία για την κίνηση στους σταθμούς βάσης και στις PCM των διεπαφών. Με αυτό τον τρόπο ο μηχανικός σχεδιασμού και διαστασιοποίησης του δικτύου μπορεί να εξάγει πληροφορίες που αφορούν την επάρκεια σε χωρητικότητα των πομποδεκτών, των διεπαφών PCM και του hardware του Group switch του BSC κέντρου.

1.3.3 Υποσύστημα Δικτύου Μεταγωγής (NNS).

Το NNS (Network and Switching Subsystem) αποτελείται από δύο τμήματα (A) τα MSCs και το GMSC, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση των χρηστών και της επικοινωνίας μεταξύ τους και (B) ένα σύνολο βάσεων δεδομένων στις οποίες αποθηκεύονται

πληροφορίες, απαραίτητες για την εκτέλεση των λειτουργιών των MSCs. Ειδικότερα αποτελείται από:

1. Mobile Switching Center – MSC. Το MSC είναι το κεντρικό τμήμα του NSS. Παρέχει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για τη διαχείριση των χρηστών. Σε αυτές τις λειτουργίες περιλαμβάνονται η επικύρωση (authentication), η ενημέρωση του δικτύου σχετικά με τη τρέχουσα τοποθεσία του κάθε χρήστη (mobility management), η μεταβίβαση από κελί σε κελί (handover - μαζί με το BSC) και η δρομολόγηση των εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων. Σε ένα δίκτυο υπάρχουν πολλά MSCs, όπου κάθε ένα καλύπτει μια συγκεκριμένη περιοχή.

2. GMSC – Gateway MSC. Είναι το ίδιο με το MSC με τη μόνη διαφορά ότι παρέχει τη διασύνδεση για τα άλλα τηλεφωνικά δίκτυα, όπως ISDN, σταθερή τηλεφωνία, άλλα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (PLMN).

3. Βάσεις Δεδομένων. Στο NSS υπάρχουν τέσσερις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τα MSCs και συγκεκριμένα.

i) **HLR** (Home Location Register). Η HLR είναι η σημαντικότερη από τις βάσεις. Σε αυτή καταχωρούνται διοικητικές πληροφορίες σχετικά με **όλους τους χρήστες του δικτύου** και τη τρέχουσα τοποθεσία του κάθε χρήστη. Μια από τις διοικητικές πληροφορίες που καταχωρείται στην HLR είναι το IMSI, το οποίο χρησιμοποιείται για την αναγνώριση ενός χρήστη από το δίκτυο. Τα τρία πρώτα ψηφία του IMSI προσδιορίζουν το κωδικό χώρας (Mobile Country Code – MCC). Τα επόμενα δύο ψηφία προσδιορίζουν τον κωδικό δικτύου (Mobile Network Code - MNC) και τα επόμενα δέκα ψηφία χρησιμοποιούνται για τη **μοναδική** αναγνώριση του κάθε χρήστη από το δίκτυο. Το IMSI δεν έχει σχέση με τον τηλεφωνικό αριθμό.

Οι πληροφορίες που σχετίζονται με την τρέχουσα τοποθεσία του κάθε χρήστη χρησιμοποιούνται για τις λειτουργίες μεταβίβασης κλήσης (handover) και της δρομολόγησης των εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων. Συνήθως κάθε δίκτυο αποτελείται από μία μόνο HLR βάση δεδομένων.

ii) **VLR** (Visitor Location Register) Η κάθε VLR είναι συνδεδεμένη με ένα MSC και περιέχει επιλεγμένες διοικητικές πληροφορίες από την HLR, σχετικά με όλα τα Mss που βρίσκονται στην **περιοχή που ελέγχεται από το MSC** με το οποίο είναι συνδεδεμένη. Η VLR χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των κλήσεων και για τον έλεγχο των παρεχόμενων υπηρεσιών στους χρήστες. Υπάρχουν πολλές βάσεις VLR σε κάθε δίκτυο, μία για κάθε περιοχή.

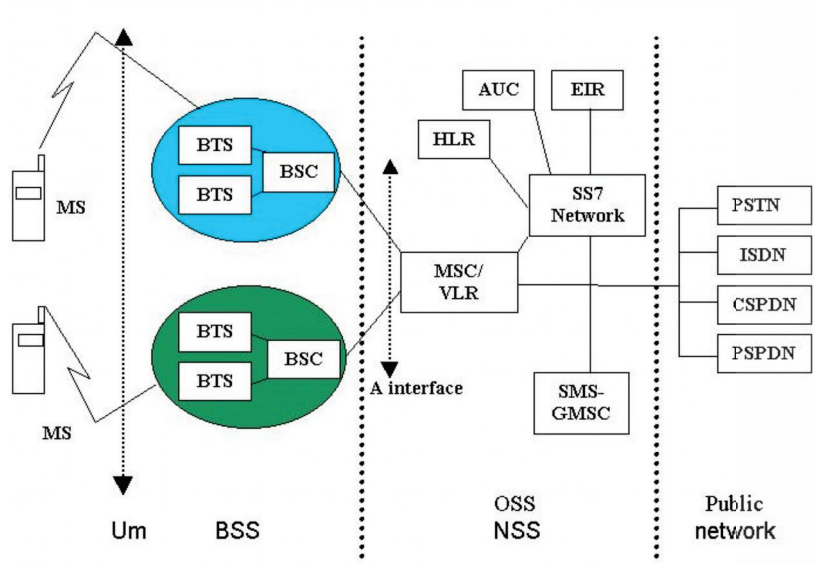
iii) **AuC** (Authentication Center). Η AuC περιέχει τις παραμέτρους εκείνες που χρειάζονται για την επικύρωση των χρηστών. Στη βάση αυτή περιέχονται αντίγραφα των μυστικών

κωδικών που βρίσκονται αποθηκευμένα στις κάρτες SIM των κινητών σταθμών των συνδρομητών. Ακόμη, περιέχει όλους του αλγορίθμους επικύρωσης και κρυπτογράφησης, οι οποίοι περιέχονται επίσης και στην κάρτα SIM.

iv) **EIR** (Equipment Identity Register). Η EIR είναι μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει μια λίστα με όλες τις κινητές συσκευές δικτύου. Όπως οι χρήστες, έτσι και οι κινητές συσκευές, έχουν η κάθε μία ένα μοναδικό αριθμό αναγνώρισης, ο οποίος καλείται IMEI (International Mobile Equipment Identity). Το IMEI μιας συσκευής θεωρείται άκυρο στην περίπτωση που αυτή έχει αναφερθεί ως κλεμμένη, ή εάν πρόκειται για μία συσκευή που δεν έχει εγκριθεί από το δίκτυο (π.χ. έχει πολύ μεγάλη ισχύς μετάδοσης).

Υποσύστημα Λειτουργιών και Διαχείρισης (Operation and Maintenance Center- OMC). Το κέντρο αυτό είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των μηνυμάτων ελέγχου που έρχονται από το δίκτυο. Επίσης ελέγχει το κυκλοφοριακό φορτίο στους σταθμούς βάσης ελέγχου και πομποδέκτη (BSC & BTS).

Στο παρακάτω σχήμα (1.3.3.1) απεικονίζεται η αρχιτεκτονική του GSM.



Σχήμα 1.3.3.1

1.3.4 Μονάδα Αναγνώρισης Συνδρομητή (SIM).

Η κινητή μονάδα (MS) περιλαμβάνει και μια φορητή βάση δεδομένων αποκαλούμενη SIM card (Subscriber Identification Module). Η SIM μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε κινητή συσκευή και είναι στην ουσία το μέρος της συσκευής η οποία και φέρει την ταυτότητα του συνδρομητή. Αυτό φέρνει ασφάλεια και μετακίνηση στο συνδρομητή. Μια SIM περιέχει πληροφορίες για το δίκτυο GSM. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να συσχετίζονται με τις υπηρεσίες του συνδρομητή, τις υπηρεσίες του δικτύου GSM ή του συγκεκριμένου operator (Υπηρεσίες PLMN). Οι πληροφορίες που αποθηκεύονται είναι οι ακόλουθες.

- Ταυτότητα κάρτας : Μοναδικές πληροφορίες πιστοποίησης της SIM.
- Πληροφορίες κλήσεων (π.χ. τελευταία κλήση, διάρκεια κλήσης, επιλογή PLMN κ.λ.π.)
- International Mobile Subscriber Identity (IMSI) : Αριθμός χρησιμοποιημένος εσωτερικά από το δίκτυο GSM για να πιστοποιήσει τη συνδρομή
- Πληροφορίες θέσης : Location Area Identity – Location Area Code (LAI-LAC).
- Κωδικούς ταυτοποίησης και απόκρυψης. Το GSM ορίζει έναν αριθμό ασφαλείας υποστηριζόμενος από τη SIM. Είναι:
 - Αλγόριθμος αυθεντικότητας, A_3 .
 - Κωδικός αυθεντικότητας συνδρομητή, K_i .
 - Κωδικοποιημένο κλειδί (K_c) και κωδικοποιημένο κλειδί αριθμού ακολουθίας, A_8 .
 - Κλειδιά κωδικοποίησης πληροφορίας στη διεπαφή αέρα (K_c).
- Λίστα συχνοτήτων BCCH γειτονικών κυττάρων (χρήση για handover και επιλογή κυττάρου εξυπηρέτησης σε αδρανή κατάσταση).
- Απαγορευμένα PLMN δίκτυα.
- Προτίμηση γλώσσας : Η προτίμηση γλώσσας συνδρομητών.
- Η τοποθεσία πληροφορίας, K_c και η συχνότητα K_c αριθμών μπορεί να αναβαθμιστεί με απαιτήσεις ασφαλείας.
- Προσωπικός κωδικός (PIN).
- Ένδειξη προσπαθειών λάθους πληκτρολόγησης PIN.

- Κωδικός απεμπλοκής PIN (PUK).
- Ένδειξη λάθους PUK.
- Κωδικός ταυτοποίησης συνδρομητικού κλειδιού (Ki).

Η χρήση της SIM κάρτας είναι πολύ βασική, διότι πέραν των δυνατοτήτων σχετικά με την αποθηκευτική δυνατότητα που παρουσιάζει, χρησιμοποιείται και σε αλγόριθμους ταυτοποίησης και προστασίας της κινητής μονάδας MS.

1.4 Τεχνολογίες Πολυπλεξίας και Σηματοδοσίας.

Στα ασύρματα συστήματα επικοινωνιών, είναι συχνά επιθυμητό να επιτρέπεται στο συνδρομητή να στείλει πληροφορίες στο σταθμό βάσεων, ενώ ταυτόχρονα να λαμβάνει πληροφορίες από το σταθμό βάσης. Για παράδειγμα στα συμβατικά τηλεφωνικά συστήματα, είναι δυνατό να μιλήσεις και να ακούσεις ταυτόχρονα, και αυτή η τεχνολογία, αποκαλούμενη duplexing, απαιτείται γενικά και στα ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα.

Η τεχνική Duplexing μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές φασματικής διαίρεσης ή χρονικού διαμερισμού. Η τεχνική φασματικής διαίρεσης Frequency Division Duplex (FDD) παρέχει δυο ξεχωριστές ζώνες συχνοτήτων για κάθε χρήστη. Η ζώνη της άνω ζεύξης η οποία καλείται και uplink παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας της φορητής μονάδας (MS) προς το σταθμό βάσης, ενώ η αντίστροφη ζώνη της κάτω ζεύξης, η οποία καλείται downlink παρέχει την δυνατότητα επικοινωνίας του σταθμού βάσης προς τη φορητή συσκευή (MS). **Σχήμα 1.4.1**

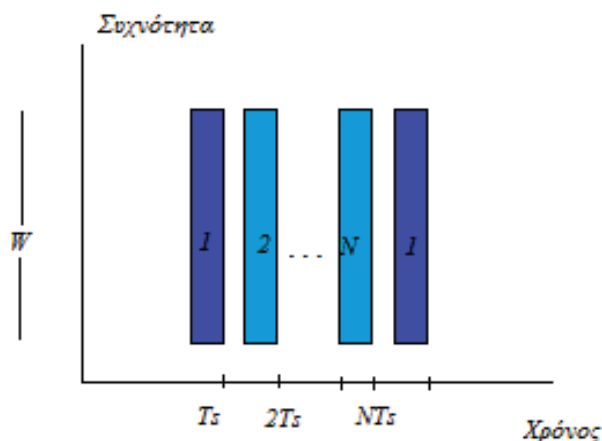


Σχήμα 1.4.1

1.4.1 Πολυπλεξία Χρόνου (TDMA).

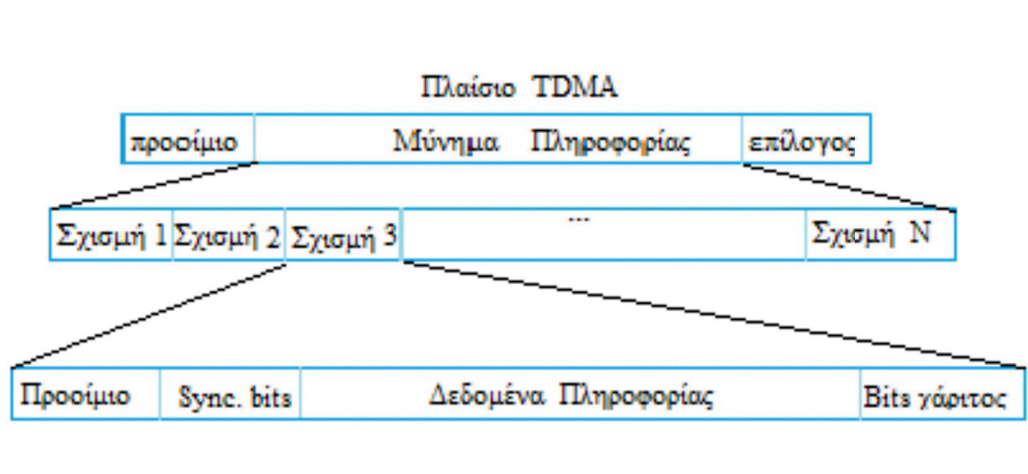
Τα συστήματα TDMA διαιρούν το ράδιο-φάσμα σε χρονικά τμήματα που αποκαλούνται χρονοθυρίδες και σε κάθε κομμάτι μόνο ένας χρήστης έχει την άδεια είτε να μεταδώσει είτε να λάβει πληροφορίες, όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.4.1.1.**, κάθε χρήστης καταλαμβάνει μια κυκλικά επαναλαμβανόμενη χρονοσχισμή που επαναλαμβάνεται σε κάθε πλαίσιο, μπορεί να θεωρηθεί ως διάυλος, δεδομένου ότι N χρονοσχισμές αποτελούν ένα πλαίσιο. Αυτή η χρονοσχισμή μπορεί να κρατηθεί από τον χρήστη μέχρι το τέλος της επικοινωνίας του. Η πολλαπλή πρόσβαση TDMA χρησιμοποιεί μια ενιαία συχνότητα για πολλούς χρήστες όπου κάθε χρήστης χρησιμοποιεί τα μη επικαλυπτόμενα χρονικά διαστήματα των χρονοθυρίδων. Ο αριθμός των χρονοθυρίδων ανά πλαίσιο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η τεχνική διαμόρφωσης, το διαθέσιμο πλάτος ζωνών, κτλ.

Τα περισσότερα συστήματα κινητής τηλεφωνίας 2G, βασίζονται σε Πολλαπλή Πρόσβαση με διαίρεση χρόνου (TDMA).



Σχήμα 1.4.1.1. TDMA.

Σε αντίθεση με τα συστήματα FDMA, όπου χρησιμοποιείται αναλογική μετάδοση FM, στα συστήματα TDMA χρησιμοποιούνται ψηφιακά δεδομένα και ψηφιακή διαμόρφωση. Οι μεταδιδόμενες πληροφορίες από διάφορους χρήστες πολυπλέκονται σε ένα επαναλαμβανόμενο πλαίσιο TDMA, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.4.1.2**. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από το προοίμιο (preamble), το μήνυμα πληροφορίας και τον επίλογο (trail bits). Στα συστήματα TDMA/TDD, οι μισές από τις χρονοσχισμές του μηνύματος πληροφορίας του πλαισίου χρησιμοποιούνται για διαύλους καθόδου και οι άλλες μισές για διαύλους ανόδου.



Σχήμα 1.4.1.2

Η TDMA χρησιμοποιεί διαφορετικές χρονοσχισμές για εκπομπή και λήψη με αποτέλεσμα να μην χρειάζονται αμφιδρομητές. Στα συστήματα TDMA, η χρονική περίοδος ασφαλείας μεταξύ των διαφόρων χρονοσχισμών και πλαισίων θα πρέπει να ελαχιστοποιείται. Αν όμως το μεταδιδόμενο σήμα στα άκρα μιας χρονοσχισμής κατασταλεί απότομα για να μειωθεί η χρονική περίοδος ασφαλείας, το μεταδιδόμενο φάσμα θα επεκταθεί και θα προκαλέσει παρεμβολές σε γειτονικούς διαύλους. Για το σκοπό αυτό, απαιτείται μεγάλη επιβάρυνση για μετάδοση πληροφορίας συγχρονισμού στα συστήματα TDMA.

Οι μεταδόσεις γίνονται σε χρονοσχισμές και απαιτείται οι δέκτες να συγχρονίζονται για κάθε ριπή δεδομένων. Επιπροσθέτως χρησιμοποιούνται οι χρόνοι ασφαλείας για να

διαχωρίζουν τους χρήστες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τα συστήματα TDMA να έχουν μεγαλύτερες επιβαρύνσεις για τη μετάδοση πληροφορίας σε σχέση με τα FDMA. Η TDMA έχει το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατό να διαθέτουν διαφορετικοί αριθμοί χρονοσχισμών ανά πλαίσιο στους διάφορους χρήστες. Έτσι, είναι δυνατό να διατεθεί στους διάφορους χρήστες εύρος ζώνης σύμφωνα με την αίτηση τους. Ο αριθμός των διαύλων, που μπορεί να παρέχει ένα σύστημα TDMA, βρίσκεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό m των σχισμών ανά ραδιοδιάυλο με τον αριθμό των διαθέσιμων ραδιοδιαύλων, σχέση **1.4**.

Όπου:

B_s : το συνολικό φάσμα το οποίο διατίθεται στο σύστημα.

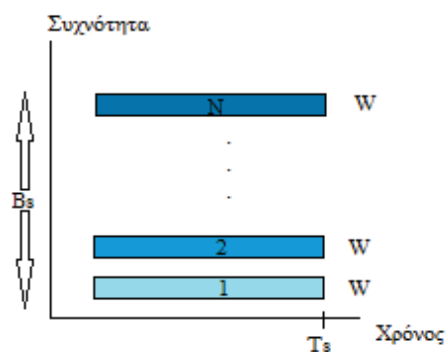
B_G : το εύρος ζώνης ασφαλείας που υπάρχει εκατέρωθεν του διατιθέμενου φάσματος.

W : το εύρος ζώνης κάθε διαύλου.

$$C_{ολ} = \frac{m(B_s - 2B_G)}{W} \quad (1.4)$$

1.4.2 Πολυπλεξία Συχνοτήτων (FDMA).

Στη πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA), εκχωρείται μια μοναδική συχνότητα ή ραδιοδιάυλος σε κάθε χρήστη που θέλει να εξυπηρετηθεί όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.4.2.1**. Κατά τη διάρκεια της κλήσης, δεν μπορεί άλλος χρήστης να χρησιμοποιήσει τον ίδιο ραδιοδιάυλο.



Σχήμα 1.4.2.1 FDMA

Σε συστήματα με αμφιδρόμηση συχνότητας (FDD), εκχωρείται στους χρήστες ζεύγος συχνοτήτων, μία συχνότητα για κάθε κατεύθυνση. Με αυτή τη σταθερή εκχώρηση, η λογική του ελέγχου είναι πολύ απλή, με αντάλλαγμα όμως τη χαμηλή απόδοση και χωρητικότητα του συστήματος.

Για να βελτιωθεί η χωρητικότητα, εισάγονται οι έννοιες της κυψελωτής / μικροκυψελωτής δομής και της επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων, επιτρέποντας έτσι να χρησιμοποιείται ο ίδιο ραδιοδιάυλος σε απομακρυσμένες κυψέλες.

Ωστόσο, τα μειονεκτήματα της FDMA, είναι η χαμηλή απόδοση φάσματος, η αδυναμία της σε βλάβες των διαύλων και η μη αποτελεσματικότητα της σε υπηρεσίες πολυμέσων / πολλαπλών ρυθμών μετάδοσης, την καθιστούν ακατάλληλη για συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών υψηλής χωρητικότητας. Το εύρος ζώνης (FDMA) είναι σχετικά μικρό (30 kHz) και κατά συνέπεια να μην χρησιμοποιείται σε συστήματα ευρείας ζώνης. Επίσης, τα συστήματα FDMA έχουν ακριβότερους σταθμούς βάσης σε σχέση με τα TDMA συστήματα, διότι έχουν ένα διάυλο ανά φέρον, πολλοί χρησιμοποιούν την ίδια κεραία στον σταθμό βάσης και είναι ανάγκη να χρησιμοποιούνται ζωνοπερατά φίλτρα για να περιορίζεται η παρασιτική ακτινοβολία στον σταθμό βάσης. Το κινητό τερματικό FDMA χρησιμοποιεί αμφιδρομητές, καθόσον πομπός και δέκτης λειτουργούν λειτουργούν ταυτόχρονα, γεγονός που συντελεί στην αύξηση του κόστους του.

Η πρόσβαση FDMA χρησιμοποιείται κυρίως σε κυψελωτά συστήματα 1ης γενιάς. Πρόσφατα χρησιμοποιείται ως βοηθητική της TDMA ή της CDMA με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της χωρητικότητας του συστήματος, εφαρμόζοντας επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων.

Ο αριθμός των διαύλων, που μπορεί να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα σε ένα σύστημα FDMA, δίδεται από τη σχέση 2.4

$$C_{ολ} = \frac{B_s - 2B_G}{W} \quad (2.4)$$

όπου B_s είναι το συνολικό φάσμα το οποίο διατίθεται στο σύστημα, B_G είναι το εύρος ζώνης ασφαλείας που υπάρχει εκατέρωθεν του διατιθέμενου φάσματος, και W είναι το εύρος ζώνης κάθε διαύλου.

1.4.3 Πολυπλεξία Κώδικα (CDMA).

Στα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης κώδικα (CDMA), όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το ίδιο φέρον και μπορεί να μεταδίδουν ταυτόχρονα, ενώ ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί όλο το διατιθέμενο φάσμα. Το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα πολύ μεγάλου εύρους ζώνης, το οποίο ονομάζεται σήμα εξάπλωσης (spreading signal). Το σήμα εξάπλωσης είναι μια κωδική ονομασία ψευδοθορύβου, η οποία έχει ρυθμό chip που είναι τάξης μεγέθους μεγαλύτερος από τον ρυθμό bit του σήματος πληροφορίας. Το σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη διαμορφώνεται από μια μοναδική κωδική ακολουθία, η οποία καλείται ακολουθία υπογραφής που έχει ανατεθεί στον υπόψη χρήστη. Έτσι, η διάκριση των σημάτων των χρηστών γίνεται με βάση την ακολουθία υπογραφής.

Στην πλευρά του δέκτη, χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπίεση του εύρους ζώνης και τη λήψη των αρχικών δεδομένων. Με αυτή τη διαδικασία εξάπλωσης και επανασυμπίεσης, όλες οι άλλες ταυτόχρονες μεταδόσεις στον δίαυλο θα δρουν ως πρόσθετη παρεμβολή στο επιθυμητό σήμα και μπορούν να απομακρυνθούν εντελώς, εάν οι κωδικές είναι ορθογώνιοι. Εάν υπάρχουν αρκετοί δέκτες στον σταθμό βάσης, είναι δυνατό να έχουμε πολλαπλές επιτυχείς λήψεις.

Η CDMA έχει ήδη υιοθετηθεί για επικοινωνία φωνής, αλλά μπορεί ταυτόχρονα να υποστηρίξει και μετάδοση δεδομένων. Δεν χρειάζεται συντονισμός μεταξύ των διαφόρων χρηστών.

Μια πρώτη προσέγγιση του υπολογισμού της χωρητικότητας του συστήματος CDMA, για μονοκυβελικό σύστημα παρουσιάζεται στη **σχέση 3.4** αν και εφόσον είναι γνωστός ο απαιτούμενος λόγος E_b/I_t , για καθορισμένο ρυθμό σφαλμάτων, ο αριθμός των χρηστών N_u που μπορεί να εξυπηρετηθούν από έναν σταθμό βάσης με συγκεκριμένο κέρδος G_s .

Όπου :

E_b : Ενέργεια ανά bit (σε W-sec).

I_t : Ισοδύναμη φασματική πυκνότητα παρεμβολής (σε W/Hz).

$$N_u = 1 + \frac{G_s}{E_b / I_t} \quad (3.4)$$

Η τεχνική CDMA διαθέτει ορισμένα εγγενή χαρακτηριστικά τα οποία την κάνουν χρήσιμη για τις κινητές και προσωπικές επικοινωνίες.

1. Στη CDMA χρησιμοποιείται όλο το εύρος ζώνης σε κάθε κυψέλη. Συνεπώς αποφεύγεται ο περίπλοκος προγραμματισμός για τις συχνότητες, γεγονός που διευκολύνει τη μελλοντική επέκταση του συστήματος (προσθήκη ή αφαίρεση κυψελών). Για την αμφίδρομη επικοινωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε TDD είτε FDD.

2. Το εγγενές χαρακτηριστικό του να λαμβάνεται η μέση τιμή των παρεμβολών στη CDMA επιτρέπει τη σχεδίαση συστημάτων με βάση κάποιον μέσο όρο παρεμβολών, γεγονός που εξασφαλίζει μεγαλύτερη χωρητικότητα από τη σχεδίαση με βάση τη χειρότερη περίπτωση. Αυξάνοντας τον αριθμό των χρηστών σε ένα σύστημα CDMA, αυξάνεται η κατώτερη στάθμη θορύβου κατά γραμμικό τρόπο. Έτσι, δεν υπάρχει απόλυτο όριο για τον αριθμό των χρηστών. Βέβαια η επίδοση του συστήματος υποβαθμίζεται προοδευτικά, καθώς αυξάνει ο αριθμός των χρηστών.

3. Η εκμετάλλευση της δραστηριότητας της φωνής και η διαφορική λήψη συχνότητας είναι εγγενή χαρακτηριστικά της CDMA και, επομένως δεν χρειάζεται επιπλέον προσπάθεια για τη χρησιμοποίησή τους, ώστε να βελτιώνεται η απόδοση του φάσματος. Οι διαλείψεις λόγω πολλαπλών διαδρομών μπορεί να περιοριστούν σημαντικά, καθότι το σήμα απλώνεται σε μεγάλο φάσμα. Αν το εύρος ζώνης του απλωμένου φάσματος είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης συνοχής του διαύλου, η ήδη υπάρχουσα διαφορική λήψη συχνότητας θα μετριάξει τις επιδράσεις των βραχύχρονων διαλείψεων.

4. Θεωρείται επίσης ότι είναι δυνατόν να συνυπάρξουν τα συστήματα CDMA με τα υπάρχοντα μικρο κυματικά συστήματα. Αυτό είναι χρήσιμο χαρακτηριστικό, όταν οι επικαλύψεις είναι αναπόφευκτες.

5. Τα συστήματα CDMA προσφέρουν ήπια χαρακτηριστικά ως προς τη χωρητικότητα και τη διαπομπή, γεγονός που τα κάνει προτιμότερα για τις εφαρμογές των προσωπικών επικοινωνιών.

Ωστόσο, τα συστήματα CDMA έχουν και μερικά μειονεκτήματα.

Η επίδοση τους είναι πολύ ευαίσθητη στη ακρίβεια ελέγχου της ισχύος. Ένα άλλο πρόβλημα της CDMA είναι ο μικρός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με την TDMA, ειδικά όταν το εύρος ζώνης είναι μικρό (λιγότερο από 10 MHz). Μεγαλύτερες καθυστερήσεις θα αντιμετωπίζουν οι μεταδόσεις μεγάλων μηνυμάτων, όπως αρχείων και εικόνων.

Απαιτείται περισσότερη έρευνα πάνω σε μεθόδους για παροχή υψηλότερου ρυθμού πολλαπλών ρυθμών μετάδοσης στο σύστημα CDMA. Έχουν προταθεί ιδέες, όπως αυτή της CDMA πολλαπλού κώδικα. Στη CDMA πολλαπλού κώδικα, όταν ο χρήστης ζητάει υπηρεσία με υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μπορεί να ανατεθούν πολλοί κώδικες στον ίδιο χρήστη. Θα χρειάζεται όμως επιπλέον προσπάθεια στον δέκτη για να λαμβάνει

μεταδόσεις πολλαπλού κώδικα ταυτόχρονα και να επαναδιατάξει τα πακέτα πληροφορίας, συνεπώς αυξάνει το κόστος του συστήματος.

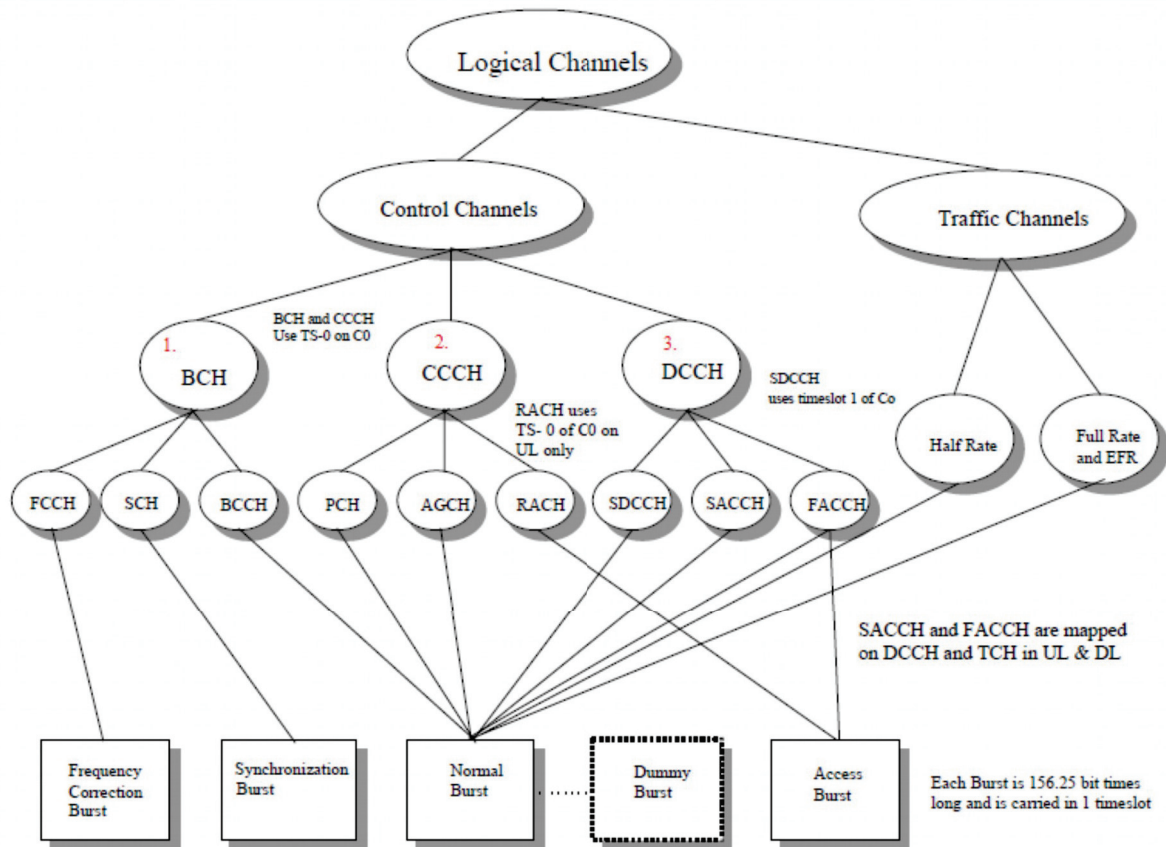
Σε σχέση με την CDMA, για το ίδιο εύρος ζώνης, η TDMA μπορεί να υποστηρίξει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με ευέλικτη εκχώρηση χρονοσχισμών σε ένα πλαίσιο. Η ικανότητα υποστήριξης υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων θεωρείται ουσιώδης για το ασύρματο σύστημα προσωπικών επικοινωνιών, ώστε να παρέχει υπηρεσίες πολυμέσων.

1.4.4 Φυσικά και λογικά κανάλια.

Κάθε χρονοσχισμή σε ένα TDMA πλαίσιο καλείται φυσικό κανάλι. Συνεπώς, υπάρχουν 8 φυσικά κανάλια ανά συχνότητα φορέα στο GSM και αυτά τα φυσικά κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν την πληροφορία φωνής, δεδομένων και σηματοδοσίας στη διεπαφή αέρα.

Αυτές οι πληροφορίες δομούνται και μεταφέρονται στο δίκτυο από τα λεγόμενα λογικά κανάλια. Τα λογικά κανάλια χρειάζονται τα φυσικά κανάλια για να μεταφερθούν στη διεπαφή αέρα και επομένως απεικονίζονται στα φυσικά κανάλια με χρονική πολυπλεξία απεικόνισης.

Ο τρόπος με τον οποίο απεικονίζονται τα λογικά κανάλια στα φυσικά κανάλια είναι με τη δημιουργία ρίπων (bursts) στη διεπαφή αέρα. Υπάρχουν διαφορετικά είδη λογικών καναλιών, αναλόγως με τη λογική πληροφορία που μεταφέρουν στις φορητές συσκευές εντός ενός κυττάρου (cell), και απεικονίζονται αντιστοίχως με διαφορετικές ριπές στα φυσικά κανάλια. Στο **σχήμα 1.4.4.1** παρουσιάζονται τα λογικά κανάλια του δικτύου GSM και έπειτα παρουσιάζεται η κάθε ριπή που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του στο φυσικό κανάλι του δικτύου.



Σχήμα 1.4.4.1

“ Παρουσίαση των λογικών καναλιών του δικτύου GSM και οι αντίστοιχες ριπές – bursts για την απεικόνιση στα φυσικά κανάλια του δικτύου”.

1.4.4.1 Κανάλια Ελέγχου

Τα κανάλια ελέγχου είναι εν γένει κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση μηνυμάτων σηματοδοσίας και πληροφορίας προς τις φορητές συσκευές σε κατάσταση idle ή busy mode εντός ενός κυττάρου. Τα κανάλια αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες.

1. Τα κανάλια εκπομπής, (Broadcasting Channels, **BCH**).
2. Τα κανάλια ελέγχου κοινής χρήσης, (Common Control Channels, **CCCH**).

3. Τα αφιερωμένα κανάλια ελέγχου, (Dedicated Control Channels, **DCCH**).

Η κατηγορία των λογικών κανάλιων εκπομπής (Broadcasting Channel) **BCH** (1.), περιλαμβάνει τρία κανάλια όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.4.4.1.** το κανάλι **FCCH**, το κανάλι **SCH**, και το κανάλι **BCCH**.

Ονομάζονται κανάλια εκπομπής διότι εκπέμπονται στο κύτταρο από τον σταθμό βάσης (BTS) και αναφέρονται σε όλες τις ευρισκόμενες φορητές συσκευές εντός του εν λόγω κυττάρου, μεταφέροντας κοινές πληροφορίες και ενεργοποιώντας κοινές λειτουργίες στις φορητές συσκευές.

Οι πληροφορίες που μεταφέρουν και η χρησιμότητα τους από τις φορητές συσκευές παρουσιάζονται παρακάτω.

FCCH: Το λογικό κανάλι FCCH περιέχει αδιαμόρφωτη πληροφορία απαρτιζόμενη από συνεχείς ακολουθίες μηδενικών (bits “0”). Η απεικόνιση στο φυσικό κανάλι γίνεται υπό τη μορφή της χρήσης ρίπης Frequency Correction Bursts, συνεπώς εντός της ρίπης αυτής περιέχονται ακολουθίες από μηδενικά bits. Αυτό εξυπηρετεί δύο σκοπούς:

Αρχικά φορητή συσκευή διαβάζοντας ένα κανάλι FCCH αντιλαμβάνεται ότι έχουμε την εκπομπή ενός λογικού καναλιού BCCH στο φυσικό φορέα TRX στο φυσικό κανάλι timeslot 0 (TS 0).

Επιπλέον η φορητή συσκευή από τη συνεχή ακολουθία των μηδενικών bits μπορεί να ανακτήσει τη συχνότητα του φέροντος TRX. Το λογικό κανάλι FCCH μεταδίδεται μόνον από το BTS προς τις φορητές μονάδες στο downlink.

SCH: Εφόσον έχει επιτευχθεί η ανάγνωση της συχνότητας του φορέα TRX του λογικού καναλιού BCCH, η φορητή μονάδα MS πρέπει να συγχρονιστεί στη δομή του πλαισίου των 8 χρονοθυρίδων (timeslots) της διεπαφής αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται διαβάζοντας τις πληροφορίες εντός του λογικού καναλιού SCH.

Επιπλέον η φορητή μονάδα πρέπει να επιβεβαιώσει την ταυτότητα του κυττάρου, διότι κάθε κύτταρο έχει περισσότερες από μια συχνότητες οι οποίες επαναχρησιμοποιούνται στο δίκτυο (η ταυτότητα ενός κυττάρου δηλώνεται με τον κωδικό αριθμό BSIC). Αυτός ο αριθμός είναι μοναδικός στη τριάδα (frequency, BSIC, LAC) του δικτύου και εμπεριέχεται εντός του λογικού καναλιού SCH.

Το λογικό κανάλι SCH απεικονίζεται στο φυσικό κανάλι χρησιμοποιώντας ριπή Synchronization Burst και μεταδίδεται μόνον από το BTS προς τις φορητές μονάδες στο

downlink.

BCCH: Το λογικό κανάλι BCCH είναι ένα από τα βασικότερα κανάλια του δικτύου. Η σημασία του είναι τόσο μεγάλη για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ξεχωριστή μπάντα συχνοτήτων για την επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων των φορέων TRX για το BCCH και ξεχωριστές για τους φορείς TRX που μεταφέρουν κανάλια ομιλίας.

Εντός του καναλιού αυτού υπάρχουν πληροφορίες οι οποίες αφορούν παραμέτρους για την ορθή λειτουργία της φορητής μονάδας εντός του κυττάρου και στις δύο καταστάσεις idle και busy mode. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν παραμέτρους επιλογής κυττάρου εξυπηρέτησης (serving cell selection), επανεκλογή κυττάρου εξυπηρέτησης σε κατάσταση idle mode (cell reselection), παραμέτρους υπολογισμού λειτουργικών διαδικασιών, γειτονικές συχνότητες και BSIC κυττάρων για την εκτέλεση μετρήσεων σε idle mode οι οποίες οδηγούν σε cell reselection καθώς και την εκτέλεση μετρήσεων σε κατάσταση busy mode οι οποίες οδηγούν σε handovers, το PLMN id του δικτύου (το οποίο διαβάζεται από τη φορητή συσκευή και απεικονίζεται στην οθόνη της φορητής συσκευής ως κείμενο, πχ. Cosmote, Wind, Vodafone κτλ π), την ταυτότητα περιοχής θέσης LAI-Location Area Identity και τη ταυτότητα του κυττάρου CGI, τη μέγιστη ισχύ επιτρεπόμενης εκπομπής εντός του κυττάρου και πολλές άλλες πληροφορίες.

Το λογικό κανάλι BCCH απεικονίζεται στο φυσικό κανάλι μέσω ριπής Normal Burst και μεταδίδεται μόνο από το BTS προς τις φορητές συσκευές στο downlink.

1.4.4.2 Κανάλια Ελέγχου Κοινή Χρήσης - Common Control Channels, (CCCH).

Τα κοινά κανάλια ελέγχου είναι (2. στο σχήμα 1.4.4.1) το κανάλι τηλεειδοποίησης (**PCH**), το κανάλι τυχαίας πρόσβασης (**RACH**) και το κανάλι (**AGCH**).

PCH: Σε περίπτωση ενδεχόμενης τερματισμένης υπηρεσίας σε μια φορητή μονάδα η οποία βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής το δίκτυο μπορεί να εντοπίσει το κύτταρο εξυπηρέτησης και να ειδοποιήσει τη φορητή μονάδα μέσω της διαδικασίας paging. Αυτή η διαδικασία βασίζεται σε μία καθολική αποστολή μηνυμάτων ειδοποίησης του συνδρομητή χρησιμοποιώντας το IMSI του καλούμενου συνδρομητή.

Το δίκτυο MSC/VLR θα αποστείλει ένα μήνυμα ειδοποίησης (paging) σε όλα τα BSC και σε όλα τα κύτταρα που ανήκουν στο LAC του συνδρομητή που αναζητείται. Επομένως σε ορισμένα τακτά διαστήματα το MS ακούει το PCH για να ελέγξει εάν το δίκτυο θέλει να

ειδοποιήσει το συνδρομητή για κάποια τερματιζόμενη υπηρεσία. Ο λόγος για τον οποίο το δίκτυο μπορεί να θελήσει να έρθει σε επαφή με το MS θα μπορούσε να είναι μια εισερχόμενη κλήση ή ένα εισερχόμενο σύντομο μήνυμα. Οι πληροφορίες που περιέχονται εντός του μηνύματος paging αφορούν τους λόγους ειδοποίησης, το IMSI ή TMSI και άλλες σχετικές πληροφορίες.

Το λογικό κανάλι PCH απεικονίζεται στο φυσικό κανάλι μέσω ριπής Normal Burst και μεταδίδεται μόνον από το BTS προς τις φορητές μονάδες στο downlink.

RACH: Σε ένα ασύρματο δίκτυο το ρόλο επικοινωνίας της φορητής μονάδας MS με το BTS το κατέχει το λογικό κανάλι RACH. Σύμφωνα όμως με τα πρωτόκολλα, τις διαδικασίες και σηματοδοσίες οι οποίες διεκπεραιώνουν την επικοινωνία μεταξύ της φορητής μονάδας και του BTS. Οποιαδήποτε φορητή συσκευή επιθυμεί να επικοινωνήσει με το BTS, όντας σε κατάσταση ανενεργή θα πρέπει να στείλει ένα μήνυμα σηματοδοσίας (το οποίο ονομάζεται Channel Request) στο φυσικό κανάλι - timeslot το οποίο απεικονίζει το λογικό κανάλι RACH προς το σταθμό βάσης BTS. Συνεπώς μιλώντας την απαιτούμενη τεχνική γλώσσα, όταν μια φορητή μονάδα λάβει το PCH και λάβει ένα μήνυμα τηλεειδοποίησης απαντά μέσω του RACH λογικού καναλιού ζητώντας άδεια από το σταθμό βάσης για επικοινωνία. Αυτό ονομάζεται σύνδεση λόγω τερματιζόμενη υπηρεσία (Mobile Terminating Call Connection) η οποία θα μπορούσε να είναι οποιαδήποτε υπηρεσία από τερματιζόμενο SMS, κλήση, MMS, κλήση δεδομένων κτλ π.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται όταν η φορητή μονάδα επιθυμεί να επικοινωνήσει με το δίκτυο – ζητάει δηλαδή άδεια επικοινωνίας με το δίκτυο – λόγω μιας υπηρεσίας η οποία ξεκινάει από τη φορητή συσκευή και δεν αποτελεί απάντηση μηνύματος τηλεειδοποίησης (πχ. Όταν κάποιος συνδρομητής επιθυμεί να στείλει κάποιο SMS ή να καλέσει αυτοβούλως κάποιον άλλον συνδρομητή, οπότε και καλεί τα στοιχεία του καλούμενου MSISDN και εν συνεχεία πατάει το πλήκτρο κλήσης). Αυτή η διαδικασία ονομάζεται Mobile Originating Call Connection.

Το λογικό κανάλι RACH απεικονίζεται στο φυσικό κανάλι μέσω ριπής Access Burst και μεταδίδεται μόνον από τη φορητή μονάδα MS προς το σταθμό βάσης BTS στο uplink.

AGCH: Συνεχίζοντας την προηγούμενη άδεια σηματοδοσίας για τηλεειδοποίηση λόγω τερματισμένης υπηρεσίας μεταξύ φορητής μονάδας MS και του σταθμού βάσης BTS. Όταν ο σταθμός βάσης διαβάσει στο uplink RACH κανάλι τη διαβιβασθείσα αίτηση επικοινωνίας μιας φορητής μονάδας MS (το μήνυμα Channel Request), τότε πρώτα βρίσκει και δεσμεύει το απαιτούμενο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την αμφίδρομη επικοινωνία MS<-->BTS, και εν συνεχεία το σηματοδοτεί προς το MS τοποθετώντας το εντός ενός λογικού μηνύματος στο κανάλι AGCH. Το λογικό μήνυμα ονομάζεται Immediate Assignment Message και διαβιβάζεται μέσω του καναλιού AGCH στη φορητή μονάδα. Το λογικό κανάλι AGCH απεικονίζεται στο φυσικό κανάλι μέσω ριπής Normal Burst και

μεταδίδεται μόνον από το σταθμό βάσης προς τη φορητή μονάδα στο downlink.

1.4.4.3 Αφιερωμένα Κανάλια Ελέγχου Dedicated Control Channels, (DCCH).

Τα αφιερωμένα κανάλια ελέγχου είναι το αφιερωμένο κανάλι ελέγχου αμφιδρόμου επικοινωνίας **SDCCH**, το κανάλι ελέγχου **SACCH**, το κανάλι ελέγχου **FACCH** και το κανάλι μετάδοσης πληροφορίας εντός του κυττάρου **CBCCH**.

SDCCH: Συνεχίζοντας την εν λόγω άδεια σηματοδοσίας από τη φορητή συσκευή προς τον σταθμό βάσης. Εφόσον η φορητή μονάδα λάβει το μήνυμα εξουσιοδότησης – αδειοδότησης έναρξης επικοινωνίας, πρέπει να βρεθεί τρόπος για να ξεκινήσει η αποστολή του μηνύματος. Ο μόνος τρόπος στο δίκτυο GSM είναι η δέσμευση κάποιου νέου λογικού καναλιού, το οποίο προφανώς θα απεικονίζεται σε κάποιο φυσικό κανάλι, μέσω του οποίου θα αρχίσει την αποστολή των λογικών μηνυμάτων σηματοδοσίας.

Όμως δεν υπάρχει η γνώση για το ποια θα είναι η συχνότητα που θα πρέπει να συντονιστεί και το πιο θα είναι το κανάλι ώστε να το βρει, να το δεσμεύσει και να το χρησιμοποιήσει, (δηλαδή δεν ξέρει στην ουσία σε ποια χρονοθυρίδα και σε ποιο φάσμα 200 KHz - πομποδέκτης του κυττάρου - θα πρέπει να συντονισθεί). Σε αυτό το σημείο βοηθάει το λογικό μήνυμα Immediate Assignment Message που αποστέλλεται μέσω του καναλιού AGCH. Πράγματι, αυτό το μήνυμα εκτός από την αδειοδότηση επικοινωνίας, εσωκλείνει και την πληροφορία της συχνότητας, της χρονοθυρίδας του πλαισίου και του υπό-καναλιού (sub-channel) το οποίο έχει δεσμευτεί για την επικοινωνία.

Το κανάλι αυτό επικοινωνίας είναι ένα κανάλι SDCCH. Επομένως το κανάλι SDCCH χρησιμοποιείται αμφιδρόμως για την αποστολή στο uplink και τη λήψη downlink αντιστοίχως του MS και του BTS των μηνυμάτων σηματοδοσίας - επικοινωνίας. Είναι κατ'εξοχήν κανάλι επικοινωνίας αποστολής μηνυμάτων σηματοδοσίας στη διεπαφή αέρα, και χρησιμοποιείται πάντα σε φάση cell setup. Επιπλέον αυτό το κανάλι χρησιμοποιείται για την αποστολή και λήψη μηνυμάτων SMS. Επομένως η αποστολή SMS επιβαρύνει την τηλεπικοινωνιακή κίνηση της σηματοδοσίας και όχι της φωνής. Η απεικόνιση του καναλιού SDCCH στο φυσικό κανάλι γίνεται μέσω ριπής Normal Burst.

SACCH: Το λογικό κανάλι SACCH είναι ένα ειδικό κανάλι. Για να συνδεθεί μια φορητή

μονάδα στο δίκτυο θα πρέπει να περάσει επιτυχώς δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η αποστολή όλων των απαιτούμενων μηνυμάτων σηματοδοσίας ώστε να αποκτήσει πρόσβαση (πρώιμη φάση του call setup) και στη συνέχεια να δεσμεύσει ένα κανάλι ομιλίας TCH (TCH reservation) το οποίο και θα χρησιμοποιήσει στη φάση της μετάδοσης της φωνητικής πληροφορίας (ύστερη φάση call setup). Σε όλη αυτή τη φάση της εκτέλεσης της σηματοδοσίας το μοναδικό κανάλι που χρησιμοποιείται είναι το κανάλι SDCCH.

Όμως μετά την έναρξη της φωνητικής επικοινωνίας η φορητή μονάδα δεν μπορεί πλέον να ξαναχρησιμοποιήσει το κανάλι SDCCH, διότι έχει συντονιστεί σε άλλη συχνότητα και άλλη χρονοθυρίδα στην οποία βρίσκεται το TCH και είναι συνεχώς απασχολημένο με την αποστολή και λήψη ριπών φωνής. Έτσι εάν το δίκτυο χρειάζεται να επικοινωνήσει με τη φορητή μονάδα θα ήταν αδύνατο να συμβεί αυτό διότι η φορητή μονάδα δεν έχει χρόνο να συντονίζεται σε άλλη συχνότητα και άλλο timeslot στο οποίο βρίσκεται το SDCCH.

Το κανάλι SACCH χρησιμοποιείται στη διάρκεια που η φορητή συσκευή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο σε busy mode προφανώς, για δύο λόγους. Το downlink χρησιμοποιείται από το δίκτυο, ώστε να σταλθεί ενημέρωση από το BTS στο MS σχετικά με την καθυστέρηση την οποία υφίσταται η λήψη των uplink frames από το σταθμό βάσης BTS λόγω της απόστασης της φορητής μονάδος (πληροφορία η οποία ονομάζεται Time Advance TA και η οποία χρησιμοποιείται από τη φορητή μονάδα για να αποστείλει τα επόμενα frames με χρονική προπόρευση), πληροφορίες που αφορούν τις παραμέτρους του BCCH οι οποίες δεν μπορούν να ληφθούν κατά τη διάρκεια επικοινωνίας σε busy mode, την αποστολή μηνυμάτων ελέγχου ισχύος εκπομπής (Power Control) ή τη λήψη ενός Mobile Terminating SMS. Σε όλους έχει συμβεί καθώς χρησιμοποιούμε την συσκευή και συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια μιας κλήσης να λάβουμε ένα SMS με την χαρακτηριστική ηχητική ενημέρωση ενός διακριτικού “μπιπ”. Αυτό το γραπτό μήνυμα ελήφθη μέσω του καναλιού SACCH.

Το uplink χρησιμοποιείται από τη φορητή μονάδα για την αποστολή μηνυμάτων προς το BTS, αυτά τα μηνύματα που αποστέλλονται αφορούν μετρήσεις ισχύος λήψης (signal strength, SS) του κυττάρου εξυπηρέτησης – serving cell - και των γειτονικών κυττάρων, μετρήσεις ποιότητας της επικοινωνίας του κυττάρου εξυπηρέτησης οι οποίες στην ουσία απεικονίζουν το Bit Error Rate (BER) ή το Block Error Rate (BLER) της επικοινωνίας.

Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται από το δίκτυο (συνήθως BSC και περιστασιακά BTS) ώστε να υπολογιστεί ο λόγος C/I της downlink επικοινωνίας και η ποιότητα της επικοινωνίας, υπολογισμοί οι οποίοι οδηγούν σε αποφάσεις εκτέλεσης handover. Εφόσον η χρήση του SACCH είναι αμφίδρομη το συναντάμε και στο uplink και στο downlink και η απεικόνιση στο φυσικό κανάλι timeslot γίνεται μέσω ρίπης Normal Burst.

FACCH: Η κινητικότητα του συνδρομητή επιβάλλει τη διατήρηση της κλήσης για όσο χρονικό διάστημα ο χρήστης επιθυμεί να παραμείνει συνδεδεμένος. Αυτό ονομάζεται δυνατότητα διατήρησης της επικοινωνίας (retain ability) ή αδιάλειπτη επικοινωνία της κλήσης, αποτελεί ένα από τα κριτήρια της ποιότητας υπηρεσίας του δικτύου (Quality of Service QoS) και επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της εκτέλεσης των handover. Ένα handover είναι μια διαδικασία κατά την οποία μία φορητή συσκευή κινείται στο δίκτυο με συνέπεια την ανάγκη μεταγωγής της κλήσης από ένα κύτταρο (το επονομαζόμενο κύτταρο εξυπηρέτησης serving cell) σε ένα άλλο (το επονομαζόμενο target cell). Εφόσον ο συνδρομητής είναι συνδεδεμένος σε μία φωνητική κλήση, αυτό αυτομάτως σημαίνει ότι η φορητή συσκευή είναι συντονισμένη σε μία συχνότητα και σε ένα timeslot του πολυπλαισίου της διεπαφής αέρα (FDMA/TDMA). Επομένως μεταγωγή κλήσης σημαίνει συντονισμός σε άλλη συχνότητα επομένως άλλο timeslot με ταυτόχρονη αλλαγή του μονοπατιού σύνδεσης.

Θα πρέπει να προβλεφθεί μια διαδικασία ενημέρωσης της φορητής συσκευής από το δίκτυο BSC σχετικά με την επερχόμενη μεταγωγή και τη μεταφορά των απαραίτητων πληροφοριών του νέου target cell, όπως η συχνότητα, BSIC, timeslot χρήσης για τη μετάδοση της φωνητικής πληροφορίας TCH στο νέο κύτταρο και άρα τη διασφάλιση του αδιάλειπτου της επικοινωνίας για τη συνέχιση της κλήσης. Επομένως το κανάλι το οποίο αναλαμβάνει να μεταφέρει την απαραίτητη πληροφορία είναι το FACCH. Εφόσον η συσκευή είναι σε κατάσταση σύνδεσης στο serving cell και λαμβάνει κάθε 4,615 ms ριπές από φωνητικές πληροφορίες θα πρέπει να υποκλαπεί ένας αναγκαίος αριθμός από ριπές ώστε αντί να αποσταλούν bits φωνητικής πληροφορίας να αποσταλεί η απαραίτητη πληροφορία της διασύνδεσης στο target cell μέσω του καναλιού FACCH.

Ο χρόνος υποκλοπής είναι ίσος με το χρονικό διάστημα 20 ms και αντιστοιχεί σε τέσσερα συνεχόμενα frames αποστολής ριπών φωνητικής πληροφορίας στη διεπαφή αέρα. Έτσι το κανάλι FACCH δεν αποστέλλεται σε συνεχή χρονικά διαστήματα αλλά δρα ως υποκλοπέας για 20 ms του TCH επικοινωνίας στο serving cell ώστε να ενημερώσει τη φορητή συσκευή για τη συχνότητα συντονισμού και το νέο timeslot στο νέο πολυπλάσιο της διεπαφής αέρα στο target cell.

CBCCH: Το CBCCH χρησιμοποιείται μόνο για το downlink για να μεταφέρει μηνύματα broadcasting (όπως ενημέρωση πόλης, ενημέρωση ατυχήματος στο δρόμο κλπ) δηλαδή μηνύματα υπηρεσιών (SMSCB) και χρησιμοποιεί το ίδιο φυσικό κανάλι με το SDCCH.

2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ.

Εισαγωγή.

Οι κινητές επικοινωνίες χρησιμοποιούν κυρίως ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες στη ζώνη που εκτείνεται από μερικές εκατοντάδες MHz μέχρι λίγα GHz. Εκείνο που πρέπει να σημειωθεί είναι, ότι τα αποτελέσματα της διάδοσης επηρεάζουν τις κινητές επικοινωνίες κατά αρκετούς τρόπους.

Η κατανομή της μέσης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή σε έναν συγκεκριμένο χώρο είναι κατά κύριο λόγο βασική απαίτηση για αξιόπιστη επικοινωνία. Η ισχύς αυτή θα πρέπει να επαρκεί για την εξυπηρέτηση της ζητούμενης ζεύξης, αλλά δεν θα πρέπει να είναι τόσο μεγάλη, ώστε να προκαλεί παρεμβολή σε άλλη ζεύξη με την ίδια συχνότητα η οποία λειτουργεί σε άλλη κυψέλη.

Επειδή όμως η ραδιοζεύξη μεταβάλλεται παρά πολύ καθώς το κινητό διανύει μικρές αποστάσεις, δεν ενδιαφέρει μόνο η μέση ισχύς αλλά και η στατιστική συμπεριφορά της, και ειδικότερα στις περιπτώσεις όπου η κατανομή των διαλείψεων εξαρτάται από το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος. Μας ενδιαφέρει επίσης και η ποιότητα του σήματος, διότι μπορεί να είναι τέτοια, ώστε να δημιουργεί σφάλματα κατά οποιονδήποτε τρόπο, ακόμη και αν υπάρχει επαρκής διαθέσιμη ισχύς για τις επικοινωνίες.

Είναι επίσης εξίσου σημαντικό να υπάρχει επαρκής γνώση για τη συμπεριφορά του διαύλου, ώστε να μπορεί κάποιος να εισάγει σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που βελτιώνουν το δίαυλο, ή να σχεδιάσει εξισορροπητές, ή εάν δεν είναι τούτο εφικτό, να χρησιμοποιήσει κεραιές για τους σταθμούς βάσης κατά τρόπο που να μειώνονται οι παραπάνω επιδράσεις. Τα μοντέλα για τη μελέτη των ραδιοδιαύλων είναι στην ουσία δύο κατηγοριών. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα παραμετρικά στατιστικά μοντέλα, που είναι απλά στη χρήση τους αλλά σχετικά χονδρικά. Η δεύτερη κατηγορία είναι σχετικά νεώτερη και αφορά μοντέλα που είναι ειδικά για κάθε περιβάλλον.

Οι μηχανισμοί που διέπουν τη ραδιοδιάδοση είναι πολύπλοκοι και ποικίλοι και μπορούν γενικά να συνοψιστούν σε τρεις βασικούς: την ανάκλαση (reflection), τη περίθλαση (diffraction) και τη σκέδαση (scattering).

Καθώς το κινητό τερματικό κινείται σε μια περιοχή, οι τρεις μηχανισμοί διάδοσης επιδρούν κάθε στιγμή στο λαμβανόμενο σήμα κατά διαφορετικούς τρόπους. Αν πχ. Το κινητό έχει οπτική επαφή με το σταθμό βάσης (BTS), η περίθλαση και η σκέδαση ενδέχεται να μην επηρεάζουν τη διάδοση. Αντίθετα, αν το κινητό τερματικό βρίσκεται σε μεγάλη μητροπολιτική περιοχή, χωρίς να έχει οπτική επαφή με το σταθμό βάσης, η περίθλαση και η σκέδαση είναι πολύ πιθανόν να κυριαρχούν στη διάδοση. Καθώς το κινητό

διανύει μικρές αποστάσεις, η λαμβανόμενη στιγμιαία ένταση του σήματος στενής ζώνης μεταβάλλεται απότομα και εμφανίζονται βραχύχρονες διαλείψεις. Ο λόγος είναι, ότι η ένταση του πεδίου είναι άθροισμα πολλών συνιστωσών που προέρχονται από πολλές κατευθύνσεις και καθώς οι φάσεις τους είναι τυχαίες, το άθροισμα τους συμπεριφέρεται σαν θόρυβος, όπως πχ διαλείψεις Rayleigh. Καθώς το κινητό τερματικό απομακρύνεται από το πομπό κατά μεγαλύτερες αποστάσεις, η τοπική μέση λαμβανόμενη ισχύς σήματος μειώνεται βαθμιαία.

Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών χαρακτηρίζεται από τρία επιμέρους φαινόμενα, που είναι γνωστά ως απώλειες διαδρομής (*path loss*), σκίαση (*shadowing*) και διαλείψεις πολλαπλών διαδρομών (*multipath fading*).

2.1 Απώλειες διαδρομής για διάδοση στον ελεύθερο χώρο.

Ας υποθέσουμε ότι ένας πομπός εκπέμπει στον ελεύθερο χώρο ισχύ P_t watt με κεραία που έχει κατευθυντικό κέρδος G_t και ότι ο δέκτης βρίσκεται σε απόσταση d μέτρων από τον πομπό. Η μέση επιφανειακή πυκνότητα ισχύος στον δέκτη ή η μέση τιμή διανύσματος Poynting, S_o σε απόσταση d μέτρων από τον πομπό, δίνεται από τη σχέση:

$$S_o = \frac{P_t \times G_t}{4\pi d^2} \text{ W/m}^2 \quad (2.1)$$

Αν $E_{o,rms}$ και $H_{o,rms}$ είναι οι ενεργές τιμές της έντασης του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου αντιστοίχως, τότε η μέση τιμή του διανύσματος Poynting σε απόσταση d μέτρων

από τον πομπό μπορεί να εκφραστεί ως:

$$(2.2) \quad S_o = E_{o,rms} * H_{o,rms} \text{ W/m}^2$$

όπου

$$(2.3) \quad H_{o,rms} = \frac{E_{o,rms}}{120 \pi} \text{ A/m}$$

Από τις (2.1), (2.2) και (2.3) λαμβάνουμε τη σχέση μεταξύ ενεργού τιμής $E_{o,rms}$ της έντασης ηλεκτρικού πεδίου στη θέση του δέκτη και της εκπεμπόμενης ισχύος $P_t G_t$, για τη διάδοση στον ελεύθερο χώρο.

$$(2.4) \quad E_{o,rms} = \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{d} \text{ V/m}$$

Η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου θα είναι $\sqrt{2} E_{o,rms}$, δηλαδή

$$(2.5) \quad E_{om} = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{d} \text{ V/m}$$

και η στιγμιαία τιμή της έντασης $E_0(t)$ του ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση d από τον πομπό δίνεται από τη κυματική εξίσωση:

$$(2.6) \quad E_0(t) = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{d} \cos 2 \pi f (t-d)/c = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{d} \cos (2 \pi f - \beta d)$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός, $\beta=2\pi/\lambda$ και λ το μήκος κύματος.

Η μέση ισχύς P_{or} που λαμβάνεται στον δέκτη δίνεται από τη σχέση :

$$(2.7) \quad P_{or} = \frac{E_{o,rms}^2}{120\pi} A_r \quad W$$

όπου A_r είναι η ενεργός επιφάνεια (effective aperture) της κεραίας του δέκτη
Επειδή ισχύει :

$$(2.8) \quad A_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

λαμβάνουμε

$$(2.9) \quad P_{or} = \left(\frac{E_{o,rms} \lambda}{2\pi} \right)^2 \frac{G_r}{120} W$$

Από τις σχέσεις (2.4) και (2.9) προκύπτει ότι :

$$(2.10) \quad \frac{P_{or}}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = G_t G_r \left(\frac{c/f}{4\pi d} \right)^2$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός, λ το μήκος κύματος, και G_t , G_r τα κέρδη των κεραιών εκπομπής και λήψης αντίστοιχα. Όταν χρησιμοποιούνται ισοτροπικές κεραιές (μοναδιαίο κέρδος) και στην εκπομπή και στη λήψη έχουμε:

(2.11)

$$\frac{P_{or}}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 = \left(\frac{c/f}{4\pi d} \right)^2$$

Η σχέση (2.11), όπως και άλλες παρόμοιες που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως, δεν ισχύει για $d=0$. Αρκετά μοντέλα ασύρματης διάδοσης χρησιμοποιούν μια πολύ κοντινή απόσταση d_0 ως απόσταση αναφοράς για τη λαμβανόμενη ισχύ και η ισχύς σε οποιαδήποτε άλλη απόσταση εκφράζεται συναρτήσει της ισχύος στην απόσταση αναφοράς d_0 . Στη σχεδίαση των ασυρμάτων συστημάτων χρησιμοποιείται ο όρος απώλειας διάδοσης (propagation loss) ή απώλειες διαδρομής (path loss) για να εκφραστεί ο λόγος της ισχύος που ακτινοβολείται από την κεραία του πομπού προς την ισχύ που λαμβάνεται από την κεραία του δέκτη. Όταν το σύστημα λειτουργεί στον ελεύθερο χώρο και χρησιμοποιούνται ισοτροπικές κεραιές, δηλαδή $G_t = G_r = 1$, οι απώλειες διάδοσης L_f δίνονται από τη σχέση :

$$(2.12) \quad L_f = \frac{P_t}{P_{or}} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi d}{c/f} \right)^2 \text{ και σε dB}$$

$$(2.13) \quad L_f[dB] = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4 \pi d}{c/f} \right)$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει ότι οι απώλειες διαδρομής στον ελεύθερο χώρο εξαρτώνται από το τετράγωνο της απόστασης d . Επίσης, όταν μειώνεται το μήκος κύματος, δηλαδή αυξάνει η συχνότητα εκπομπής, αυξάνουν και οι απώλειες διαδρομής. Για την αντιστάθμιση αυτών των απωλειών θα πρέπει να αυξηθούν τα κέρδη των κεραιών εκπομπής και λήψης.

Όπως προκύπτει από την εξίσωση (2.13), η διαφορά Δp σε dB, των ισχύων δυο σημάτων, που λαμβάνονται μέσω ελεύθερου χώρου από δύο διαφορετικές κεραιές, που οι αποστάσεις τους από την κεραιά εκπομπής είναι d_1 και d_2 αντίστοιχα, δίνεται από τη παρακάτω σχέση :

$$(2.14) \quad \Delta p = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{or2}}{P_{or1}} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{d_1}{d_2} \right) dB$$

Όπως όμως αναφερθήκαμε προηγουμένως, στο ασύρματο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών, οι απώλειες διαδρομής δεν εξαρτώνται μόνο από τη συχνότητα και την απόσταση, αλλά εξαρτώνται επίσης από το ύψος των κεραιών του σταθμού βάσης και του κινητού τερματικού, από τη μορφολογία της περιοχής και από τις ανθρώπινες κατασκευές. Αυτοί οι πρόσθετοι παράγοντες κάνουν τον προσδιορισμό των απωλειών διαδρομής πιο δύσκολο.

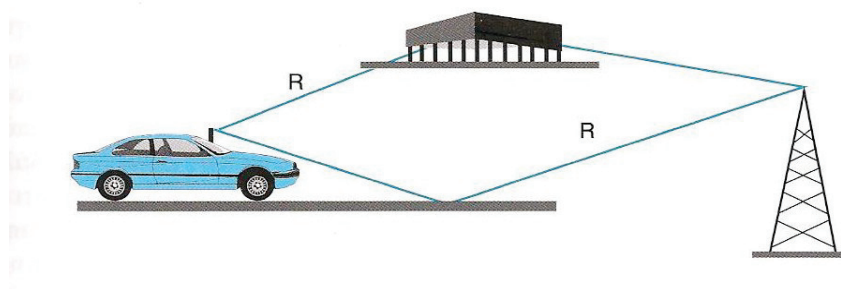
2.1.1 Απώλειες Λόγω Εδάφους-Περιβάλλοντος.

Για διάδοση ραδιοκυμάτων κοντά στην επιφάνεια της γης πρέπει να εξετασθούν ορισμένοι παράγοντες, οι οποίοι δεν επηρεάζουν στην περίπτωση της διάδοσης των ραδιοκυμάτων στο κενό. Για παράδειγμα πρέπει να ληφθεί υπόψη η ανάκλαση (reflection) των κυμάτων από το έδαφος, τα βουνά και τα κτίρια. Επιπρόσθετα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα υφίστανται διάθλαση (refraction) καθώς διαπερνούν διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας, τα οποία έχουν διαφορετική πυκνότητα ή διαφορετικό βαθμό ιονισμού.

Επίσης, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα περιθλώνονται (diffraction) γύρω από αιχμηρά ογκώδη αντικείμενα. Κύματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές αφού διανύσουν διαφορετικές διαδρομές είναι δυνατόν να συζευχθούν. Τέλος τα κύματα είναι δυνατόν να διαδίδονται από διαφορετικά μέσα.

2.1.1.1 Ανάκλαση.

Η ανάκλαση (reflection) εμφανίζεται, όταν ένα διαδιδόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε εμπόδιο με διαστάσεις πολύ μεγάλες σε σχέση με το μήκος κύματος του. Ανακλώμενα κύματα παράγονται ύστερα από πρόσπτωση των διαδιδόμενων κυμάτων στην επιφάνεια του εδάφους και σε κτίρια, και μπορεί να συμβάλουν με τα αρχικά κύματα στο δέκτη, εποικοδομητικά ή όχι. **Σχήμα 2.1.1.1**

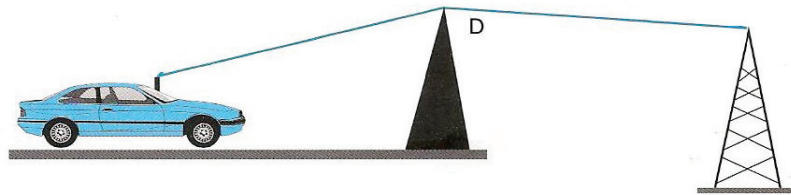


Σχήμα 2.1.1.1

Μηχανισμός διάδοσης, Ανάκλαση (R).

2.1.1.2 Περίθλαση

Περίθλαση εμφανίζεται, όταν παρεμβάλλεται αδιαπέραστο σώμα στη διαδρομή του ραδιοκύματος από τον πομπό προς τον δέκτη. Σύμφωνα με την αρχή Huygens, παράγονται δευτερογενή κύματα από το εμπόδιο, τα οποία φθάνουν στο δέκτη ακόμα και όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Η περίθλαση εξηγεί το πως μπορεί να διαδίδεται η ενέργεια των ραδιοκυμάτων σε αστικές και ημιαστικές περιοχές χωρίς να υπάρχει οπτική επαφή πομπού και δέκτη. **Σχήμα 2.1.1.2**

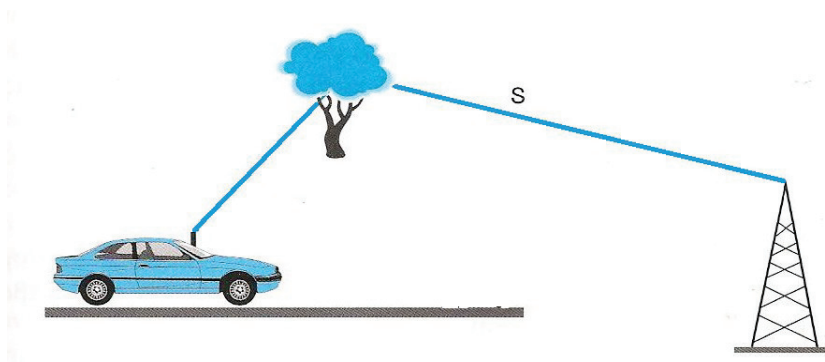


Σχήμα 2.1.1.2

Μηχανισμός διάδοσης, περίθλαση (D).

2.1.1.3 Σκέδαση.

Η σκέδαση εμφανίζεται στην περίπτωση όπου στη διαδρομή του ραδιοκύματος υπάρχουν αντικείμενα με διαστάσεις ίσες ή μικρότερες από το μήκος του κύματος. Η σκέδαση ακολουθεί τους ίδιους φυσικούς νόμους με τη διάχυση και έχει ως αποτέλεσμα την επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις. Έχει αποδειχθεί ότι η σκέδαση είναι ο μηχανισμός διάδοσης, που είναι πολύ πιο δύσκολο να προβλεφθεί στα ασύρματα συστήματα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών. Για παράδειγμα, στα μικροκυβελωτά συστήματα που λειτουργούν σε αστικές περιοχές, οι θέσεις των λαμπτήρων και των σημάτων οδικής κυκλοφορίας σκεδάζουν ενέργεια προς πολλές κατευθύνσεις και παρέχουν συνεπώς ραδιοκάλυψη σε περιοχές που μπορεί να μη λαμβάνουν ενέργεια μέσω ανάκλασης ή περίθλασης. **Σχήμα 2.1.1.3**



Σχήμα 2.1.1.3

Μηχανισμός διάδοσης, σκέδαση (S)

2.1.2 Αποσβέσεις του Σήματος λόγω Εδαφικών Ανωμαλιών. Απλά Εμπόδια.

Βασική εξίσωση για τη μελέτη των φαινομένων διάδοσης αποτελεί η σχέση που προσδιορίζει την απόσβεση στον ελεύθερο χώρο. Αν L η απόσβεση του σήματος σε dB ισχύει:

$$(5.1) \quad L_{(f,d)} = 20 \log f + 20 \log d + 32.44 \quad \text{dB}$$

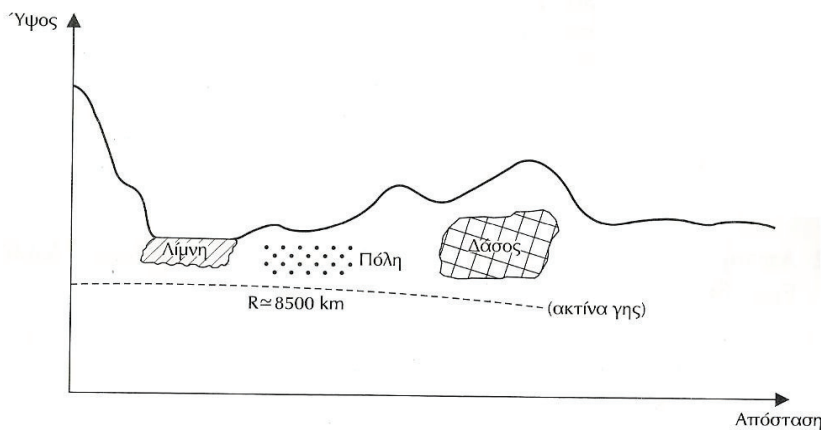
Όπου f είναι η συχνότητα σε MHz και d είναι η απόσταση από την κεραία εκπομπής σε km.

Η σχέση αναφέρεται σε ισοτροπική κεραία. Αν οι κεραίες εκπομπής και λήψης έχουν αντίστοιχα κέρδη, $G_t G_r$, τότε από την προηγούμενη σχέση πρέπει να αφαιρεθούν τα μεγέθη αυτά και να εκφραστούν σε dB.

Στην πραγματικότητα η διάδοση στον ελεύθερο χώρο αποτελεί ουτοπία. Ιδιαίτερα σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών και όχι μόνο, καθώς οι κεραίες είναι μικρού μεγέθους (χρήση μικρών μεταφερόμενων συσκευών, χρήση λίκων υψηλών συχνοτήτων) και γειτνιάζουν με το έδαφος, τα εμπόδια κατά τη διάδοση του κύματος προκαλούν δευτερογενή φαινόμενα (ανακλάσεις, περιθλάσεις, σκιάσεις) με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από την σχέση (5.1).

Για τον υπολογισμό της απόσβεσης πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι υπάρχουσες εδαφικές ανωμαλίες και τα εμπόδια. Αποδεικνύεται πολύ πρακτικό στη μελέτη των ζεύξεων να χαραχθεί η τομή του εδάφους μεταξύ κεραίων πομπού και του δέκτη (παράδειγμα που φαίνεται στο σχήμα 2.1.2.1) πάνω στο οποίο σημειώνονται οι βασικές εναλλαγές του τοπίου. Όπως ύπαρξη λίμνης ή θάλασσας, ύπαρξη κατοικημένων περιοχών, δασώδεις περιοχές, κτλ.

Μια από τις βασικότερες σχέσεις, που εφαρμόζεται ανεξαρτήτως της συχνότητας στις ραδιοζεύξεις, λαμβάνει υπόψιν την καμπυλότητα της Γης και προσδιορίζει το φαινομενικό – ενεργό ύψος ενός εμποδίου το οποίο έχει φυσικό ύψος H_0 .



Σχήμα 2.1.2.1 Τομή εδάφους

$$(5.2) \quad H_{\epsilon} = H_o + \frac{D^2}{2R}$$

Όπου D η απόσταση του εμποδίου από την κεραία εκπομπής και R η ενεργός ακτίνα της Γης (περίπου 8500 km).

Σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών η επίδραση του δείκτη διάθλασης της ατμόσφαιρας, θεωρείται αμελητέα και δε λαμβάνεται υπόψιν. Αντίθετα, αποκτούν ιδιαίτερη σημασία τα φαινόμενα περίθλασης σε εμπόδια, μικρά και μεγάλα. Συχνά ο μεταφερόμενος πομπός ή δέκτης (κινητό) κρυμμένος πίσω από πάσης φύσεως εμπόδια, χάνει την “οπτική επαφή του” με το σταθμό που επικοινωνεί, ακόμα και στην περίπτωση που βρίσκεται θεωρητικά στο ραδιοηλεκτρικό ορίζοντα του σταθμού αυτού.

Οι υπολογισμοί της απόσβεσης παρουσία εμποδίων δεν είναι απλή υπόθεση.

Εξαρτώνται προφανώς από το σχήμα και τη φύση (υλικό) του εμποδίου. Απλοποιούνται σχετικά εάν υποθέσουμε για τα εμπόδια απλά γεωμετρικά μοντέλα. Η προσέγγιση σε περίπτωση πολλών εμποδίων δεν είναι μονοσήμαντη.

α) *Απώλειες από εμπόδιο με ακμή χωρίς πάχος.*

Η κεραία εκπομπής βρίσκεται σε απόσταση d_1 από την ακμή. Τα σημεία της ακμής του επιπέδου συμπεριφέρονται ως δευτερογενείς πηγές του σήματος (περίθλαση), σχήμα 2.1.2.2, σχ 2.1.2.3.

$$(5.3\alpha) \quad E = \frac{E_o}{(1+j) \int_u^\infty e^{j\pi t^2} dt}$$

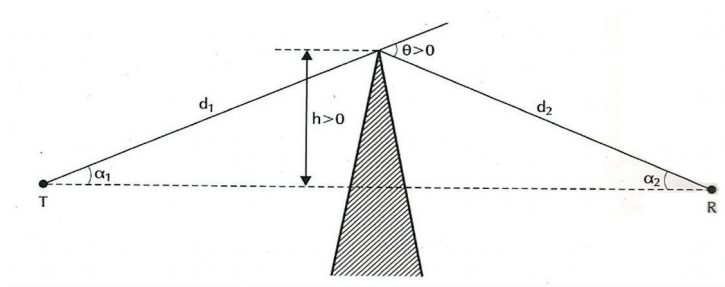
όπου

$$(5.3\beta) \quad u = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

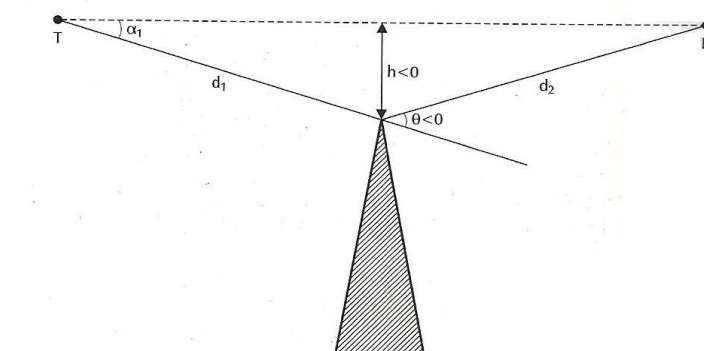
και h το ύψος του εμποδίου (θετικό ή αρνητικό).

Η παραπάνω σχέση (5.3β) ισχύει όταν θεωρήσουμε την απόσταση d_1 μεγάλη ώστε η γωνία περίθλασης θ να είναι σχετικά μικρή, (δίνεται, $\theta < 12^\circ$).

Η παράμετρος u , γνωστή και ως παράμετρος Fresnel - Kirchhoff, παίρνει θετικές τιμές και αρνητικές τιμές (θετικό ή αρνητικό h), σχήμα 2.1.2.2 και 2.1.2.3 αντιστοίχως.



Σχήμα 2.1.2.2 Παράμετρος u Fresnel - Kirchhoff με θετική τιμή, λόγω του $h > 0$.



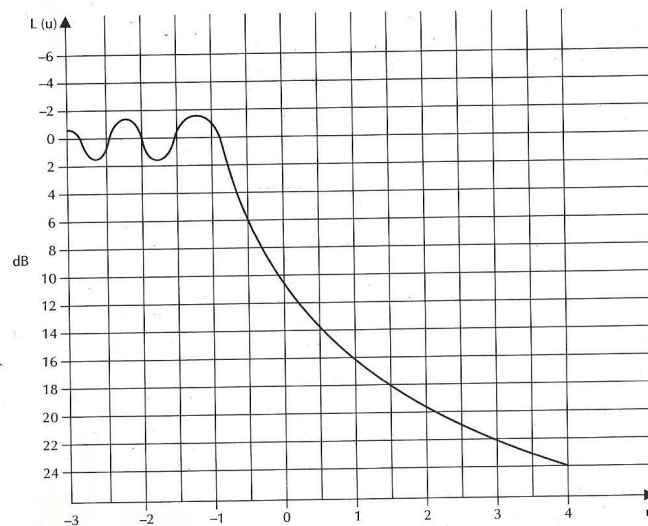
Σχήμα 2.1.2.3 Παράμετρος u Fresnel - Kirchhoff με αρνητική τιμή, λόγω του $h < 0$.

Σε περιβάλλον κινητών επικοινωνιών συνήθως $u > -1$ και η συχνότερα εφαρμοζόμενη σχέση για τις απώλειες είναι σε dB:

$$(5.4) \quad L(u) = 6.4 + 20 \log[\sqrt{u^2 + 1} + u]$$

Στο σχήμα 2.1.2.4 δίνεται η γραφική παράσταση των απωλειών $L(u)$. Διαπιστώνεται ότι η ασύμπτωτος ευθεία (P) της γραφικής παράστασης για μεγάλες τιμές της παραμέτρου u είναι:

$$P = 13 + \log u$$



Σχήμα 2.1.2.4

Γραφική παράσταση των απωλειών $L(u)$ σε απλό εμπόδιο

2.1.3 Αρχή του Huygens.

Μέχρι στιγμής εξετάσαμε τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ελεύθερο χώρο. Εκεί, ένα επίπεδο κύμα θα διαδοθεί σε σταθερή κατεύθυνση και με σταθερή ταχύτητα c . Όταν όμως το κύμα συναντήσει μια περιοχή με ύλη - όπως πχ ένα μεταλλικό φύλλο, το τζάμι ενός παραθύρου ή ένα στρώμα νερού - θα αλληλεπιδράσει με την ύλη και θα μεταβληθούν η ταχύτητα, η κατεύθυνση, η ένταση και η πόλωση του.

Αυτές οι μεταβολές μπορούν φυσικά να υπολογιστούν από τις εξισώσεις Maxwell, αν ληφθούν υπόψη τα ηλεκτρικά φορτία και ρεύματα, που επάγονται από τη δράση του

κύματος μέσα στην ύλη. Συχνά όμως οι υπολογισμοί γίνονται εξαιρετικά πολύπλοκοι. Επί πλέον, οι εξισώσεις Maxwell μας δίνουν πολύ περισσότερες πληροφορίες από αυτές που συνήθως θα θέλαμε να ξέρουμε. Για παράδειγμα, αν ένα κύμα προσπέσει σε επιφάνεια νερού, μπορεί να θέλουμε να υπολογίσουμε τη γωνία με την οποία εισέρχεται στο νερό, πολλές φορές όμως δεν ενδιαφερόμαστε για τις μεταβολές της έντασης και της πόλωσης. Θα διαπιστώσουμε ότι ένας απλό κανόνας, που ονομάζεται Αρχή του Huygens (ή κατασκευή κατά Huygens), μας επιτρέπει να ανακαλύψουμε, χωρίς πολύπλοκους υπολογισμούς, πως η αλλαγή της κατεύθυνσης διάδοσης σχετίζεται με την αλλαγή της ταχύτητας του κύματος, καθώς εισέρχεται σε περιοχή που είναι γεμάτη ύλη.

Ο Huygens διατύπωσε τη θεωρία ότι το φως είναι κύμα και διαδίδεται στο χώρο με τη μορφή ομόκεντρων σφαιρών που απομακρύνονται από τη πηγή του φωτός. Σύμφωνα με την αρχή Huygens, παράγονται δευτερογενή κύματα από το εμπόδιο, τα οποία φθάνουν στο δέκτη ακόμη και όταν δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η κατασκευή Huygens είναι γεωμετρική κατασκευή βασισμένη στη συμπεριφορά του μετώπου των κυμάτων, παρακάμπτει δε τις εξισώσεις Maxwell.

Η διάδοση των κυμάτων μπορεί να περιγραφεί με τη βοήθεια των μετώπων κύματος, ή των κορυφών του κύματος, δηλαδή των σημείων στα οποία το κύμα έχει το μέγιστο πλάτος (με πλάτος κύματος από εδώ και στο εξής θα εννοούμε το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου). Για παράδειγμα στο Σχ 2.1.3.1 φαίνονται τα στιγμιαία μέτωπα σφαιρικού κύματος τα οποία εκπέμπονται από ένα ραδιοπομπό. Με την πάροδο τού χρόνου καθένα από αυτά τα μέτωπα κύματος διαδίδονται απομακρυνόμενα από τον πομπό.

Ο κανόνας που διέπει τη διάδοση τη διάδοση των μετώπων κύματος είναι η Κατασκευή κατά Huygens :

Για να βρούμε τη νέα θέση στην οποία μετατοπίστηκε το μέτωπο κύματος στο χρονικό διάστημα Δt , σχεδιάζουμε πολλές μικρές σφαίρες ακτίνας [ταχύτητα κύματος] $\times \Delta t$ με κέντρα στην παλιά θέση του μετώπου κύματος. Το νέο μέτωπο κύματος είναι η περιβάλλουσα εφαπτομένη επιφάνεια αυτών των σφαιρών.

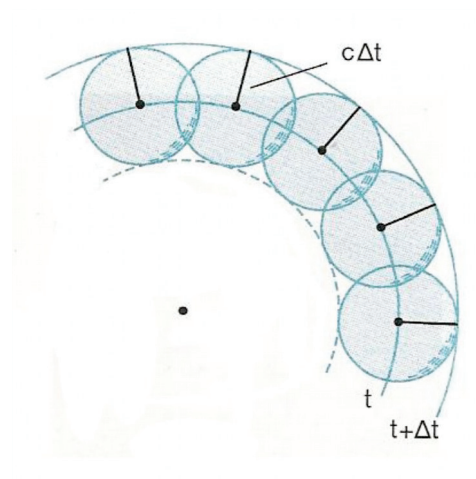


Σχήμα 2.1.3.1

Μέτωπα σφαιρικού κύματος σε κάποια χρονική στιγμή. Λίγο αργότερα, καθένα από αυτά τα μέτωπα κύματος θα έχει κινηθεί κατά κάποια απόσταση προς τα έξω.

Οι μικρές σφαίρες που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη κατασκευή ονομάζονται κυματίδια.

Στο **Σχήμα 2.1.3.2** φαίνεται πως εφαρμόζεται η Κατασκευή κατά Huygens σε ένα από τα σφαιρικά μέτωπα κύματος του σχήματος 2.1.3.1.



Σχήμα 2.1.3.2

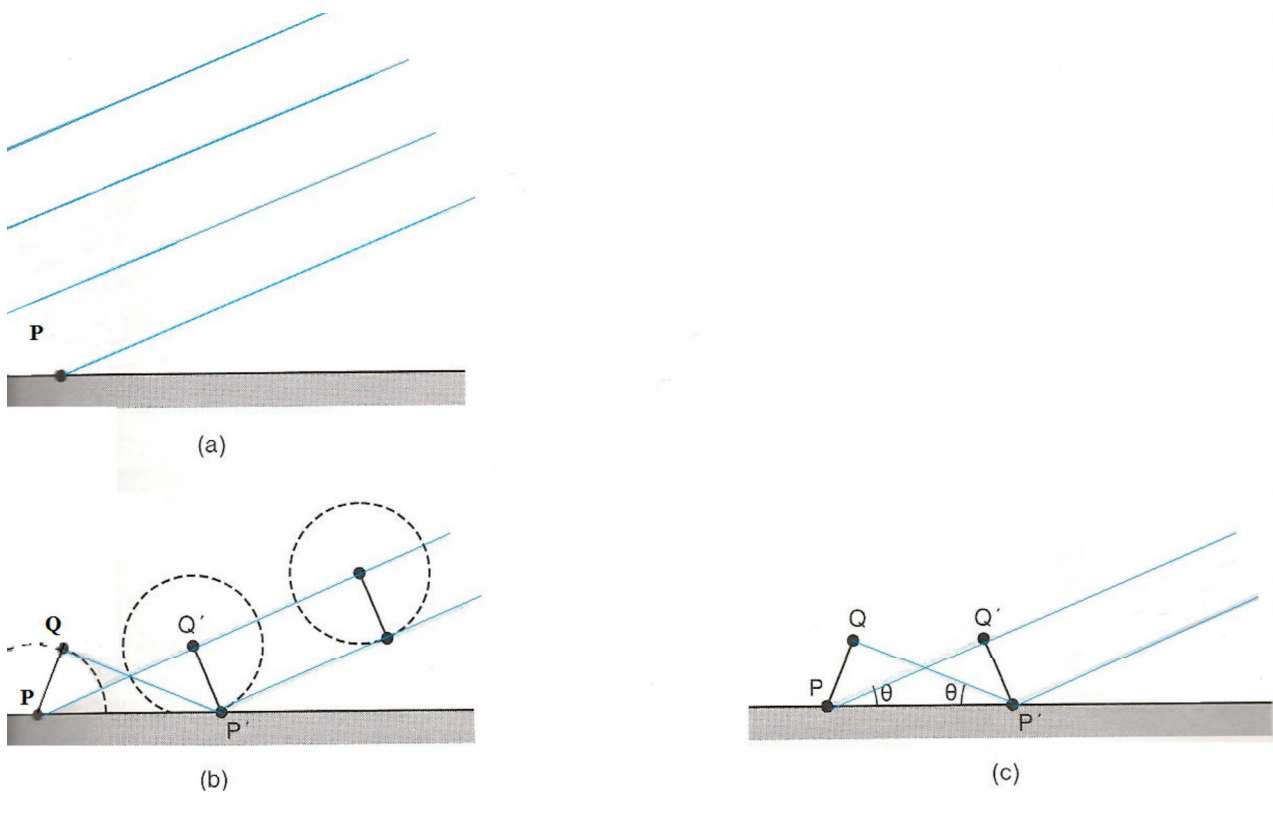
Κατασκευή κατά Huygens της διάδοσης ενός μετώπου κύματος. Το εσωτερικό συνεχές τόξο δείχνει το μέτωπο του κύματος τη στιγμή t . Το εξωτερικό συνεχές τόξο δείχνει το μέτωπο του κύματος τη στιγμή $t + \Delta t$. Το διακεκομμένο τόξο δείχνει το χρονικά ανεστραμμένο (συγκλίνων) κύμα.

Η ταχύτητα κύματος σε αυτό το παράδειγμα είναι c και συνεπώς η ακτίνα των κυματιδίων είναι $c\Delta t$. Σημειώνετε επίσης ότι τα κυματίδια του σχήματος 2.1.3.2 έχουν δύο

εφαπτόμενες επιφάνειες, μια εξωτερική και μια εσωτερική. Προφανώς η πρώτη επιφάνεια είναι η κατάλληλη στο πρόβλημα μας (η δεύτερη επιφάνεια θα ήταν κατάλληλη αν είχαμε ένα συγκλίνον κύμα, το οποίο είχε σταλεί προς, πχ έναν ραδιοπομπό και ήταν ακριβώς εστιασμένο σε αυτόν.

Η κατασκευή κατά Huygens εφαρμόζεται όχι μόνο στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό, αλλά επίσης και στη διάδοση σε οποιοδήποτε διαφανές μέσο. Η κατασκευή αυτή μας επιτρέπει να εξάγουμε τους νόμους της ανάκλασης και της διάθλασης. Η κατασκευή κατά Huygens είναι γενικό χαρακτηριστικό της διάδοσης κυμάτων, εφαρμόζεται το ίδιο καλά τόσο σε ηχητικά όσο και σε υδατικά κύματα. Οι νόμοι της ανάκλασης και της διάθλασης όλων αυτών των κυμάτων είναι ουσιαστικά οι ίδιοι και σε μερικά από τα παρακάτω παραδείγματα εκμεταλλευόμαστε αυτό το γεγονός.

- Ο νόμος της ανάκλασης του κύματος, το οποίο προσπίπτει σε επίπεδη επιφάνεια υπό κάποια γωνία είναι ευρέως γνωστό ότι η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης, **σχήμα 2.1.3.3.**



Σχήμα 2.1.3.3

(a) Μέτωπα κύματος που πλησιάζουν μια ανακλαστική επιφάνεια

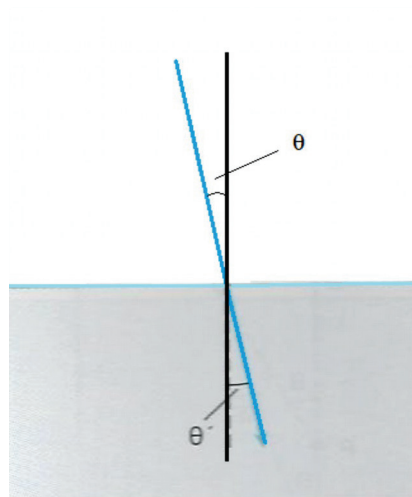
(b) Κυματίδια Huygens σχεδιασμένα στο εμπρόσθιο μέτωπο κύματος του μέρους (α)

(c) Το προσπίπτον μέτωπο κύματος PQ' σχηματίζει γωνία θ με την ανακλαστική επιφάνεια. Το ανακλώμενο μέτωπο κύματος QP' σχηματίζει γωνία θ με αυτή την επιφάνεια.

- Ο νόμος της διάθλασης : $\sin \theta = n \sin \theta'$ (10)

Η παραπάνω εξίσωση, (10), περιγράφει την αλλαγή κατεύθυνσης ενός κύματος όταν διεισδύει σε ένα διαφανές υλικό. Αυτή η αλλαγή της κατεύθυνσης ονομάζεται διάθλαση η εξίσωση (1) ονομάζεται νόμος διάθλασης ή **Νόμος του Snell**. Η γωνία θ' η γωνία διάθλασης. Είναι συνήθως πιο βολικό να μετράμε αυτές τις γωνίες μεταξύ των ακτίνων και της καθέτου προς την επιφάνεια. Στο **σχήμα** 2.1.3.4 φαίνονται οι προσπίπτουσες και οι διαθλασμένες ακτίνες, καθώς και οι γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης. Σημειώνεται ότι η ακτίνα μέσα στο υλικό έχει καμφθεί προς την κάθετο, έχουμε δηλαδή $\theta' < \theta$. Επίσης ο τύπος (1) που περιγράφει τη διάθλαση στη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του κενού και ενός υλικού, είναι ειδική περίπτωση ενός γενικού τύπου που περιγράφει τη διάθλαση στη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών. Αν οι δείκτες διάθλασης των υλικών είναι n_1 και n_2 και οι γωνίες μεταξύ των ακτίνων και της καθέτου είναι θ_1 και θ_2 θα έχουμε

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (11)$$

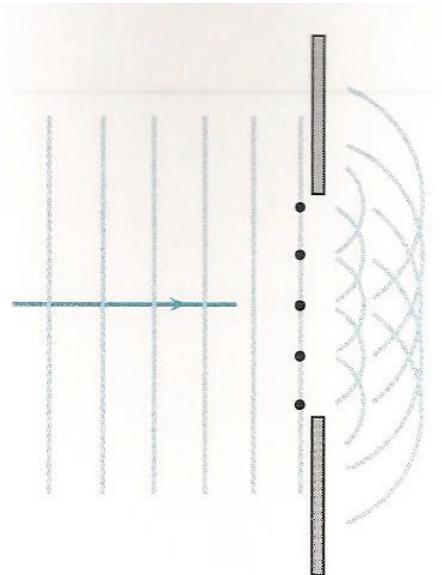


Σχήμα 2.1.3.4

Η γωνία πρόσπτωσης θ και η γωνία διάθλασης θ'

- Περίθλαση Απλής Σχισμής στο **σχήμα** 2.1.3.5. φαίνεται ένα φωτεινό κύμα που προσπίπτει στη σχισμή μια αδιαφανούς πλάκας. Για να βρούμε την κατανομή του κύματος στο χώρο πέρα από τη σχισμή, θα χρησιμοποιήσουμε την ακόλουθη συνταγή, που ονομάζεται **αρχή των Huygens - Fresnel**.

Προσποιηθείτε ότι κάθε σημείο του μετώπου κύματος που προσπίπτει στη σχισμή, μπορεί να θεωρηθεί ως σημειακή πηγή φωτός, η οποία εκπέμπει σφαιρικά κύματα. Το συνιστώμενο κύμα στην περιοχή πέρα από τη σχισμή είναι απλώς η υπέρθεση όλων αυτών των κυμάτων



Σχήμα 2.1.3.5

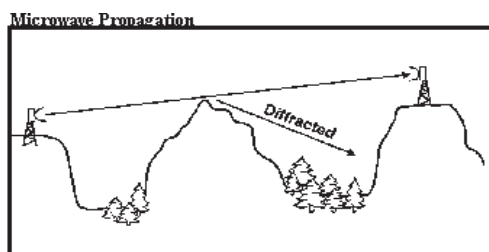
Επίπεδο κύμα το οποίο προσπίπτει στη σχισμή αδιαφανούς πλάκας. Κάθε σημείο του μετώπου κύματος στη σχισμή δημιουργεί ένα σφαιρικό κύμα που διαδίδεται πέρα από τη σχισμή.

Η αρχή αυτή έχει πολλές προφανείς ομοιότητες με την Κατασκευή κατά Huygens, η οποία όμως είναι απλώς μια γεωμετρική κατασκευή που μας επιτρέπει να βρούμε τις διαδοχικές θέσεις των μετώπων κύματος.

Το μέγεθος των απωλειών κοντά και πίσω από τα εμπόδια εξαρτάται από:

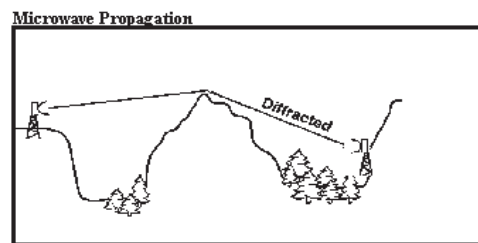
(1) Το ραδιοηλεκτρικό μέγεθος των εμποδίων: όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος συγκριτικά με τις φυσικές διαστάσεις του εμποδίου, τόσο πιο μεγάλες είναι οι απώλειες περίθλασης.

(2) Τη θέση του εμποδίου σχετικά με την ευθεία οπτικής επαφής, ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη. Όσο πιο έντονα παρεμβάλλεται το εμπόδιο στην ευθεία οπτικής επαφής τόσο πιο μεγάλες είναι οι απώλειες και ο δέκτης θα πρέπει να μετακινηθεί σε περιοχές πιο έντονης ραδιοσκίασης. **Σχήμα 2.1.3.6-7**



Σχήμα 2.1.3.6

Περίθλαση



Σχήμα 2.1.3.7

Μετακίνηση του δέκτη σε περιοχή με σκίαση.

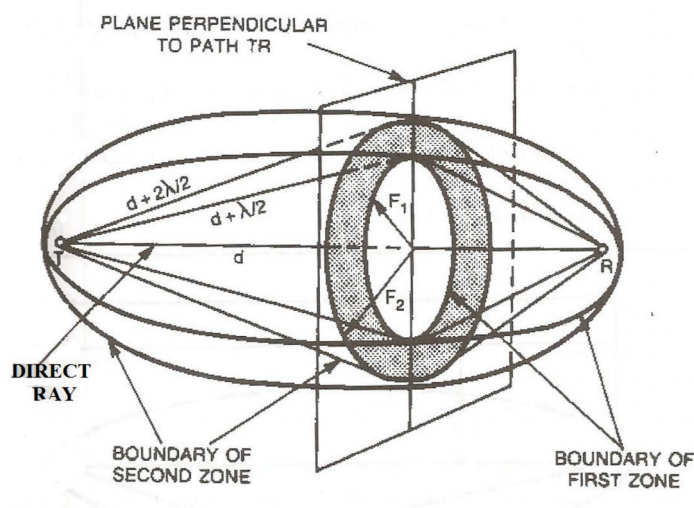
2.1.4 Ελλειψοειδείς Ζώνες Fresnel.

Το φαινόμενο της περίθλασης, λαμβάνει χώρα, όταν διάφορα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια παρεμβάλλονται ή βρίσκονται κοντά στην οδό της διάδοσης του κύματος. Συνεπώς σε αυτό το σημείο μπαίνει το ερώτημα: Σε ποία απόσταση από την οδό διάδοσης το φαινόμενο της περίθλασης θεωρείται αμελητέο; Ο ορισμός της απόστασης ασφαλείας, σε ότι αφορά τις απώλειες περίθλασης, βασίζεται στην έννοια ενός γεωμετρικού τόπου, που ονομάζεται ζώνη Fresnel.

Συγκεκριμένα, ο ενδιάμεσος χώρος κυματικής διάδοσης ανάμεσα στον πομπό T και το δέκτη R, μπορεί να υποδιαιρεθεί από μια οικογένεια ομόκεντρων ελλειψοειδών, που ονομάζονται ελλειψοειδή Fresnel, **σχήμα 2.1.4.1**. Κάθε ελλειψοειδές Fresnel έχει εστιακά σημεία T και R, ενώ κάθε σημείο M στην επιφάνεια του ικανοποιεί τη σχέση:

$$TR+TM=TR+n\frac{\lambda}{2} \quad (10.8)$$

Η κάθε διαφορετική τιμή του $n(=1,2,3,\dots)$ ορίζει ένα μοναδικό ελλειψοειδές π.χ για $n=1$ έχουμε το 1^ο ελλειψοειδές Fresnel.



Σχήμα 2.1.4.1

Ελλειψοειδές Fresnel

Η τομή των ελλειψοειδών με ένα επίπεδο κάθετο στην οδό διάδοσης (μέτωπο του κύματος) ορίζει μια σειρά ομόκεντρων κύκλων ακτίνας R_n ($n=1,2,3,\dots$) που ονομάζονται ζώνες Fresnel.

Σύμφωνα με τη σχέση (10.8) και το σχήμα 2.1.4.1 στην περιφέρεια της n-οστής ζώνης Fresnel ικανοποιείται η σχέση

$$(10.9) \quad d_3 + d_4 = (d_1 + d_2) + n\frac{\lambda}{2}$$

ενώ η ακτίνα της δίνεται από τον ακόλουθο γενικό τύπο :

$$(10.10) \quad R_{f_n} = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{nR_{f1}}$$

Για $n=1$, προκύπτει η ακτίνα της 1ης ζώνης Fresnel

$$(10.11) \quad R_{f1} = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

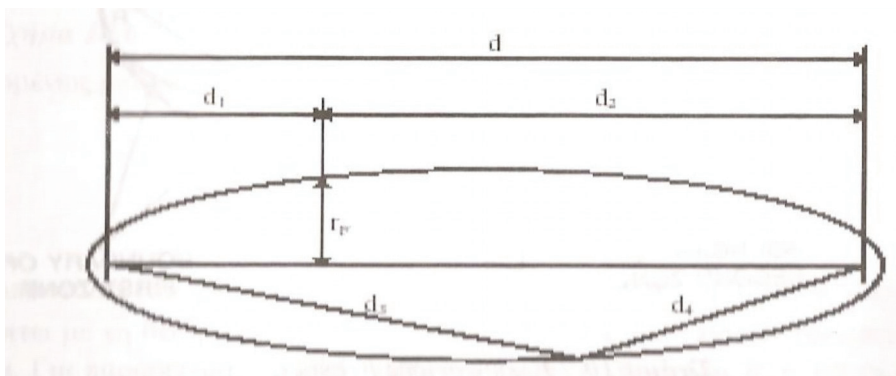
όπου:

d_1 : Η απόσταση από το αριστερό εστιακό σημείο (κεραία-πομπός) έως το σημείο υπολογισμού (km).

d_2 : Η απόσταση από το δεξιό εστιακό σημείο (κεραία-δέκτης) έως το σημείο υπολογισμού (km).

$d=d_1+d_2$: Η εστιακή απόσταση ή ισοδύναμα η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη (km)

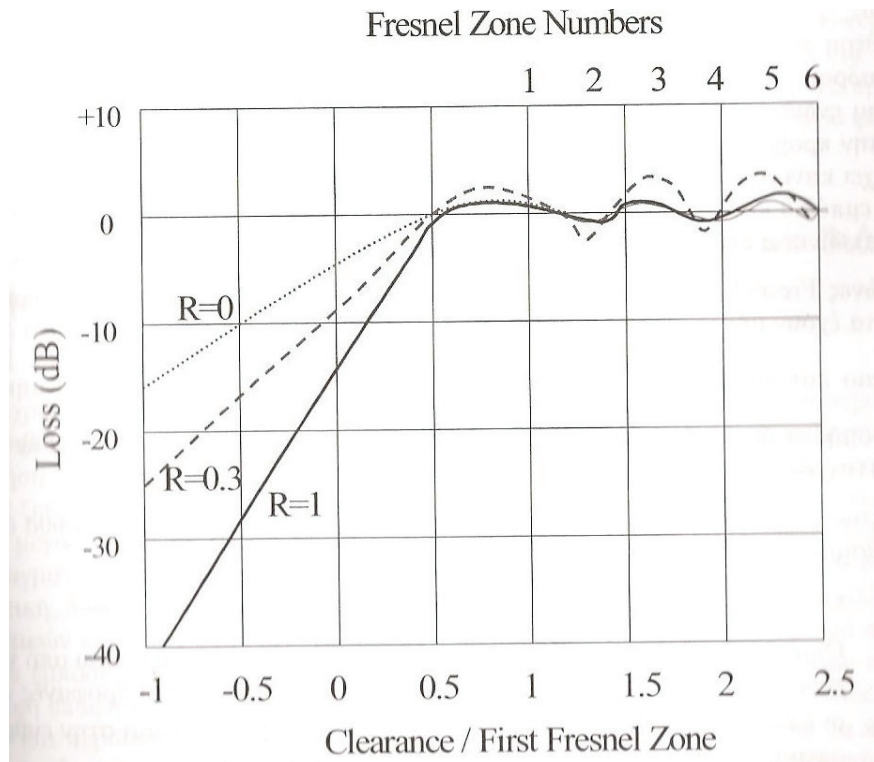
f : Η συχνότητα μετάδοσης (GHz).



Σχήμα 2.1.4.2

Ακτίνα 1ης Ζώνης Fresnel σε συγκεκριμένο σημείο της οδού διάδοσης.

Αν υποθεθεί ότι στην περιοχή των ζωνών Fresnel υπάρχουν δευτερογενείς πηγές ακτινοβολίας (από περίθλαση) που επάγονται από τον πομπό T, τότε τα κύματα που θα φθάσουν στο δέκτη R θα έχουν διαφορά φάσης $n\lambda/2$ συγκριτικά με το κατευθείαν κύμα. Η διαφορά φάσης μεταξύ των κυμάτων μπορεί να προκαλέσει, στην καλύτερη περίπτωση, μια ενδυνάμωση του κατευθείαν κύματος, αλλά οπωσδήποτε υπάρχει και το ενδεχόμενο μιας σημαντικής εξασθένησης. Γενικά η ενδυνάμωση του κύματος, όταν οι επιμέρους συνιστώσες του βρίσκονται σε φάση, αποτελεί ένα bonus που συνήθως δεν υπολογίζεται ως αναμενόμενο. Αντίθετα, η πιθανότητα εξασθένησης συνυπολογίζεται, έτσι ώστε να υπάρχει πρόβλεψη ακόμη και για τη δυσμενέστερη εκδοχή. Ο πρακτικός κανόνας που χρησιμοποιείται στη σχεδίαση των ραδιοζεύξεων, προκειμένου να αποφευχθούν οι απώλειες περίθλασης, είναι η απουσία εμποδίων στο χώρο που ορίζει η 1η ζώνη Fresnel ή τουλάχιστον το 0.6 της 1ης ζώνης, **σχήμα 2.1.4.3**



Σχήμα 2.1.4.3

Απώλειες λόγω περίθλασης ανάλογα με την ύπαρξη εμποδίων γύρω από την ευθεία οπτικής επαφής.

Στο σχήμα 2.1.4.3 σχεδιάζονται γραφικά οι απώλειες για εμπόδια διαφορετικής καμπυλότητας, και για διαφορετικών αποστάσεων από την οδό διάδοσης. Το R είναι παράγοντας καμπυλότητας δηλ. το $R=0$ αντιστοιχεί σε ένα αιχμηρό εμπόδιο, ενώ το $R=1$ σε ένα τέλειο σφαιρικό εμπόδιο. Η απόσταση του εμποδίου από την ευθεία πομπού - δέκτη εκφράζεται συναρτήσει της ακτίνας της 1ης ζώνης Fresnel, πχ η αρνητική τιμή -0.5 σημαίνει ότι η κορυφή του εμποδίου βρίσκεται σε ύψος $0.5R_{F1}$ πάνω από την ευθεία πομπού και δέκτη. Ανάλογα, η θετική τιμή 0.5 σημαίνει ότι το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση R_{F1} κάτω από την ευθεία πομπού-δέκτη. Το κλάσμα της απόστασης του εμποδίου από την ευθεία οπτικής επαφής προς την ακτίνα της 1ης ζώνης Fresnel, αναφέρεται ως καθαρότητα (clearance) της 1ης ζώνης Fresnel.

Απαραίτητη προϋπόθεση για να έχουμε μετάδοση σε συνθήκες ελεύθερου χώρου (free

space) είναι η διατήρηση μιας περιοχής γνωστής ως πρώτη ζώνη Fresnel η οποία να είναι ελεύθερη από εμπόδια. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι κεραίες πρέπει να υψωθούν τόσο όσο χρειάζεται για να είναι η πρώτη ζώνη Fresnel ελεύθερη από εμπόδια. Εάν οι κεραίες βρίσκονται σχετικά χαμηλά με την απευθείας διαδρομή μετάδοσης (line of sight) να περνά κοντά στην επιφάνεια της Γης σε κάποια ενδιάμεσα σημεία, τότε η απώλεια του σήματος είναι αρκετά μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη απώλεια ελεύθερου χώρου, παρόλο που στη διαδρομή δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο. Το ποσοτικό μέτρο που καθορίζει εάν έχουμε ή όχι εδαφικά εμπόδια και κατ'έκταση αν έχουμε ή όχι απώλειες περίθλασης, δίνεται από τις ελλειψοειδείς ζώνες Fresnel.

Οι ζώνες Fresnel αντιπροσωπεύουν συνεχόμενες περιοχές όπου τα δευτερεύοντα κύματα έχουν μήκος διαδρομής από τον πομπό στο δέκτη το οποίο είναι κατά ένα ακέραιο πολλαπλάσιο της τάξης του $n \frac{\lambda}{2}$ μεγαλύτερο από το συνολικό μήκος διαδρομής στην περίπτωση οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη (line of sight) (σχέση 10.8).

Η εξέταση του διαγράμματος αλλά και των σχέσεων κατατείνει στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Οι απώλειες αυξάνουν όσο αυξάνει η καμπυλότητα του εμποδίου.
- Οι απώλειες αυξάνουν μονότονα καθώς η απόσταση του εμποδίου από την ευθεία οπτικής επαφής γίνεται μικρότερη από $0.6R_{FL}$. Είναι προφανές ότι οι απώλειες μεγιστοποιούνται όταν το εμπόδιο παρεμβάλλεται στην ευθεία οπτικής επαφής (αρνητικές τιμές στον οριζόντιο άξονα)

Το πρότυπο κλίσεων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές μικρό-κυψελών.

2.1.5 Μιγαδικό ολοκλήρωμα Fresnel

Έχουν προταθεί εκφράσεις που δίνουν τις απώλειες περίθλασης για σχετικά απλές περιπτώσεις, όπως η περίπτωση ενός απλού εμποδίου το οποίο περιγράφηκε στην **παράγραφο 2.1.2**. Αυτό είναι και το πιο απλό μοντέλο που ισχύει για τον υπολογισμό των αποσβέσεων λόγω περίθλασης.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του ηλεκτρικού πεδίου γίνεται με τη βοήθεια του μιγαδικού ολοκληρώματος Fresnel $F(v)$, το οποίο αποτελεί συνάρτηση της παραμέτρου Fresnel -

Kirchhoff. Στηριζόμενοι στην Αρχή κατά Huygens όπου το πεδίο υπολογίζεται στην περιοχή σκίασης του εμποδίου από τη συμβολή δευτερευόντων πηγών κύματος και εάν E_0 είναι η τιμή του πεδίου κάτω από συνθήκες ελεύθερου χώρου και η απουσία τόσο του εδάφους, όσο και του εμποδίου, το περιθλώμενο πεδίο θα δίνεται από τη σχέση:

$$(2.1.6) \quad \frac{E_d}{E_0} = F(v) = \frac{(1+j)}{2} \int_v^{\infty} \exp\left(\frac{-j\pi t^2}{2}\right) dt$$

Το κέρδος περίθλασης που οφείλεται στην παρουσία του εμποδίου συγκρινόμενο με το ηλεκτρικό πεδίο ελεύθερου χώρου δίνεται από τη σχέση:

$$(2.1.7) \quad G_d(dB) = 20 \log_{10} |F(v)|$$

όπου G_d κέρδος περίθλασης, (diffraction).

2.1.5.1 Απώλειες Περίθλασης

Το πρόβλημα του υπολογισμού των αποσβέσεων λόγω της περίθλασης είναι εξαιρετικά σύνθετο και δύσκολο. Για τον υπολογισμό του προβλήματος χρησιμοποιούνται συνήθως γραφικές και αριθμητικές λύσεις. Μια κατά προσέγγιση λύση έχει προταθεί από τον Lee, με την βοήθεια της οποίας επιτρέπεται ο υπολογισμός των αποσβέσεων, με κάποιο ενδεικτικό σφάλμα.

Ο τύπος του Lee δίνει της απώλειες περίθλασης συναρτήσει της παραμέτρου Fresnel – Kirchhoff κατά τις σχέσεις που ακολουθούν:

$$G_d(dB) = 0 \quad v \leq -1$$

$$G_d(dB) = 20 \cdot \log_{10} (0.5 - 0.62 \cdot v) \quad -1 \leq v \leq 0$$

$$G_d(dB) = 20 \cdot \log_{10} (0.5 \cdot \exp(-0.95 \cdot v)) \quad 0 \leq v \leq 1$$

$$G_d(dB) = 20 \cdot \log_{10} \left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.38 - 0.1 \cdot v)^2} \right) \quad 1 \leq v \leq 2.4$$

$$G_d(dB) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{0.225}{v} \right) \quad v \leq 2.4$$

“Οι μέθοδοι που ακολουθούν αναφέρονται σε περιπτώσεις που έχουμε πολλαπλά εμπόδια, τα οποία εμποδίζουν την άμεση οπτική επαφή πομπού και δέκτη” (από 2.1.6 έως 2.1.8).

2.1.6 Μέθοδος Millington

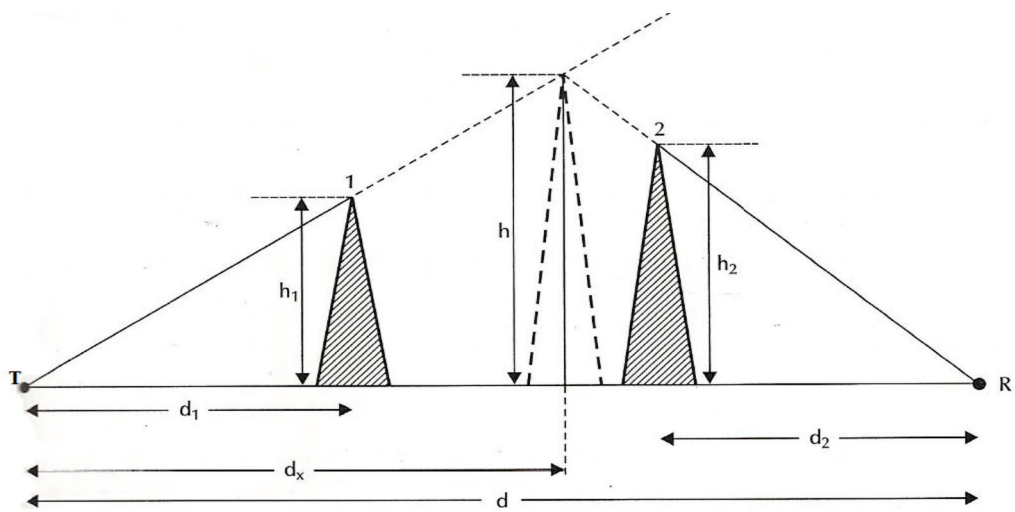
Στην περίπτωση δύο ή περισσότερων εμποδίων είναι σχεδόν αδύνατη η ανάλυση του προβλήματος της διάδοσης προγενώς, δηλαδή με τη χρήση πολλαπλών ολοκληρωμάτων. Αντιθέτως έχουν προταθεί προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού της απόσβεσης από αλληπάλληλα εμπόδια, που ενίοτε δίνουν διαφορετικά αποτελέσματα, έχουν όμως ενδιαφέρον ως προς τη βήμα-βήμα σχηματοποίηση του προβλήματος της διάδοσης.

Η μέθοδος Millington επιλύει το πρόβλημα αντικαθιστώντας τα δύο εμπόδια από ένα (εισάγοντας την έννοια του συνιστάμενου εμποδίου), όπως φαίνεται στο **σχήμα** 2.1.6.1. Στη συνέχεια το πρόβλημα ανάγεται στον υπολογισμό της νέας παραμέτρου u με βάση τη σχέση (5.3.β) για το συνιστάμενο ύψος και στην εφαρμογή της σχέσης (5.4).

Το ισοδύναμο ύψος h και η θέση d_x υπολογίζονται από τη γεωμετρία του σχήματος.

Ισχύουν οι σχέσεις :

$$\frac{h}{h_1} = \frac{d_x}{d} \text{ και } \frac{h}{h_2} = \frac{d - d_x}{d_2}$$



Σχήμα 2.1.6.1

Μέθοδος *Millington*. Υπολογισμός συνισταμένου ύψους.

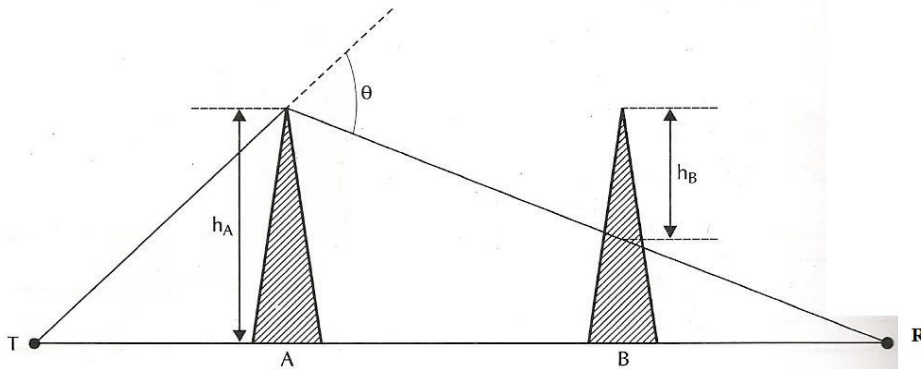
Επομένως εύκολα προκύπτει ότι:

$$(5.9) \quad h = \frac{d}{\left[\frac{d_1}{h_1} + \frac{d_2}{h_2} \right]}$$

2.1.7 Μέθοδος Deygout

Στη μέθοδο αυτή, ονομάζεται και μέθοδος κυρίαρχου εμποδίου, ο υπολογισμός της απόσβεσης γίνεται αρχικά για το κάθε εμπόδιο σαν να μην υπήρχαν άλλα. Ξεκινώντας διαδοχικά από τον υπολογισμό της απόσβεσης που εισάγει το πρώτο εμπόδιο (δηλαδή της παραμέτρου u), που βρίσκεται πλησιέστερα προς τον πομπό, σχήμα 2.1.8.1 προσδιορίζεται πιο είναι το κυρίαρχο εμπόδιο που εισάγει τη μεγαλύτερη απόσβεση. Στον τελικό υπολογισμό η συνεισφορά του κυρίαρχου εμποδίου λαμβάνεται υπόψη ως κυρίαρχος όρος. Στη συνέχεια κάθε ένα από τα εμπόδια που προηγούνται του κυρίαρχου εμποδίου (από τη πλευρά του πομπού) συνεισφέρει ανεξάρτητα στο αποτέλεσμα με βάση τις σχέσεις που διατυπώθηκαν στο κεφάλαιο.... (σχέση 5.3.(α), 5.3.(β) και 5.4) σα να περιθλά την ενέργεια που προήλθε από την περίθλαση στο αμέσως προηγούμενο εμπόδιο, ενώ ως δέκτης λαμβάνεται το κυρίαρχο εμπόδιο. Για τα εμπόδια που ακολουθούν το κυρίαρχο εμπόδιο, ο

υπολογισμός της ανεξάρτητης συνεισφοράς του καθενός λαμβάνει υπόψη ως αρχικός πομπός του σήματος το κυρίαρχο εμπόδιο. Στο **σχήμα 2.1.7.1** εμφανίζονται δύο εμπόδια. Σε αυτή τη περίπτωση ως κυρίαρχο εμπόδιο θεωρείται το πλησιέστερο προς τον πομπό εμπόδιο.



Σχήμα 2.1.7.1

Μέθοδος Deygout. Ανεξάρτητη συνεισφορά των διαδοχικών εμποδίων

Για τον υπολογισμό έχουμε διαδοχικά:

$$L_{ολ} = L_A + L_B$$

Όπου

$$L_A = L(u_1) \quad \text{με} \quad u_1 = h_1 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{A}{B} + \frac{B}{R} \right)}$$

και

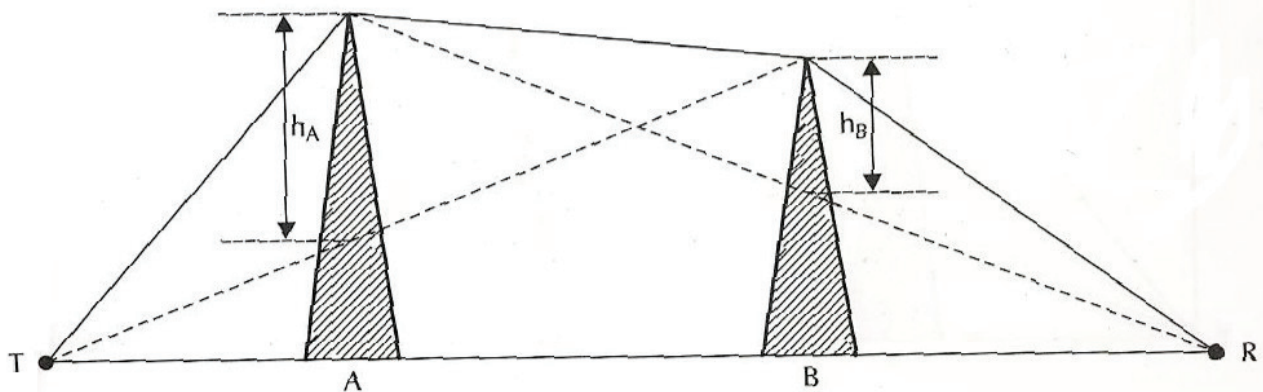
$$(5.10) \quad L_B = L(u_2) \quad \text{με} \quad u_2 = h_2 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{A}{B} + \frac{B}{R} \right)}$$

Τα μεγέθη που υπεισέρχονται στις σχέσεις φαίνονται στο σχήμα 2.1.7.1. Στη περίπτωση των δύο εμποδίων με παραμέτρους u πολύ διαφορετικές (δηλαδή υπάρχει έντονα κυρίαρχο εμπόδιο) η μέθοδος οδηγεί σε ακριβή αποτελέσματα. Όσο τα εμπόδια γίνονται συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο ακριβή.

2.1.8 Μέθοδος Epstein- Petterson

Μοιάζει αρκετά με την προηγούμενη μέθοδο, μόνο που στην περίπτωση αυτή για τον υπολογισμό των απωλειών λαμβάνεται η συνεισφορά του κάθε εμποδίου θεωρώντας ως πομπό του σήματος το προηγούμενο εμπόδιο και ως δέκτη το αμέσως επόμενο. Έτσι καλύπτεται διαδοχικά όλη η πορεία του σήματος ως το δέκτη. Αναφερόμενοι στη γεωμετρία του σχήματος 2.1.8.1 έχουμε:

$$L_{ολ} = L_A + L_B \quad \text{όπου} \quad L_A = L(u_1) \quad \text{με} \quad u_1 = h_1 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{A}{B} + \frac{B}{R} \right)}$$



Σχήμα 2.1.8.1

Μέθοδος Epstein – Petterson

και

$$L_B = L(u_2) \text{ με } u_2 = h_2 \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{A}{B} + \frac{B}{R} \right)}$$

Τα πειράματα έχουν δείξει ότι η μέθοδος Deygout οδηγούν σε αποτελέσματα λίγο μεγαλύτερα από αυτά που μετράμε στην πραγματικότητα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται περισσότερο στις μελέτες ραδιοκάλυψης διότι μας οδηγεί σε αποτελέσματα με μεγαλύτερο περιθώριο ανοχών. Η μέθοδος Epstein – Petterson προτιμάτε συχνότερα στις μελέτες προστασίας μιας ζεύξης από ανεπιθύμητες παρασιτικές παρεμβολές.

2.1.9 Μοντέλο Egli

Το παρόν μοντέλο Egli, λαμβάνει υπόψιν την εξάρτηση από τη συχνότητα και περιγράφει εμπειρικά πειραματικά μοντέλα ραδιοδιάδοσης σε διαφορετικές συχνότητες, παρέχει έναν τύπο υπολογισμού της απώλειας λήψης ισχύος συναρτήσει της συχνότητας:

$$(10.12) \quad L_p = 40 \log d - 20 \log(h_b h_m) + 20 \log\left(\frac{f}{40}\right),$$

όπου η συχνότητα f πρέπει να υπολογίζεται σε [MHz].

Αυτό το πρότυπο ισχύει για συχνότητες επάνω από 40 MHz και δουλεύει σε ανώμαλο έδαφος. Εντούτοις είναι ανακριβές και πρέπει μόνο να χρησιμοποιείται για κατά προσέγγιση εκτιμήσεις όταν δε γνωρίζουμε λεπτομέρειες για το έδαφος. Το πρότυπο αυτό είναι μια συστηματική ερμηνεία μετρήσεων και καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

2.1.10 Μοντέλο RCS (Radar Cross Section)

Το μέγεθος και η ικανότητα ενός στόχου να αντανακλά την ενέργεια ενός ραντάρ, μπορεί να συνοψιστεί σε ένα ενιαίο όρο γνωστή ως Διατομή Ρανταρ (RCS), η οποία έχει μονάδα m^2 . Η μονάδα αυτή μας δείχνει, τη διατομή ραντάρ σε μια περιοχή. Εάν το σύνολο της ενέργειας του ραντάρ προσπίπτει επί του στόχου.. αποτυπώνεται εξίσου σε όλες τις κατευθύνσεις επί του στόχου, τότε η διατομή ραντάρ θα είναι ίση με το εμβαδόν της διατομής του στόχου, όπως φαίνεται από τον πομπό. Στην πράξη, κάποιο ποσό ενέργειας απορροφάται με αποτέλεσμα η ανακλώμενη ενέργεια να μην διανέμεται σε όλες τις κατευθύνσεις. Ως εκ τούτου, η διατομή ραντάρ είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί και συνήθως προσδιορίζεται με μέτρηση.

Η επιφάνεια διατομής ραντάρ του στόχου εξαρτάται από:

- Φυσική γεωμετρία και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, (πχ. Αεροπλάνου).
- Τη κατεύθυνση του φωτισμού του πομπού-δέκτη.
- Τη συχνότητα εκπομπής του πομπού.
- Τα είδη του υλικού που χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα η χρήση της τεχνολογίας stealth μειώνει τη διατομή του ραντάρ, μειώνοντας την ανίχνευση του στόχου, (πχ στρατιωτικά αεροσκάφη που διαθέτουν την τεχνολογία stealth).

Υπολογισμός της διατομής Ραντάρ:

Είναι το μέτρο της ικανότητας ενός στόχου να αντανακλά τα σήματα ραντάρ στην κατεύθυνση του δέκτη ραντάρ, δηλαδή είναι το μέτρο της αναλογίας της πυκνότητας, η οποία “οπισθόσκεδάζεται” προς την κατεύθυνση του ραντάρ (από το στόχο), προς το μέτρο

της πυκνότητας που παρεμποδίζεται από το στόχο.

Δεδομένου ότι η ισχύς διανέμεται από το σχήμα μιας σφαίρας ένα μικρό μέρος ($4\pi R^2$) αυτού μπορεί να ληφθεί από το ραντάρ.

Διατομή Radar σ ορίζεται ως:

$$\sigma = \frac{(4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot S_r)}{S_t} \text{ mit}$$

όπου:

σ : μέτρο της ικανότητας του στόχου να αντανακλά τα σήματα του radar στη κατεύθυνση του δέκτη radar, μονάδα μέτρησης (m^2)

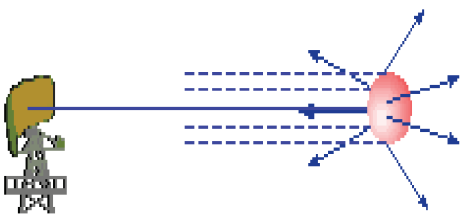
S_t : η πυκνότητα ισχύος που έχει απορροφηθεί από το στόχο, σε (W/m^2)

S_r : διάσπαρτη πυκνότητα ισχύος στην περιοχή r , (W/m^2)

Η διατομή radar ενός στόχου μπορεί να θεωρηθεί ως μία σύγκριση της αντοχής του ανακλώμενου σήματος από ένα στόχο προς το ανακλώμενο σήμα από μία τελείως λεία σφαίρα με εμβαδόν διατομής 1 m^2 .

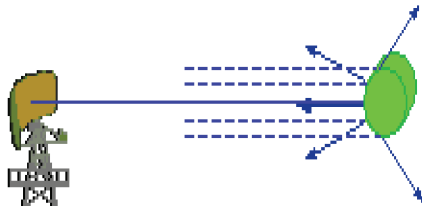
Παρακάτω εμφανίζονται οι “οπισθοσκεδάσεις” από φόρμουλες σχημάτων, ανεξάρτητα από την περιοχή συχνοτήτων:

1. Ανακλώμενο σήμα από σφαιρικό σχήμα.



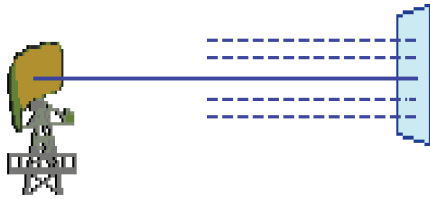
$$\sigma_{max} = \pi \cdot R^2$$

2. Ανακλώμενο σήμα από έναν κύλινδρο



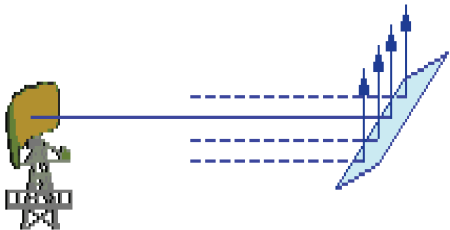
$$\sigma_{max} = \frac{4 \cdot \pi \cdot R \cdot h^2}{\lambda}$$

3. Ανακλώμενο σήμα από μία επίπεδη επιφάνεια



$$\sigma_{max} = \frac{4 \cdot \pi \cdot b^2 \cdot h^2}{\lambda^2}$$

4. Ανακλώμενο σήμα σε μία κεκλιμένη πλάκα.



Η ανακλώμενη ενέργεια αντανακλάται σε μια άλλη κατεύθυνση. Επομένως η μετάδοση του radar δεν μπορεί να επιστραφεί από το αντικείμενο στο radar.

Στις τηλεπικοινωνίες, η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου (FSPL) είναι η απώλεια της ισχύος του σήματος (ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος) που θα προέκυπτε από μια διαδρομή line of sight (Los) μέσω ελεύθερου χώρου, (χωρίς κανένα εμπόδιο μεταξύ της ζεύξης).

Η έκφραση της απώλειας διαδρομής σε ελεύθερο χώρο συμπυκνώνει στην πραγματικότητα δύο αποτελέσματα. Η απώλεια ισχύος σε ελεύθερο χώρο είναι ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ πομπού-δέκτη και επίσης είναι ανάλογη με το τετράγωνο της συχνότητας του ράδιο-σήματος.

$$s = \frac{P_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \text{ σε } (W/m^2)$$

όπου:

P_t : εκπεμπόμενη ισχύς (W)

S : δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας σε απόσταση

R : η απόσταση του πομπού από τον δέκτη (m)

Το δεύτερο αποτέλεσμα είναι το πόσο καλά μπορεί μια κεραία λήψης να λάβει ένα εισερχόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Για μια ισοτροπική κεραία, αυτό δίδεται από τη σχέση

(2.1.12α)

$$(2.1.12\alpha) \quad P_r = \frac{S \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi} \text{ σε } (W)$$

όπου:

P_r : λαμβανόμενη ισχύς (W)

S : πυκνότητα ισχύος

λ : μεταδιδόμενο μήκος κύματος (m)

Η συνολική απώλεια δίνεται από τη παρακάτω σχέση (2.1.12β)

$$(2.1.12\beta) \quad FSPL = \frac{P_t}{P_r} = \frac{(4 \cdot \pi \cdot R)^2}{\lambda^2} = \frac{(4 \cdot \pi \cdot R \cdot f)^2}{c^2}$$

όπου f η εκπεμπόμενη συχνότητα και c : η ταχύτητα του φωτός στο κενό
 $c \approx 2.99 \cdot 10^8, m/s$

Πόλωση

Το κύμα που ακτινοβολείται από κάποια κεραία διαθέτει ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Τα πεδία αυτά είναι κάθετα μεταξύ τους και το επίπεδο στο οποίο ανήκουν είναι κάθετο προς την κατεύθυνση διάδοσης. Η πόλωση του κύματος ακτινοβολίας καθορίζεται από τη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου. Στη γενική περίπτωση, ούτε η διεύθυνση ούτε το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου είναι σταθερά καθώς το κύμα διαδίδεται. Το άκρο του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου διαγράφει μια έλλειψη σε επίπεδο κάθετο προς τη διεύθυνση διάδοσης σχήμα 2.1.10.1. Η πόλωση χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες παραμέτρους.

Την κατεύθυνση περιστροφής, η οποία, σε σχέση με τη διεύθυνση διάδοσης, διακρίνεται σε δεξιόστροφη (ωρολογιακή), ή αριστερόστροφη.

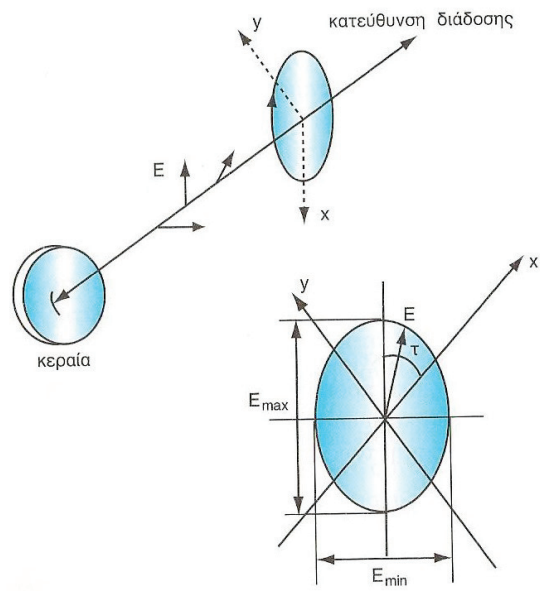
Τον αξονικό λόγο που ορίζεται ως λόγος του μεγάλου ως προς το μικρό άξονα της έλλειψης, δηλαδή

$$A_R = E_{max} / E_{min}.$$

Όταν $A_R = 1$, η πόλωση είναι κυκλική, ενώ, όταν $A_R \rightarrow \infty$, η πόλωση είναι γραμμική (οριζόντια ή κάθετη στην πόλωση).

Την κλίση της έλλειψης που ορίζεται ως η γωνία του σχήματος **2.1.10.1**.

Μια κεραία σχεδιασμένη να εκπέμπει ή να λαμβάνει υπό πόλωση δεν εκπέμπει ή λαμβάνει κύματα στην κάθετη αυτής πόλωση. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Στην πράξη, σε τέτοια συστήματα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της αποπόλωσης των κυμάτων είτε λόγω ατελειών των κεραιών είτε λόγω των διάφορων φαινομένων διάδοσης στην ατμόσφαιρα.



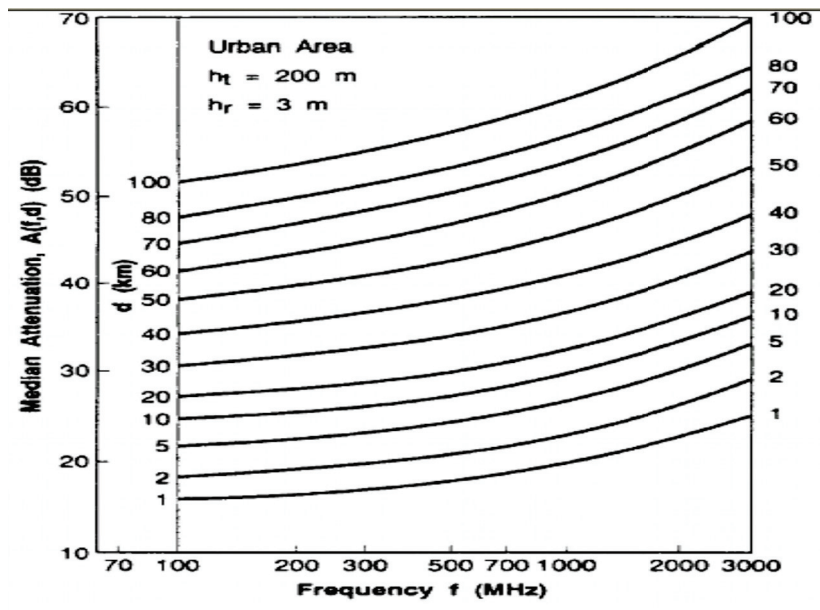
Σχήμα 2.1.10.1

Πόλωση H/M κυμάτων

2.2 Μοντέλα Διάδοσης

2.2.1 Μοντέλο Okumura - Hata

Η μέθοδος Okumura είναι ημι-εμπειρική και βασισμένη στις εκτενείς μετρήσεις που έγιναν στην περιοχή του Τόκιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μια σειρά καμπυλών, **σχήμα 2.2.1.1**, που παρουσιάζουν τη δύναμη των πεδίων σε συνάρτηση της απόστασης για τις διαφορετικές συχνότητες και τα ύψη των κεραιών.



Σχήμα 2.2.1.1

Υπολογισμός περίθλασης για διαφορετικά ύψη πομπού και δέκτη

Στο πρότυπο, καθορίζεται ένα αποτελεσματικό ύψος για τη κεραία του βασικού σταθμού προκειμένου να λάβουμε μια ένταση πεδίου κατάλληλη για διαφορετικούς τύπους εδάφους. Το πρότυπο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και παράγοντες διορθώσεων για προαστιακές και ανοικτές περιοχές, μεικτή πορεία εδάφους-θάλασσας, απομονωμένων ορεινών περιοχών και

επικλινές έδαφος.

Ισχύει για εύρος συχνοτήτων από 150 έως 2000 MHz και αποστάσεις από 1 έως 100 km, και αποτελεσματικά ύψη κεραιών για το βασικό σταθμό από 30 έως 1000 μέτρα.

Το πρότυπο Okumura όταν σχεδιάστηκε και μελετήθηκε προοριζόταν για εμπειρική χρήση και σχεδιασμό με επίλυση εξισώσεων στο χαρτί χωρίς τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων. Το πρότυπο Hata έκανε μια προσπάθεια να αντλήσει ημι-εμπειρικούς τύπους από τις καμπύλες Okumura για υπολογιστική χρήση.

Η απώλεια πορείας πορείας L_p [dB] παρουσιάζεται ακολούθως:

$$(10.40) \quad L_p = 69.55 + 26.16 \log f + 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d$$

Στο παρόν μοντέλο h_b είναι το ύψος της κεραιάς του βασικού σταθμού βάσης της επικοινωνίας και h_m είναι το ύψος του κινητού (προφανώς του ανθρώπου ο οποίος και φέρει τη φορητή συσκευή). Το πρότυπο λειτουργεί υπό τις ακόλουθες συνθήκες:

- $150 \leq f \leq 1500 \text{ MHz}, 1 \leq d \leq 20 \text{ km}, 30 \leq h_b \leq 200 \text{ m}, 1 \leq h_m \leq 10 \text{ m}$

Η παράμετρος $a(h_m)$ [dB] στον παραπάνω τύπο αντιπροσωπεύει έναν παράγοντα διορθώσεως για το ύψος των κεραιών της φορητής συσκευής (το a καθορίζεται σε 0dB για $h_m=1.5\text{m}$).

Οι μετρήσεις έδειξαν τα ακόλουθα αποτελέσματα διόρθωσης:

Αστικές περιοχές χρήσης δικτύου

Σε μια μέση μικρή πόλη, το $a(h_m)$ είναι:

$$(10.41) \quad a(h_m) = (1.11 \log f - 0.7) h_m - 1.56 \log f + 0.8.$$

Σε μία μεγάλη πόλη, το $a(h_m)$ είναι:

$$(10.42) \quad a(h_m) = \begin{cases} 8.29 [\log(1.54 h_m)]^2 - 1.10, f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2 [\log(11.75 h_m)]^2 - 4.97, f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases}$$

Προαστιακές και τις ανοικτές περιοχές

$$(10.43) \quad \text{Προαστιακή: } \begin{cases} K_r = 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 + 54 \\ L_{\text{Προαστιακό}} = L_{\text{Αστικό}} - K_r \end{cases}$$

$$(10.44) \quad \text{Ανοιχτή περιοχή: } \begin{cases} Q_r = 4.78 (\log f)^2 + 18.33 \log f + 40.94 \\ L_{\text{Ανοιχτό}} = L_{\text{Αστικό}} - Q_r \end{cases}$$

Και στις δύο περιπτώσεις, το $L_{\text{ΑΣΤΙΚΟ}}$ δίνεται από τη σχέση (10.40).

2.2.2 Μοντέλο Cost-231 Hata.

Το μοντέλο COST είναι ένα forum της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη συνεταιριστική επιστημονική έρευνα. Το COST 231, “Η εξέλιξη των επίγειων κινητών ραδιοεπικοινωνιών”, είναι μια υποομάδα αυτού του forum, η οποία αργότερα συνεχίστηκε ως COST 259 και το COST 273. Μεταξύ άλλων ζητημάτων, μια από τις προθέσεις του COST 231 ήταν να ερευνηθούν οι διαφορετικοί μηχανισμοί διάδοσης και να αναπτυχθούν νέα πρότυπα - ή να τελειοποιηθούν τα ήδη υπάρχοντα.

Το πρότυπο Hata είναι περιορισμένο σε συχνότητες κάτω από 1500 MHz και έτσι δεν δουλεύει π.χ στη ζώνη των 2100 MHz. Οι καμπύλες διάδοσης Okumura αναλύθηκαν στην ανώτερη ζώνη συχνότητας προκειμένου να βρεθεί μια κατάλληλη παράσταση:

$$(10.45) \quad L_p = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d + C_m$$

Το $a(h_m)$ καθορίζεται από τις σχέσεις (10.41) & (10.42) και C_m υπολογίζεται ως

$C_m = 0 \text{ dB}$ για μεσαίου μεγέθους πόλεις και προαστιακά κέντρα με μέτρια πυκνότητα δέντρων, και $C_m = 3 \text{ dB}$ για μητροπολιτικά κέντρα.

Το πρότυπο λειτουργεί υπό τους ίδιους όρους με το αρχικό πρότυπο Hata, εκτός του ότι το φάσμα συχνοτήτων τώρα είναι από 1500 έως 2000 MHz (στη ζώνη ραδιο-συχνοτήτων του GSM 1800 MHz και UMTS 2100 MHz).

2.2.3 Μοντέλο Ikegami

Ο Ikegami και άλλοι ερευνητές ερεύνησαν τους μηχανισμούς διάδοσης στα αστικά περιβάλλοντα (urban areas) διότι σε τέτοια περιβάλλοντα παρουσιάζονται έντονα προβλήματα πολύ-όδευσης, περίθλασης και εξασθένισης.

Πιο συγκεκριμένα μελέτησαν την απώλεια πορείας λόγω διάθλασης πάνω από τις στέγες. Δυο διαθλώμενα κύματα φθάνουν στην κινητή κεραία, το ένα από αντανάκλαση στον τοίχο

ενός παρακείμενου κτηρίου με γωνία φ , ενώ το άλλο κατευθείαν.

Οι συνεισφορές αυτών των δύο κυμάτων προστίθενται και η προκύπτουσα απώλεια πορείας λόγω της διάθλασης, στέγη κτιρίου-μονοπατιού επικοινωνίας, L_r , [dB] μπορεί να περιγραφεί ως:

$$(10.46) \quad L_r = 16.9 - 10 \log x + 20 \log (H - h_m) + 10 \log f (\sin \varphi)$$

Όπου x είναι το πλάτος του δρόμου [m], H είναι το ύψος του κτηρίου [m] και φ είναι ο προσανατολισμός του δρόμου σε συνάρτηση με το προσπίπτον κύμα.

Το πρότυπο είναι βασισμένο στους θεωρητικούς υπολογισμούς, αλλά έχει συγκριθεί και βελτιστοποιηθεί επίσης και με υπαίθρια πειράματα. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης τέτοιου μοντέλου τελικά εμφανίζει καλά αποτελέσματα σύγκλισης.

2.2.4 Ένταση Λαμβανόμενου Σήματος

Το απευθείας από την κεραία του πομπού κύμα, εάν εξασφαλίζεται η “οπτική επαφή” με τον κινούμενο δέκτη. Ας συμβολίσουμε με E_a το άμεσο κύμα. Τότε:

$$E_a = A \cos [(\omega_0 + \omega_{da})t + \varphi_a], \text{ όπου } \omega_{da} \text{ η κατά Doppler μετατόπιση συχνότητας.}$$

Για να απλοποιήσουμε τις σχέσεις που θα ακολουθήσουν θεωρούμε το σήμα αυτό ως αναφορά παίρνοντας $\omega_{da} = 0$ και $\varphi_a = 0$.

Πολλές άπειρες συνιστώσες που προέρχονται από τη περίθλαση ή ανακλάσεις σε πολλαπλά και ποικίλα εμπόδια. Με την κίνηση του δέκτη το περιβάλλον αυτών των δευτερογενών πηγών δεν παραμένει σταθερό αλλά εξελίσσεται συνεχώς. Αυτή η συνεχής μεταβλητότητα του περιβάλλοντος έχει ως αποτέλεσμα στο δέκτη να συνεισφέρουν κάθε χρονική στιγμή διάφορες συνιστώσες, που έχουν διαφορετικό πλάτος, παρουσιάζουν διαφορετικές μετατοπίσεις συχνότητας λόγω φαινομένου Doppler και έχουν διαφορετικές φάσεις.

Αν συμβολίσουμε E_i σ'ένα τέτοιο δευτερογενές κύμα, ισχύει:

$$E_i = A_i \cos [(\omega_0 + \omega_{di})t + \varphi]$$

Το λαμβανόμενο σήμα στο δέκτη είναι προφανώς:

$$(6.5) \quad E = E_a \sum E_i = E_a + E_r, \text{ όπου } E_r = \sum E_i$$

όπου $E_r = \sum E_i$ είναι το άθροισμα των πολλών δευτερογενών κυμάτων.

Οι τιμές των δευτερογενών κυμάτων λαμβάνονται σε διάφορες χρονικές στιγμές θεωρούμε ότι εκφράζονται από τον ίδιο νόμο πιθανοτήτων. Οι φάσεις τους επίσης είναι τυχαίες. Έτσι το άθροισμα E_r μπορεί να προσεγγιστεί από Gaussian διαδικασία, η μέση τιμή και η διασπορά της οποίας – με εφαρμογή του Κεντρικού Θεωρήματος Ορίου – μπορούν να θεωρηθούν ως γραμμικός συνδυασμός (άθροισμα) των αντίστοιχων μεγεθών κάθε E_i . Δηλαδή να γράψουμε :

$$A_i = E_o \cdot K_i$$

Η μεταβολή του πλάτους του σήματος που λαμβάνεται από το δέκτη δίνεται από το νόμο πιθανότητας που εφαρμόζεται για το ανάπτυγμα του λαμβανόμενου σήματος.

Αναπτύσσοντας τη σχέση του έχουμε διαδοχικά:

$$E_i = A_i \cos[(\omega_o + \omega_{di})t + \varphi_i]$$

$$E_i = A_i \cos(\omega_o t) \cdot \cos(\omega_{di} + \varphi_i) - A_i \sin(\omega_o t) \cdot \sin(\omega_{di} + \varphi_i)$$

Άρα

$$(6.6) \quad E_r = E_c \cos(\omega_o t) - E_q \sin(\omega_o t)$$

με

$$(6.7) \quad E_c = \sum A_i \cdot \cos(\omega_{di} + \varphi_i) \text{ και } E_q = \sum A_i \sin(\omega_{di} + \varphi_i)$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (6.6) και (6.7) στην (6.5), έχουμε:

$$E = E_a + E_r = A \cos(\omega_o t) + E_c \cos(\omega_o t) - E_q \sin(\omega_o t) =$$

$$= (A + E_c) \cos(\omega_o t) - E_q \sin(\omega_o t)$$

και σχηματίζοντας την, καταλήγουμε:

$$(6.8) \quad E = R \cdot \cos(\omega_o t + \theta)$$

όπου

$$(6.9) \quad R^2 = (a + E_c)^2 + E_q^2, R \cos \theta = a + E_c, R \sin \theta = E_q$$

Με τις υποθέσεις που έγιναν νωρίτερα οι κατανομές των μεγεθών E_c και E_q είναι Gaussian και άρα οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας είναι:

$$(6.10) \quad p(E_c) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma} e^{-\frac{E_c^2}{2\sigma^2}} \text{ και } p(E_q) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma} e^{-\frac{E_q^2}{2\sigma^2}}$$

Η από κοινού συνάρτηση πυκνότητας είναι το γινόμενο των σχέσεων (6.10).

$$(6.11) \quad p(E_{c,q}) = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma} e^{-\frac{(E_c^2 + E_q^2)}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\pi E_o^2} e^{-\frac{(E_c^2 + E_q^2)}{E_o^2}}$$

$$\text{δεδομένου ότι, } \sigma^2 = \frac{E_o^2}{2}$$

Μετασχηματίζοντας έχουμε:

$$(6.12) \quad E_c^2 + E_q^2 = (R \cos \theta - A)^2 + (R \sin \theta)^2 = R^2 + A^2 - 2RA \cos \theta$$

Επίσης ισχύει:

$H|j|$, είναι η Jacobian ορίζουσα των R και θ ως προς τις μεταβλητές, E_c και E_q

Εύκολα διαπιστώνεται ότι:

$$(j)=R.$$

Η σχέση (6.11), με τη βοήθεια της σχέσης (6.12), γράφεται:

$$(6.13) \quad p(R, \theta) = R \cdot \left(\frac{1}{\pi E_o^2} \right) e^{\left[-\frac{(R^2 + A^2 - 2RA \cos \theta)}{E_o^2} \right]}$$

Τελικά η πιθανότητα της πυκνότητας του πλάτους του σήματος βρίσκεται αφού ολοκληρώσουμε ως προς θ :

$$(6.14) \quad p(R) = R \left(\frac{1}{\pi E_o^2} \right) \int_0^{2\pi} e^{\left[-\frac{(R^2 + A^2 - 2RA \cos \theta)}{E_o^2} \right]} d\theta$$

$$p(R) = 2 \frac{R}{E_o^2} \cdot e^{\left[-\frac{(R^2 + A^2)}{E_o^2} \right]} \cdot J_0 \left(\frac{2RA}{E_o} \right)$$

όπου J_0 η συνάρτηση Bessel μηδενικής τάξης.

Η εξίσωση (6.14) μπορεί να διερευνηθεί περαιτέρω. Αυτό επιχειρείται στις επόμενες παραγράφους.

2.2.4.1 Κατανομή Rice

Κινητό που διαθέτει Οπτική επαφή με την Κεραία Εκπομπής

Θέτοντας:

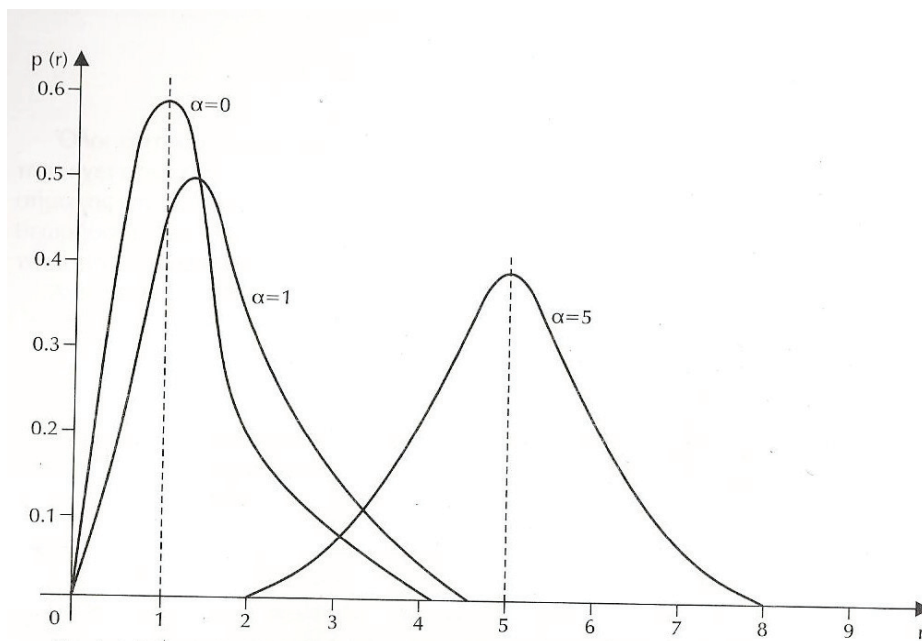
$r = \frac{E\sqrt{2}}{E_o}$ και $a = \frac{A\sqrt{2}}{E_o}$, η εξίσωση (6.14) κανονικοποιείται και γράφεται:

$$(6.15) \quad p(r) = r \cdot e^{\left[-\frac{(r^2 + a^2)}{2} \right]} \cdot J_0(ar)$$

Οι υπολογισμοί και η διερεύνηση της σχέσης αυτής έγιναν από τον Rice.

Στο **σχήμα 2.2.4.1** έχουν σχεδιαστεί οι γραφικές παραστάσεις $p(r)$ με παράμετρο τις διάφορες τιμές του a .

Από το σχήμα επιβεβαιώνεται ότι όταν το κινητό είναι σε σχετικά ελεύθερο χώρο και η κεραία λήψης διαθέτει οπτική επαφή με την κεραία εκπομπής, κατάσταση που αντιστοιχεί σε μεγάλη τιμή του a , τότε το λαμβανόμενο σήμα οφείλεται ουσιαστικά στο απ'ευθείας κύμα.



Σχήμα 2.2.4.1

Η πυκνότητα πιθανότητας του αναπτύγματος του λαμβανόμενου πεδίου

2.2.4.2 Κατανομή Rayleigh

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των κεραιών σταθμού βάσης και κινητού οι παραπάνω σχέσεις απλοποιούνται διότι $A=0$.

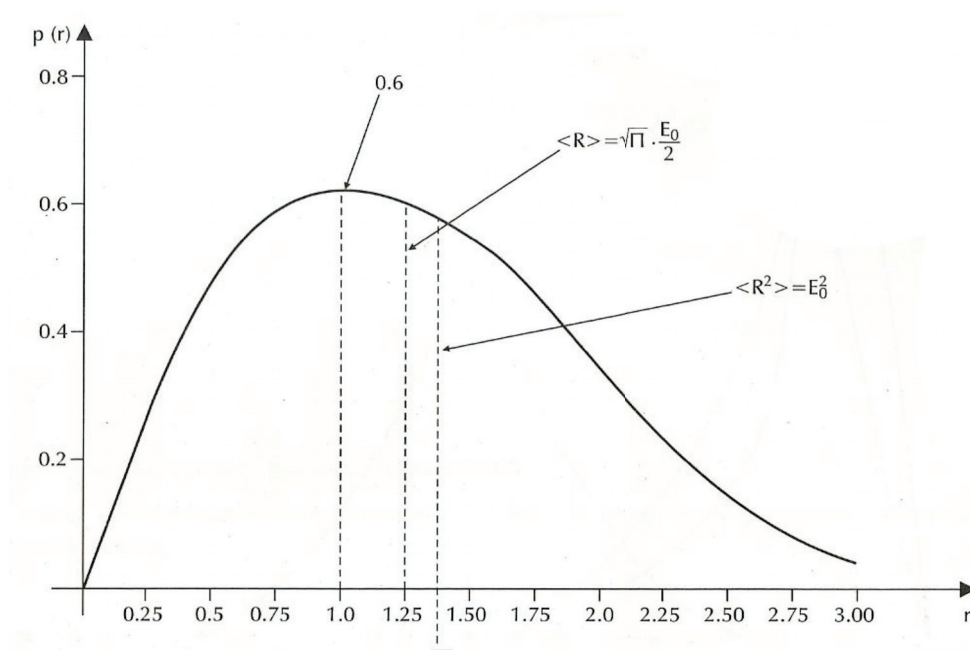
Πράγματι η σχέση (6.15), γράφεται:

$$(6.16) \quad p(r) = r \cdot e^{\left(-\frac{r^2}{2}\right)} [J_0(0)=1]$$

ή

$$p(R) = 2 \frac{R}{E_0^2} \cdot e^{\left[-\frac{R^2}{E_0^2}\right]}$$

Στην περίπτωση αυτή η λήψη είναι σαφώς δυσκολότερη διότι οι διαλείψεις εκδηλώνονται εντονότερα. Η περίπτωση αυτή, που ουσιαστικά είναι η πραγματικότητα στις πόλεις

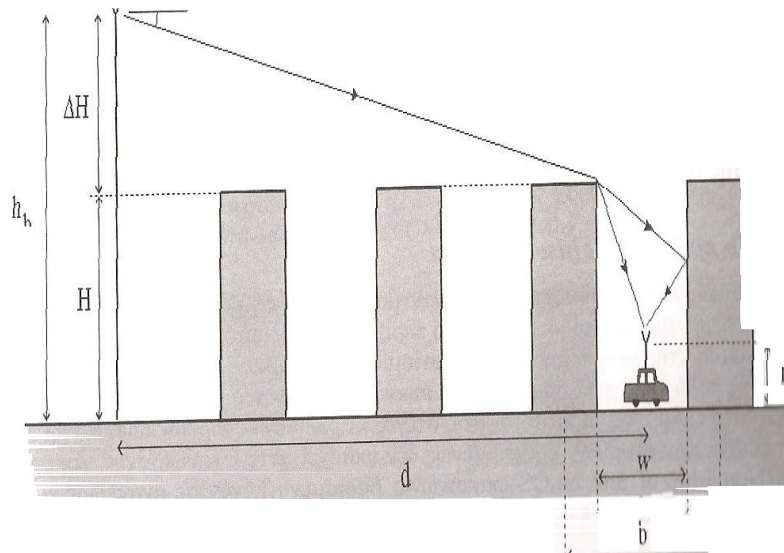


Σχήμα 2.2.4.2

Ποκνότητα Πιθανότητας Κατανομής Rayleigh

2.2.5 Μοντέλο Walfisch-Bertoni

Οι Walfisch και Bertoni έκαναν μια θεωρητική μελέτη με περισσότερες λεπτομέρειες για τη διάδοση σε αστικό περιβάλλον. Σε αυτό το μοντέλο υποθέτουν πολύ πυκνή κτιριακή δόμηση και ρυμοτομία στο περιβάλλον της ράδιο-διάδοσης (μία υπόθεση πολύ καλά τεκμηριωμένη για πυκνά περιβάλλοντα κέντρων πόλεων) όπου οι κεραίες είναι στις ταράτσες ή στις στέγες των κτιρίων και επομένως δεν υπάρχει οπτική επαφή στην επικοινωνία (Non Line of Site NLOS επικοινωνία βασισμένη μόνον σε ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα), **σχήμα 2.2.5.1**



Σχήμα 2.2.5.1 Παράμετροι στα πρότυπα Ikegami και Walfisch-Bertoni

Σύμφωνα με τις μελέτες, η συνολική απώλεια πορείας εξαρτάται από τρεις παράγοντες. Τη συμβολή από την απώλεια σε ελεύθερο χώρο, τη μείωση των πεδίων επάνω από τις στέγες λόγω της διάθλασης δια μέσου πολλών σειρών από κτήρια, και τη διάθλαση των πεδίων. Η συμβολή (superposition) από τους δύο τελευταίους παράγοντες παρουσιάζεται εδώ σαν L_{su} [dB]. Οι Walfisch και Bertoni για να αναπτύξουν το μοντέλο τους υποθέτουν μια

περιοχή που έχει κτήρια με σχετικά ομοιόμορφο ύψος μεταξύ τους και μια κανονική ρυμοτομία οδών και δρόμων.

Η κύρια πορεία διάδοσης βρίσκεται πάνω από την κορυφή των κτηρίων. Το L_{su} μπορεί να εκφραστεί ως:

$$(10.47) \quad L_{su} = 57.1 + A + \log f - 18 \log a ,$$

όπου a είναι η γωνία μεταξύ του προσπίπτοντος κύματος και του εδάφους [rad] όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.5.1. Για επίπεδο έδαφος (πολύ καλή προσέγγιση σε περίπτωση πόλης όπου οι δρόμοι δεν έχουν ανωμαλίες), το a δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$(10.48) \quad \alpha = \frac{\Delta H}{d} + \frac{d}{2R_e}$$

όπου ΔH είναι η διαφορά μεταξύ του ύψους των κτηρίων και της κεραίας του βασικού σταθμού [m] και R_e είναι η ακτίνα της γης, ίση με 8.5×10^3 Km. Βασικό είναι να καταλάβουμε ότι σε ένα αστικό περιβάλλον η γωνία a μπορεί να θεωρηθεί σχετικά μικρή, όπως στο σχήμα 2.2.5.1.

Ο όρος A δημιουργείται από τη διάθλαση και αντανάκλαση στις στέγες,

$$(10.49) \quad A = 5 \log \left(\left(\frac{b}{2} \right)^2 + (H - h_m)^2 \right) - 9 \log b + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{2(H - h_m)}{b} \right] \right\}$$

όπου b είναι η απόσταση ανάμεσα στα δομικά κτιριακά τετράγωνα (building blocks) μεταξύ των δρόμων.

Η συνολική απώλεια διαδρομής σε αυτό το μοντέλο είναι η ολική συνεισφορά της

απώλειας λόγω ελεύθερου χώρου L_f [dB] (τύπος (2.13)) και τις απώλειες Walfish-Bertoni του τύπου (10.47), όπως στον ακόλουθο τύπο:

$$(10.50) \quad L_{total} = L_{su} + L_f = 20 \log \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right) + 57.1 + A + \log_f - 18 \log \alpha$$

2.2.6 Μοντέλο Cost-231 Walfish-Ikegami

Ο συνδυασμός μεταξύ των δύο προτύπων που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες, συμπεριλαμβανομένου ενός στοιχείου οπτικής επαφής, έχει αναπτυχθεί στο COST-231 forum. Κανένα από τα δύο προαναφερθέντα μοντέλα δεν είναι έγκυρο για την περίπτωση οπτικής επαφής.

Στην περίπτωση της λοφώδης εκτάσεως και των ανομοιόμορφων υψών των κτηρίων και των τοποθεσιών, το πρότυπο Ikegami-Walfisch θα δώσει φτωχά αποτελέσματα. Επομένως τα πρότυπα αυτά είναι έγκυρα για τις περιπτώσεις:

- $800 \leq f \leq 2000 \text{ MHz}, 0.02 \leq d \leq 5 \text{ km}, 4 \leq h_d \leq 50 \text{ m}, 1 \leq h_m \leq 3 \text{ m}$

Επίπεδο έδαφος, ομοιόμορφα ύψη και αποστάσεις κτηρίων. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

Οπτική επαφή

Σε περίπτωση οπτικής επαφής μεταξύ των κεραιών (LOS) του σταθμού βάσης και των κινητών η επιπλέον απώλεια πορείας είναι:

$$(10.51) \quad L_p = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f$$

Παρατήρηση: Η έκφραση (10.42) είναι ίση με την αντίστοιχη της απώλειας του ελεύθερου χώρου (τύπος (2.13)) όταν $d=0,02$ km. Το d πρέπει να υπερβεί τα 0,02 km για να ισχύει αυτή η σχέση.

Η συνολική απώλεια είναι :

$$(10.52) \quad L = L_p + L_r + L_{su} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f + 16.9 - 10 \log x + 20 \log (H - h_m) + 10 \log f + 10 \log (\sin \varphi) + 57.1 + A + \log f - 18 \log \alpha.$$

Ο όρος $10 \log(\sin \varphi)$ στη παραπάνω σχέση έχει αντικατασταθεί με την έκφραση L_φ :

$$(10.53) \quad L_\varphi = \begin{cases} -10 + 0.354 \varphi, & 0 \leq \varphi \leq 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35), & 35 \leq \varphi \leq 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55), & 55 \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases}$$

Μη οπτική επαφή

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει οπτική επαφή

$$(10.54) \quad L=L_f+L_r+L_{su},$$

όπου L_f είναι η απώλεια ελεύθερου χώρου σύμφωνα με τη σχέση (2.13)

Η συνολική απώλεια είναι :

$$(10.55) \quad \begin{aligned} L=L_f+L_r+L_{su} &= 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)+16.9-10\log x \\ &+20\log(H-h_m)+10\log f+10\log(\sin\varphi)+57.1 \\ &+A+\log f-18\log\alpha. \end{aligned}$$

Ο όρος $10\log(\sin\varphi)$ στη παραπάνω σχέση έχει αντικατασταθεί με την έκφραση (L_φ , (10.53)) .

Και στις δύο περιπτώσεις ισχύει ότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων είναι ικανοποιητική όταν $h_b \gg H$. Για κοντινές αποστάσεις ($d < 0.5$ km) και βασικές κεραιές χαμηλότερες από τις στέγες, υπάρχουν προστιθέμενοι όροι και πρέπει να ληφθούν υπόψιν.

Τυπικές τιμές για αστικά περιβάλλοντα στο μοντέλο Walfisch-Ikegami είναι $h_m=1.5$ m, τυπικό πλάτος κτηρίων $b=40-50$ m, ύψος κτηρίων-κεραιών $H=20-40$ m και εύρος οδών μεταξύ κτιρίων $x=20-25$ m.

2.2.7 Το πρότυπο Keenan-Motley.

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκαν μοντέλα ραδιο-διάδοσης που αφορούν την διάδοση σε ελεύθερο χώρο και τη διάδοση σε αστικές περιοχές, παρουσίας κτηρίων και εμποδίων. Επιπλέον οι σταθμοί βάσης και οι κεραιές βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους (στέγες-ταράτσες κτιρίων ή πυλώνες) και οι φορητές συσκευές (συνδρομητές) βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους. Όμως αυτή η περίπτωση δεν είναι πάντα αυτή που μας ενδιαφέρει. Πολλές φορές έχουμε κάλυψη εσωτερικών χώρων από κεραιοσυστήματα τα οποία βρίσκονται εντός των κτιρίων, οικιών και επιχειρήσεων τα οποία προσφέρουν την κάλυψη σε εσωτερικούς συνδρομητές. Για αυτές τις περιπτώσεις δεν ισχύουν τα μοντέλα που έχουμε ήδη παραθέσει διότι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους είναι αρκετά ισχνή.

Οι Keenan-Motley μελέτησαν ένα μοντέλο, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για τη στατιστική περιγραφή της διάδοσης των ραδιοκυμάτων σε εσωτερικούς χώρους. Σε αυτό το ήμι-εμπειρικό πρότυπο λαμβάνεται υπόψιν μόνο η άμεση διαδρομή ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη. Αυτό το μοντέλο έχει αποδειχθεί ότι δίνει αποδεκτή ακρίβεια αποτελεσμάτων, τουλάχιστον σε απλά περιβάλλοντα.

Η απώλεια πορείας, L_p [dB], δίνεται με τον τύπο:

$$(10.56) \quad L_p = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) + \alpha K + bW,$$

όπου :

d είναι η απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη [m].

α είναι το πλήθος των ορόφων.

K είναι ο παράγοντας της εξασθένησης του σήματος λόγω των ορόφων [dB].

b είναι το πλήθος των τοίχων.

W είναι ο παράγοντας της εξασθένησης του σήματος λόγω των τοίχων.

Το πρότυπο Keenan-Motley είναι κατάλληλο για χρήση σε περιβάλλοντα γραφείου τα οποία είναι ελαφρώς διαχωρισμένα, πχ μεγάλες ανοικτές περιοχές και με κινητά διαχωριστικά, που δεν επεκτείνονται έως την οροφή.

Βελτίωση του μοντέλου Keenan-Motley.

Ένα πολύ απλό και εκτεταμένα χρησιμοποιημένο πρότυπο, είναι ο νόμος της ισχύς που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για τον εσωτερικό σχεδιασμό της κυψέλης αντί του πρότυπο Keenan-Motley. Η απώλεια θεωρείται ότι είναι μια συνάρτηση της απόστασης x :

$$(10.57) \quad L(x) = L(x_0) + 10n \log\left(\frac{x}{x_0}\right).$$

Η ακρίβεια του προτύπου θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά σε περιβάλλοντα με ίσιους διαδρόμους ομαδοποιώντας τα δεδομένα σε μερικές κατηγορίες και προσαρμόζοντας το πρότυπο σε κάθε κατηγορία ξεχωριστά. Τρεις κατηγορίες δεδομένων που αντιστοιχούν στις τοποθεσίες των κεραιών ορίζονται:

- Διάδρομος-διάδρομος, όταν και οι 2 κεραιές εκπομπής και λήψης βρίσκονται σε ένα διάδρομο.
- Διάδρομος-δωμάτιο, όταν μία κεραία βρίσκεται σε ένα διάδρομο και η άλλη σε ένα δωμάτιο.
- Δωμάτιο-δωμάτιο, όταν και οι δύο κεραιές εκπομπής και λήψης βρίσκονται σε διαφορετικά δωμάτια.

Σε σύγχρονα περιβάλλοντα γραφείων, οι ακόλουθες τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις τρεις κατηγορίες.

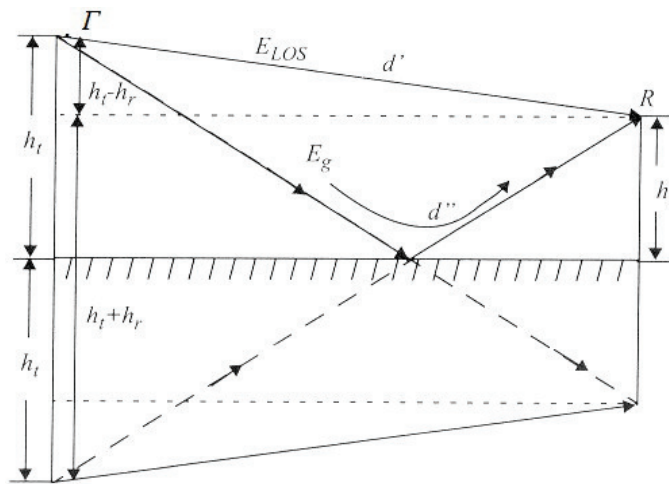
$n = 1.3$ για την κατηγορία διάδρομος-διάδρομος.

$n = 3.1$ για την κατηγορία διάδρομος-δωμάτιο.

$n = 4.1$ για την κατηγορία δωμάτιο-δωμάτιο .

2.2.8 Μοντέλο δύο ακτίνων

Το μοντέλο διάδοσης ελεύθερου χώρου δεν λαμβάνει υπόψιν τις ανακλάσεις του σήματος. Το σήμα που εκπέμπεται από μία επίγεια κεραία λαμβάνεται από μια άλλη επίγεια κεραία παρουσία ισχυρών ανακλάσεων από το έδαφος, **σχήμα 2.2.8.1**.



Σχήμα 2.2.8.1

“Μοντέλο δύο ακτίνων.”

Η ένταση του πεδίου καθορίζει την τάση, το μέτρο και τη φάση του σήματος που λαμβάνει η κεραία λήψης:

$$(10.58) \quad E_{tot} = E_{los} + E_g$$

Όπου E_{tot} είναι το συνολικό πεδίο, E_{los} είναι το πεδίο που δημιουργεί η συνιστώσα οπτικής επαφής (Los), και E_g είναι το πεδίο που οφείλεται στην ανάκλαση του εδάφους. Στις επόμενες σχέσεις η d_0 είναι μια αυθαίρετη απόσταση αναφοράς στο μακρινό πεδίο της κεραίας.

- Το πεδίο Los είναι ένα ημιτονοειδές σήμα του οποίου η στιγμιαία ένταση δίνεται

από τη σχέση: ($d' > d_0$)

$$(10.59) \quad E_{los}(d', t) = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d'}{c}\right)\right)$$

- Ομοίως η ένταση του πεδίου, που οφείλεται στην ανάκλαση του σήματος είναι:

$$(10.60) \quad E_g(d'', t) = \Gamma \frac{E_0 d_0}{d''} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d''}{c}\right)\right)$$

όπου Γ είναι ο συντελεστής ανακλάσεως του εδάφους.

- Από τα γεωμετρικά δεδομένα (σχήμα 2.2.8.1) η διαφορά της ευθείας και της ανακλώμενης διαδρομής είναι

$$(10.61) \quad \Delta = d'' - d' =$$

$$d \left(\sqrt{1 + \frac{(h_t + h_r)^2}{d^2}} - \sqrt{1 + \frac{(h_t - h_r)^2}{d^2}} \right)$$

Με την προσέγγιση

$$\sqrt{1+x^2} \approx 1 + \frac{1}{2}x^2, \text{ λαμβάνουμε}$$

$$\Delta \approx \frac{2 h_t h_r}{d}$$

- Η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο διαδρομών είναι:

$$\theta_{\Delta} = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d}$$

- Για μεγάλη απόσταση d , η διαφορά πλάτους μεταξύ E_{los} και E_g είναι μικρή

$$\left(\frac{E_0 d_0}{d'}\right) \approx \left(\frac{E_0 d_0}{d''}\right) \approx \left(\frac{E_0 d_0}{d}\right)$$

- Η κύρια διαφορά είναι μεταξύ των φάσεων. Για δύο συνημίτονα ίσου πλάτους αλλά με διαφορά φάσης θ_{Δ} , έχουμε:

$$E_{\text{tot}} = \frac{E_0 d_0}{d'} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d'}{c}\right)\right) - \frac{E_0 d_0}{d''} \cos\left(\omega_c \left(t - \frac{d''}{c}\right)\right)$$

$$\begin{aligned} E_{\text{tot}} &\approx \frac{E_0 d_0}{d} \left(\cos(\omega_c t - \theta_1) - \cos(\omega_c t - \theta_1 - \theta_{\Delta}) \right) = 2 \frac{E_0 d_0}{d} \sin\left(\omega_c t - \theta_1 - \frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) = \\ &= 2 \frac{E_0 d_0}{d} \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) \cos\left(\omega_c t - \theta_1 - \frac{\theta_{\Delta}}{2} - \frac{\pi}{2}\right) = \end{aligned}$$

$$(E_{\text{tot}}) = 2 \frac{E_0 d_0}{d} \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right)$$

- Για μικρή διαφορά φάσης

$$\theta_{\Delta}(d \gg h_t h_r), \text{ είναι } \sin\left(\frac{\theta_{\Delta}}{2}\right) \approx \frac{\theta_{\Delta}}{2},$$

Επομένως

$$\begin{aligned} (E_{tot}(d)) &\approx 2 \frac{E_0 d_0}{d} \frac{4 \pi h_t h_r}{2 \lambda d} \\ &= \frac{4 \pi E_0 d_0 h_t h_r}{\lambda d^2} \\ &\propto d^{-2} \end{aligned}$$

- Επειδή η ισχύς είναι:

$$P_r \propto (E_{tot}(d))^2, \text{ προκύπτει ότι } P_r \propto d^{-4}$$

- Από την θεωρία του Η/Μ πεδίου έχουμε τη σχέση

$$P_r = \frac{(E)^2}{120 \pi} A_r$$

όπου, (E) :είναι το προσπίπτον πεδίο και A_r :είναι η ενεργός επιφάνεια της κεραίας λήψης.

Από το μοντέλο ελεύθερου χώρου λαμβάνουμε τη μέση ισχύ, (σχέση 2.7, παράγραφο 2.1).

$$(2.7) \quad P_r(d_0) = \frac{(E_{0,rms})^2}{120\pi} A_r$$

Μετά από πράξεις, μπορούμε να δείξουμε ότι:

$$(10.62) \quad P_r(d) = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο δύο ακτίνων η ισχύς λήψης φθίνει με το d^{-4} αντί με το d^{-2} (όπως στον ελεύθερο χώρο). Η λαμβανόμενη ισχύς φθίνει με ρυθμό 40 dB για κάθε δεκαπλασιασμό της απόστασης.

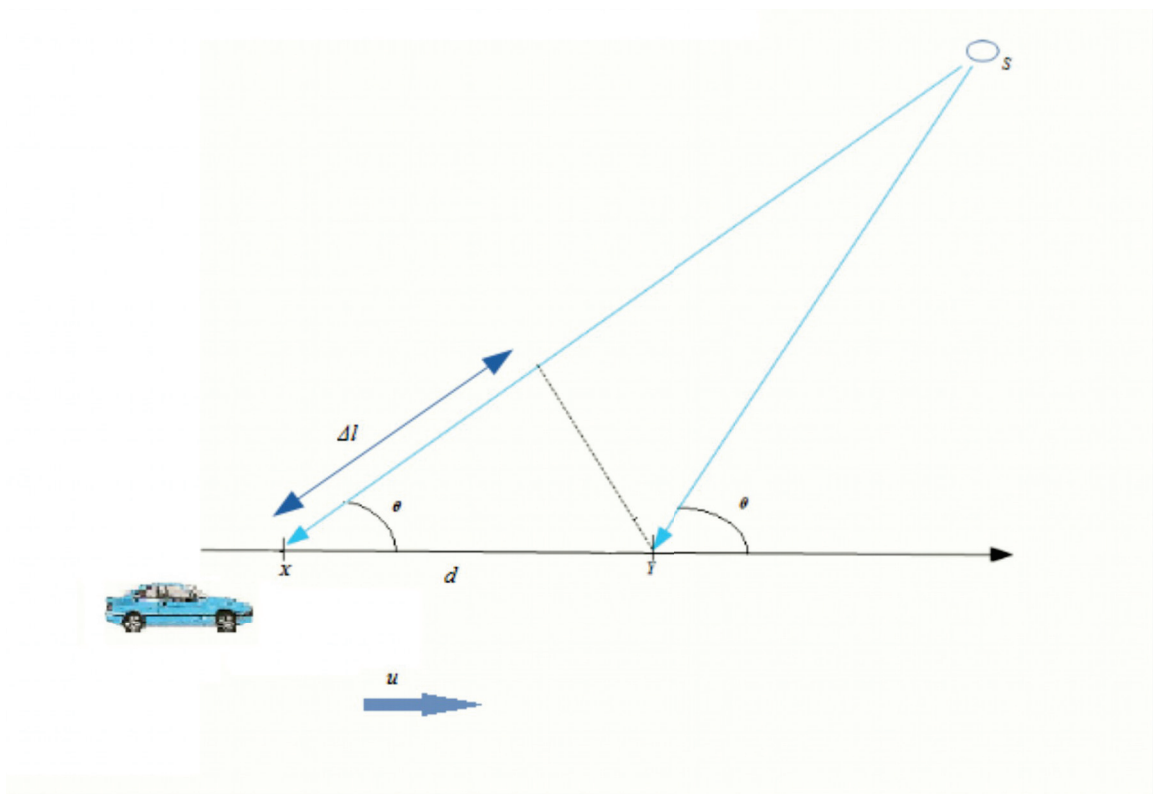
2.2.9 Ολίσθηση Doppler

Θεωρούμε κινητό τερματικό, το οποίο μετακινείται με σταθερή ταχύτητα u μεταξύ των θέσεων X και Y που απέχουν μεταξύ τους απόσταση d , ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει σήμα από απομακρυσμένη πηγή S , όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.9.1. Η διαφορά Δl των διαδρομών, από την πηγή S μέχρι της θέσεις X και Y του κινητού είναι $\Delta l = d \cos \theta = u \Delta t \cos \theta$, όπου Δt είναι ο χρόνος που χρειάζεται το κινητό να φθάσει από τη θέση X στη θέση Y . Η γωνία θ υποτίθεται ότι είναι ίδια, καθότι η πηγή S είναι απομακρυσμένη. Η αλλαγή στη φάση του λαμβανόμενου σήματος, λόγω της διαφοράς μήκους των διαδρομών στις θέσεις X και Y , είναι:

$$(2.68) \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi v\Delta t}{\lambda} \cos\theta$$

και συνεπώς η φαινομενική ολίσθηση συχνότητας ή ολίσθηση Doppler f_D δίνεται από τη σχέση

$$(2.69) \quad f_D = \frac{\Delta\varphi}{2\pi\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\theta$$



Σχήμα 2.2.9.1 Ολίσθηση Doppler

Η εξίσωση (2.69) συσχετίζει την ολίσθηση Doppler με την ταχύτητα του κινητού και την γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της κίνησης του κινητού και την κατεύθυνση της άφιξης του σήματος. Παρατηρούμε ότι εάν η κατεύθυνση του κινητού είναι προς την περιοχή που έρχεται το σήμα, η ολίσθηση είναι θετική (δηλαδή η φαινομενική συχνότητα αυξάνει) και αν το κινητό απομακρύνεται από την περιοχή προέλευσης του σήματος η ολίσθηση συχνότητας είναι αρνητική (δηλαδή η φαινομενική συχνότητα ελαττώνεται). Σε σήματα με διαμόρφωση συνεχούς κυματομορφής, οι συνιστώσες πολλαπλών διαδρομών, οι οποίες καταφθάνουν από τις διάφορες κατευθύνσεις, συνεισφέρουν στην αύξηση του εύρους ζώνης του λαμβανόμενου σήματος, φαινόμενο που ονομάζεται *εξάπλωση Doppler*.

Φάσμα Doppler

Στις περιπτώσεις που το λαμβανόμενο σήμα μεταβάλλεται συναρτήσει της θέσης στο χώρο, η μεταξύ κίνηση μεταξύ του δέκτη από τον πομπό έχει ως αποτέλεσμα μια φαινομενική αύξηση της συχνότητας του φέροντος και του λαμβανόμενου σήματος. Για να διαπιστωθεί αυτό, θεωρούμε ότι ο δέκτης κινείται με σταθερή ταχύτητα u κατά την κατεύθυνση $+x$ της i -στης διαδρομής διάδοσης, **σχήμα 2.2.9.2**, συναρτήσει του χρόνου, υποθέτοντας ότι για $t=0$ ο δέκτης βρίσκεται στη θέση $x=0$. Έχουμε λοιπόν.

$$(2.120) \quad d_i(R) = d_i(t) = d_{i,0} - ut \cos \theta_i$$

Για την καθυστέρηση στην i -στη διαδρομή θα έχουμε αντίστοιχα

$$(2.121) \quad \tau_i(R) = \tau_i(t) = \tau_{i,0} - \frac{u}{c} t \cos \theta_i$$

Η συνεισφορά της i -στης διαδρομής στο λαμβανόμενο σήμα θα είναι

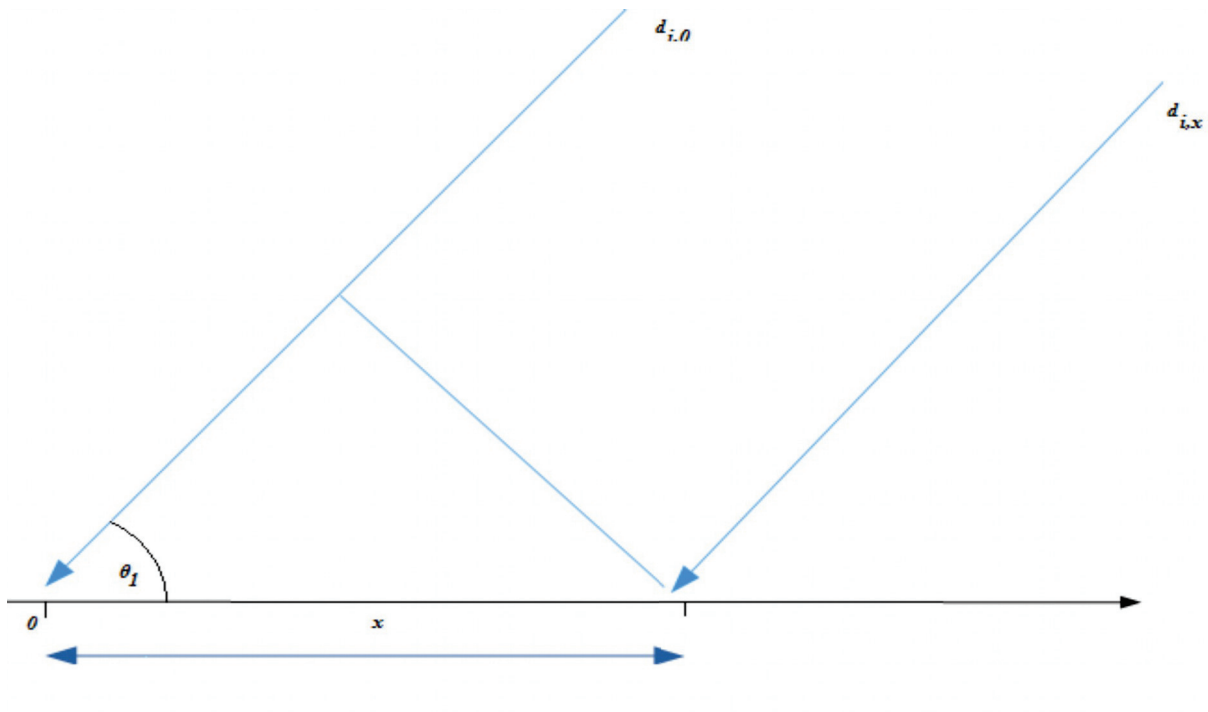
$$(2.122) \quad \tilde{r}_i(t) = A_i * e^{-j2\pi f_c \tau_i(t)} \tilde{u}(t - \tau_{i,0})$$

$$\tilde{r}_i(t) = A_i * e^{-j2\pi f_c \left(\tau_{i,0} - \frac{u}{c} \cos \theta_i t \right)} \tilde{u}(t - \tau_{i,0})$$

Από τη σχέση (2.122) προκύπτει επίσης, ότι η σχετική κίνηση μεταξύ πομπού και δέκτη έχει ως αποτέλεσμα μια φαινομενική μεταβολή στη συχνότητα του φέροντος του λαμβανόμενου σήματος. Η φαινομενική αυτή μεταβολή λαμβάνεται από τη σχέση:

$$(2.123) \quad f_{i,d} = f_c \frac{u}{c} \cos \theta_i = u \frac{\cos \theta_i}{\lambda} = u * v_i$$

και αναφέρεται ως ολίσθηση συχνότητα Doppler. Από την (2.123) προκύπτει ότι, για σταθερή γραμμική ταχύτητα, η ολίσθηση συχνότητα Doppler είναι ανάλογη της χωρικής συχνότητας v_i . Συνεπώς, ακόμη και στην περίπτωση που δύο διαδρομές έχουν παραπλήσιες καθυστερήσεις, εφόσον έχουν διαφορετικές γωνίες άφιξης μπορεί να διακριθούν αναλύοντας το φάσμα συχνοτήτων ολίσθησης Doppler του λαμβανόμενου σήματος.



Σχήμα 2.2.9.2 Η i -στη διαδρομή διάδοσης.

2.2.10. Διαλείψεις στο Ασύρματο Περιβάλλον των Κινητών Επικοινωνιών

Η αρχή διάδοσης ελεύθερου χώρου προϋποθέτει ότι η ατμόσφαιρα είναι ομογενές μέσο και μη απορροφητικό, καθώς επίσης ότι το έδαφος είναι σε άπειρη απόσταση, (ενότητα 2.1) ή πρακτικά ο συντελεστής ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω σε αυτό είναι αμελητέος. Στην πραγματικότητα όμως, για ένα πραγματικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα οι προϋποθέσεις αυτές δεν ισχύουν, καθώς τα κύμα διαδίδεται σε μέσο το οποίο δεν έχει τις ιδιότητες της “ιδανικής” ατμόσφαιρας και το έδαφος είναι γενικά σε κοντινή απόσταση από την οπτική ευθεία ζεύξεως. Επίσης, η επίδραση της διηλεκτρικής σταθεράς της ατμόσφαιρας με το υψόμετρο, η μορφολογία του εδάφους, καθιστούν μια απώλεια διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων η οποία μεταβάλλεται σταθερά με το χρόνο. Σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα, η σταθερή αυτή απώλεια αφαιρείται πάντα από την απώλεια διάδοσης ελεύθερου χώρου. Εκτός όμως από αυτή την σταθερή με το χρόνο απώλεια διάδοσης της ισχύος λήψεως του σήματος, παρατηρείται επίσης και μια χρονική διακύμανση της στάθμης λήψεως του σήματος, που εξαρτάται από τη φέρουσα συχνότητα και συμπίπτει με ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες, εποχιακές και τοπικές. Αυτού του είδους τα φαινόμενα συνιστούν τις διαλείψεις (*fadings*), που μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες αποσβέσεις στο σήμα.

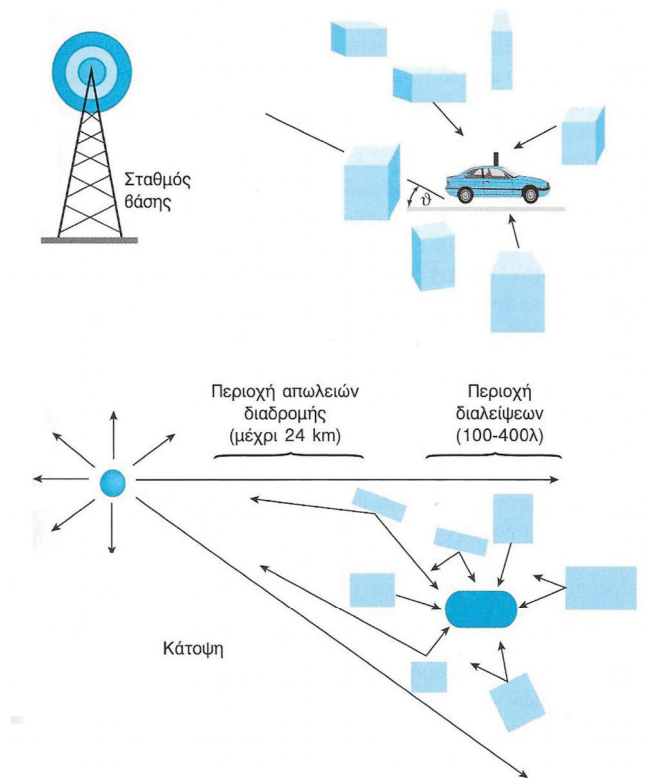
Η ένταση γενικά της διάλειψης αυξάνει με τη συχνότητα του φέροντος και το μήκος της ζεύξεως. Λόγω γενικά των πολλών παραγόντων που συμβάλλουν στη δημιουργία των διαλείψεων, οι διαλείψεις είναι ένα τυχαίο φαινόμενο που μπορεί να καθορισθεί μόνο με τη χρήση μιας συνάρτησης στατιστικής κατανομής.

A. Το φαινόμενο πολλαπλών διοδεύσεων

Η ασύρματη επικοινωνία στο περιβάλλον των κινητών επικοινωνιών λαμβάνει χώρα μεταξύ σταθερών σταθμών βάσης και περιφερόμενων κινητών τερματικών. Ένα τυπικό μοντέλο ασύρματης επικοινωνίας στο περιβάλλον των επίγειων κινητών επικοινωνιών περιλαμβάνει αφενός μια υπερυψωμένη κεραία σταθμού βάσης αφετέρου μια κινητή κεραία (ή κεραίες) στερεωμένη στον πομποδέκτη του κινητού τερματικού. Στις περισσότερες εφαρμογές, δεν υπάρχει πλήρης διάδοση οπτικής επαφής μεταξύ της κεραίας του σταθμού βάσης, που είναι γνωστό και ως σημείο πρόσβασης, και της κεραίας του κινητού τερματικού, λόγω φυσικών και τεχνητών εμποδίων. Η διαδρομή διάδοσης αποτελείται από ένα τμήμα οπτικής επαφής, σχετικά μικρού μήκους, ακολουθούμενο από πολλά τμήματα χωρίς οπτική επαφή.

Σε τέτοιο περιβάλλον, καθώς το κινητό τερματικό κινείται σε μια περιοχή, οι ανακλάσεις, οι περιθλάσεις και οι σκεδάσεις που λαμβάνουν χώρα έχουν ως αποτέλεσμα την άφιξη πολλών επιπέδων κυμάτων στο κινητό τερματικό, από πολλές κατευθύνσεις και με διαφορετικές καθυστερήσεις, όπως παρουσιάζεται στο **σχήμα 2.2.10.1**. Το φαινόμενο αυτό

ονομάζεται διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Τα πολλαπλά επίπεδα κύματα συνδυάζονται διανυσματικά στην κεραία του δέκτη για να παράγουν ένα σύνθετο λαμβανόμενο σήμα.



Σχήμα 2.2.10.1 Περιγραφή ασυρμάτου περιβάλλοντος κινητών επικοινωνιών

Η διαδρομή διάδοσης μεταβάλλεται με την κίνηση του κινητού τερματικού και /ή την κίνηση των τριγύρω αντικειμένων του περιβάλλοντα χώρου. Δεδομένου ότι το μήκος κύματος του φέροντος, στα λειτουργούντα συστήματα κινητών επικοινωνιών, κυμαίνεται από 15 έως 60 cm, μικρές μεταβολές στις καθυστερήσεις διάδοσης λόγω μετακίνησης του τερματικού προκαλούν μεγάλες μεταβολές φάσης, αυτές οι μεταβολές δρουν είτε εποικοδομητικά είτε αρνητικά στη διανυσματική άθροιση των διαφόρων συνιστώντων κυμάτων στην κεραία του δέκτη. Καθώς το κινητό τερματικό μετακινείται, οι χωρικές μεταβολές της περιβάλλουσας και της φάσης του λαμβανόμενου σύνθετου σήματος εμφανίζονται ως χρονικές μεταβολές, ένα φαινόμενο που ονομάζεται διαλείψεις περιβάλλουσας. Ο ρυθμός των διαλείψεων εξαρτάται από την ταχύτητα του κινητού τερματικού.

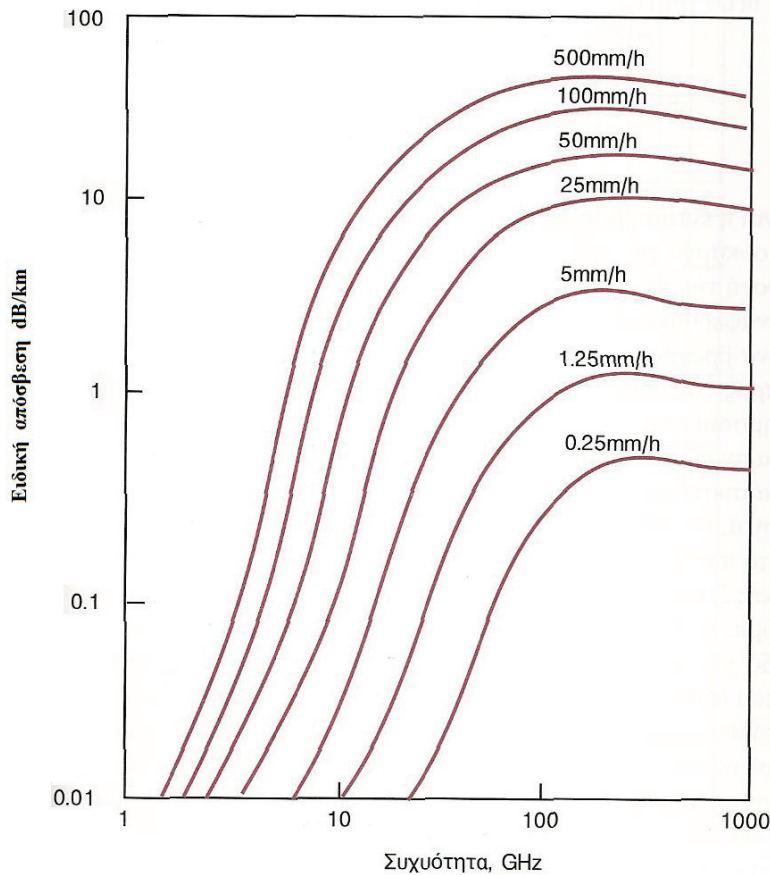
B. Οι διαλείψεις που οφείλονται στην εξασθένηση του σήματος από ατμοσφαιρικές

κατακρημνίσεις, (πχ βροχή, χιόνι, χαλάζι)

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για τη χρησιμοποίηση συχνοτήτων που ανήκουν στις ζώνες SHF και EHF του ραδιοφάσματος (3-30 GHz), έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στην ανάγκη μελέτης της επίδρασης των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (βροχή, χιόνι, χαλάζι, παγοκρύσταλλοι) στη διάδοση των ραδιοκυμάτων. Τα ρεύματα μετατόπισης (displacement currents) που επάγονται στους υδρομετεωρίτες κατά τη διάδοση ενός ραδιοκύματος έχουν ως αποτέλεσμα τη σκέδαση και την απορρόφηση μέρους της ενέργειας του κύματος.

Η απώλεια ενέργειας που οφείλεται στα αίτια των κατακρημνίσεων είναι πολύ σημαντική στις συχνότητες πάνω από 10 GHz . Επίσης η σκέδαση μπορεί να προκαλέσει και φαινόμενα παρεμβολών μεταξύ γειτονικών συστημάτων, κυρίως μεταξύ επίγειων και δορυφορικών ζεύξεων.

Σημειώνεται ότι, η σχετική συμβολή των δύο αιτιών (σκέδασης και απορρόφησης) στην τελική εξασθένηση του διαδιδόμενου ραδιοκύματος εξαρτάται από τη σχέση των υδρομετεωριτών με το μήκος κύματος. Για μήκη κύματος που είναι μεγάλα σε σύγκριση με το μέγεθος της σταγόνας, πχ στην περιοχή SHF, η εξασθένηση του ραδιοκύματος λόγω απορρόφησης θα υπερτερεί έναντι της σκέδασης. Αντίστροφα, για μήκη κύματος που είναι μικρά σε σύγκριση με τη βροχοσταγόνα πχ στην EHF περιοχή, η σκέδαση θα κυριαρχεί. Το σχήμα 2.2.10.2, δείχνει την ειδική απόσβεση (σε decibels ανά km) στο επίπεδο του εδάφους, λόγω βροχής, για διάφορους ρυθμούς βροχοπτώσεων.



Σχήμα 2.2.10.2

Ειδική απόσβεση λόγω βροχής

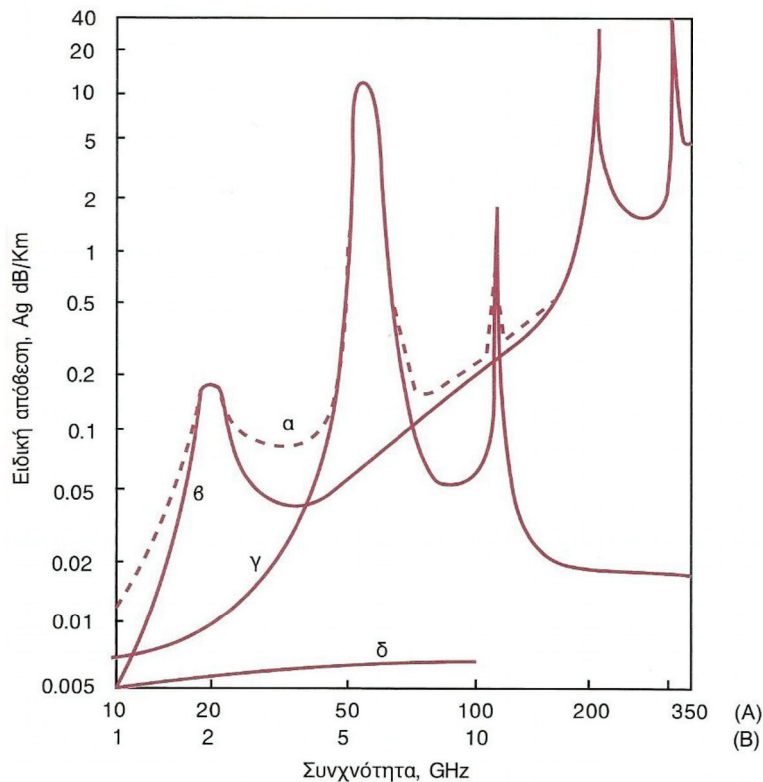
Γ. Διαλείψεις που οφείλονται στην ατμοσφαιρική απορρόφηση.

Σε συχνότητες πάνω περίπου από 50 GHz, η απόσβεση που εισάγεται από τα ατμοσφαιρικά αέρια, υπερβαίνει κατά πολύ την απόσβεση που σχετίζεται ακόμη και από την πιο έντονη βροχόπτωση. Για τις επίγειες όμως ραδιοζεύξεις που έχουν μεγάλο μήκος (*long radio paths*), η απόσβεση αυτού του είδους είναι αξιοσημείωτη ακόμη και για συχνότητες της τάξεως των 15 GHz. Οι κύριες ατμοσφαιρικές συνιστώσες που εισάγουν απόσβεση στο διαδιδόμενο σήμα είναι το οξυγόνο και οι υδρατμοί, αν και η παρουσία σύνθετων μορίων στους υδρατμούς μπορεί να έχει κάποια επίδραση ακόμη και σε συχνότητες πάνω από τα 100 GHz. Το οξυγόνο απορροφά ενέργεια από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εξαιτίας της ηλεκτρικής διπολικής ροπής, ενώ οι υδρατμοί λόγω μαγνητικής διπολικής ροπής. Η ολική απορρόφηση λόγω των αερίων της ατμόσφαιρας A_g (dB) για μια ραδιοζεύξη μήκους L (km) υπολογίζεται ως εξής:

$$(2.60) \quad A_g(\text{dB}) = \int_0^L (A_{g_o}(r) + A_{g_u}(r)) dr$$

όπου

$A_{g_o}(r)$ και $A_{g_u}(r)$ είναι, αντίστοιχα, η ειδική απόσβεση (σε dB/km) λόγω απορρόφησης οξυγόνου και υδρατμών, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν σε απόσταση r κατά μήκος της ζεύξης. Η συμβολή στην εξασθένιση από αυτά τα αέρια παρουσιάζεται στο σχήμα 2.2.10.3



Σχήμα 2.2.10.3

Ειδική απόσβεση $A_{g_o}(r)$ και $A_{g_u}(r)$ λόγω οξυγόνου και υδρατμών.

- Κλίμακα A: $\alpha.$ $A_{g_o} + A_{g_u}$ για $f > 10 \text{ GHz}$
 $\beta.$ A_{g_u} για $f > 10 \text{ GHz}$
 $\gamma.$ A_{g_o} για $f > 10 \text{ GHz}$

Κλίμακα B: δ. A_g για $f < 10 \text{ GHz}$

Σαν ένα γενικό συμπέρασμα, οι διαλείψεις που οφείλονται στο φαινόμενο της ατμοσφαιρικής απορρόφησης λόγω αερίων της ατμόσφαιρας (οξυγόνο και υδρατμοί) είναι πολύ σημαντικές, και πρέπει να λαμβάνονται πολύ σοβαρά κατά τη σχεδίαση μιας μικροκυματικής ζεύξης που λειτουργεί σε συχνότητες άνω των 30 GHz.

2.2.11. Εκθέτης Απωλειών Διαδρομής.

Η πλειονότητα των επίγειων κυβελωτών συστημάτων κινητών επικοινωνιών λειτουργεί σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη (non-line-of-sight, NLOS). Κατά γενικό κανόνα, η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής αυξάνει εκθετικά με την απόσταση, με εκθέτη n . Στην εξίσωση 5.3.1 παρατηρούμε ότι, για διάδοση οπτικής επαφής (line of sight, LOS) χωρίς φυσικά εμπόδια, η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής είναι ανάλογη του d^2 , δηλαδή, ο εκθέτης απωλειών $n=2$. Βάσει εμπειρικών δεδομένων, έχει αναπτυχθεί ένα αρκετά γενικό μοντέλο για τη διάδοση NLOS, το οποίο και χρησιμοποιείται από τους περισσότερους μηχανικούς. Το μοντέλο αυτό περιγράφεται από τη σχέση

$$(5.3.1) \quad L(d) \propto L(d_0) \cdot \left(\frac{d}{d_0} \right)^n$$

και δείχνει ότι η μέση τιμή των απωλειών διαδρομής L αυξάνει εκθετικά με την απόσταση d .

Οι όροι της σχέσης (5.3.1) είναι οι εξής:

- n : Εκθέτης των απωλειών διαδρομής. Τυπικές τιμές $3.5 \leq n \leq 5$
- d : Απόσταση μεταξύ κεραιών εκπομπής και λήψης
- d_0 : Απόσταση αναφοράς ή απόσταση μέχρι την οποία ισχύει διάδοση LOS.
- $L(d_0)$: Απώλειες διαδρομής σε απόσταση d_0 και διάδοση LOS
- $L(d)$: Απώλειες διαδρομής για συνδυασμένη διάδοση, LOS και NLOS

Ο εκθέτης n δείχνει πόσο γρήγορα αυξάνουν οι απώλειες διαδρομής με την απόσταση. Η απόσταση αναφοράς d_0 θεωρεί ότι υπάρχει διάδοση στον ελεύθερο χώρο (χωρίς εμπόδια) μέχρι την απόσταση d_0 από την κεραία (εικόνα 5.3.1.1). Είναι ενδιαφέρον να επιλεγεί η απόσταση αναφοράς που είναι κατάλληλη για το εκάστοτε περιβάλλον διάδοσης. Σε

κυψελωτά συστήματα μεγάλης κάλυψης χρησιμοποιείται $d_0 = 1 \text{ km}$, ενώ σε εσωτερικούς χώρους χρησιμοποιείται $d_0 = 1$ έως 3 m .

Η απόλυτη μέση τιμή απωλειών διαδρομής (absolute mean path loss) σε dB, ορίζεται ως το άθροισμα των απωλειών διαδρομής $L(d_0)$, για διάδοση LOS από τον πομπό έως την απόσταση αναφοράς d_0 , και των απωλειών διαδρομής για διάδοση NLOS, στο διάστημα από d_0 έως d , σύμφωνα με τη σχέση (5.3.1) η απόλυτη μέση τιμή απωλειών διαδρομής $L(d)$, σε dB, δίνεται από τη σχέση

$$(5.3.2) \quad L(d) = L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10}(d/d_0) \text{ dB}$$

και ονομάζεται επίσης μέσος όρος περιοχής (area mean). Τυπικά $d - d_0 \approx d$, καθότι το d_0 είναι πολύ μικρότερο από το d . Εμπειρικά αποτελέσματα δείχνουν, ότι στα τυπικά NLOS κυψελωτά συστήματα κινητών επικοινωνιών εξωτερικών χώρων ο εκθέτης απωλειών διαδρομής είναι $3.5 \leq n \leq 5$

Στη παρακάτω εικόνα (2.2.11.1) έχει απεικονισθεί η διάδοση επίγειων κινητών επικοινωνιών σε πραγματικό περιβάλλον με υποτιθέμενη τοποθεσία κεραίας. Η εικόνα πάρθηκε μέσω του προγράμματος Google earth κοντά στην περιοχή της μέτρησης.



Εικόνα 2.2.11.1

Διάδοση επίγειων κινητών επικοινωνιών (Antenna: κεραία Εκπομπής, MS: Κινητό τεματικό.)

Για γενικότερες συνθήκες NLOS, υποθέτουμε ότι υπάρχει απόσταση αναφοράς d_0 ή απόσταση διάδοσης ελεύθερου χώρου μεταξύ της κεραίας του πομπού και του πλησιέστερου εμποδίου. Όπως φαίνεται και στην **εικόνα 5.3.1.1**, τα ραδιοκύματα καλύπτουν την απόσταση d_0 με άμεση δέσμη και στη συνέχεια υφίστανται σκέδαση και διαδίδονται κατά τρόπο NLOS.

Η ισχύς λήψης για τη συνδυασμένη διαδρομή LOS και NLOS είναι:

$$(5.3.3) \quad P_{or} = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot L_{TOT}$$

όπου το

$$(5.3.4) \quad L_{TOT} = L_{LOS} \cdot L_{NLOS}$$

Έχει δύο συνιστώσες, τις απώλειες LOS και τις απώλειες NLOS. Οι απώλειες LOS οφείλονται στη διάδοση του σήματος μόνο μέχρι την απόσταση d_0 κατά τρόπο LOS, ενώ στο υπόλοιπο της απόστασης $d - d_0$ το σήμα διαδίδεται κατά τρόπο NLOS.

Από τις προηγούμενες εξισώσεις προκύπτει ότι (5.3.5):

$$(5.3.5)$$

$$L_{TOT}(d) = \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^n$$

NLOS

↑

↓

LOS

3. Εμπορικά Συστήματα Καταγραφής Ποιότητας Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας.

3.1 TEMS Portofolio

Η εταιρεία Ascom προσφέρει το Tems Portofolio, ένα ολοκληρωμένο σύνολο λύσεων για τον έλεγχο, τη συγκριτική αξιολόγηση, την αποτύπωση και την ανάλυση της απόδοσης του δικτύου, διευκολύνοντας έτσι την ανάπτυξη, την βελτιστοποίηση και την συντήρηση δικτύων κινητών επικοινωνιών. Αν και επικεντρώνεται στην τεχνολογία LTE, είναι καταλληλο για τα περισσότερα σύγχρονα είδη δικτύων κινητών επικοινωνιών. Συγκεκριμένα το TEMS Portofolio παρέχει:

- TEMS Discovery: Εργαλείο για επεξεργασία των μετρούμενων δεδομένων από τη ραδιοεπαφή. Υποστηρίζει CDMA2000, 1xEV, GSM/GPRS/EDGE, WCDMA, HSDPA/HSUPA/HSPA+, TD-SCDMA, WiMAX, και LTE τεχνολογίες. Χρησιμοποιεί χάρτες Google και Microsoft Bing για απεικόνιση και ανάλυση των δεδομένων και εισάγει τα δεδομένα της κυψέλης σε TEMS xml αρχεία ή αρχεία μορφής csv (comma separated values)/tab.
- TEMS Investigation: Εργαλείο για συλλογή δεδομένων με αμάξι. Παρέχει πληροφορίες για την κάτω και ανώ ζεύξη (uplink- downlink) LTE δικτύων σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων, τη ρυθμό-απόδοση, τους χρόνους καθυστερήσεων και πληροφορίες για τις γειτονικές κυψέλες. Χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της συμπεριφοράς του τερματικού και της κάλυψης, χωρητικότητας, προσβασιμότητας και ακεραιότητας των κυψελών.
- TEMS Symphony: Εργαλείο για αξιολόγηση επιδόσεων του LTE και έλεγχο δικτύου με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS).
- TEMS Pocket: Εργαλείο χειρός για την επαλήθευση, διατήρηση και την αντιμετώπιση σφαλμάτων ασυρμάτων δικτύων ακόμη και σε εσωτερικούς χώρους. Υποστηρίζει μετρήσεις για τις τεχνολογίες GSM/GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, CDMA και EV-DO και έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης τους για περαιτέρω επεξεργασία.
- TEMS Automatic: Εργαλείο για την επισκόπηση της ποιότητας του δικτύου όπως την αντιλαμβάνονται οι συνδρομητές κάθε χρονική στιγμή. Συλλέγει και αναλύει δεδομένα για το δίκτυο με αυτόματο τρόπο, ελέγχει την ποιότητα φωνής και τη μετάδοση δεδομένων και εντοπίζει σφάλματα και περιοχές συμφόρησης. Ακόμη συλλέγει δεδομένα από ανταγωνιστικά δίκτυα για συγκριτική αξιολόγηση.

- TEMS Monitor Master: Εφαρμογή για τον έλεγχο, αναφορά και αποτύπωση της απόδοσης των δραστηριοτήτων που μπορεί να επιτελέσει ένας συνδρομητής με το κινητό τηλέφωνο. Οι δραστηριότητες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν αποστολή μηνυμάτων (SMS), VoiP κλήσεις, video συνεχούς ροής, υπηρεσίες HTML, Wap, i-mode και υλικό που μπορεί να κατεβάσει ο χρήστης, όπως εικόνες και ήχους κλήσης.
- TEMS Visualizaton: Εργαλείο για ανάλυση δεδομένων που έχουν αποσπαστεί απευθείας από την υποδομή του δικτύου με βάση συντελεσμένα γεγονότα. Επιτρέπει τον άμεσο προσδιορισμό προβλημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα υπηρεσίας και αφορούν συγκεκριμένους συνδρομητές ή συγκεκριμένα μοντέλα κινητών τερματικών. Κατάλληλο για επίλυση προβλημάτων στη ραδιοσυχνότητα και στη χωρητικότητα του δικτύου. Υποστηρίζει τεχνολογίες GSM/GPRS, W-CDMA, HSPA/HSPA+ και LTE.
- TEMS Support: Πλήθος πακέτων έτσι ώστε οι παγκόσμιοι πελάτες του TEMS Portfolio να επιλέγουν τα εργαλεία και τα επίπεδα υπηρεσιών που ταιριάζουν καλύτερα για τις τεχνικές απαιτήσεις.

3.2 Nemo Network Testing Solutions

Η εταιρεία Anite προσφέρει ένα πακέτο προϊόντων για μέτρηση, έλεγχο, βελτιστοποίηση και ανάλυση της ποιότητας των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Τα εργαλεία που παρέχει είναι τα εξής:

- Nemo Outdoor: Εργαλείο βασισμένο σε laptop που υποστηρίζει πολλαπλές ταυτόχρονες μετρήσεις και λειτουργεί για όλες τις τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε μορφή ASCII Nemo για έλεγχο σφαλμάτων, ανάλυση και περαιτέρω επεξεργασία.
- Nemo Handy: Εργαλείο βασισμένο σε smart phone με λειτουργικό Symbian, Windows Mobile ή Android. Χρησιμοποιείται για μετρήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και υπηρεσίας ποιότητας (QoE) της ασύρματης ραδιοεπαφής και των εφαρμογών του

κινητού τερματικού.

- Nemo Inven: Εργαλείο για καταγραφή μετρήσεων με αμάξι. Έχει τη δυνατότητα για μετρήσεις ποιότητας υπηρεσίας και ποιότητας εμπειρίας, συμπεριλαμβάνοντας αλγορίθμους για μετρήσεις ποιότητας φωνής και video.
- Nemo Autonomous: Εργαλείο που εκτελεί αυτόματες, μεγάλης κλίμακας μετρήσεις ραδιοεπαφής. Από ένα σημεία πρόσβασης ο χρήστης μπορεί να έχει εικόνα και να ελέγξει πολλαπλά σταθερά ή κινητά σημεία εξέτασης, επιταχύνοντας έτσι τη διαδικασία απόκρισης σε σφάλματα του δικτύου, καθώς και τη βελτιστοποίηση των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- Nemo FSR1: Ψηφιακός δέκτης σάρωσης για μετρήσεις σε δίκτυα LTE, WCDMA, HSDPA, GSM, CDMA, και EVDO. Δίνει τη δυνατότητα αλλαγής της ραδιοεπαφής για να αναβαθμίσει το κατάλληλο δίκτυο.
- Nemo Analyze: Εργαλείο για ανάλυση, συγκριτική αξιολόγηση, αυτόματη επίλυση σφαλμάτων και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων που προέρχονται από τα προηγούμενα εργαλεία. Είναι δυνατόν να συγκρίνει δεδομένα από άλλους παρόχους, άλλες τεχνολογίες, άλλα χρονικά πλαίσια και να οπτικοποιήσει τα αποτελέσματα σε μια μοναδική αναφορά.

3.3 SwissQual Network Benchmarking, Optimization and Service Monitoring

Η εταιρεία SwissQual έχει αναπτύξει τρία συστήματα για αξιολόγηση, βελτιστοποίηση και απεικόνιση της ποιότητας δικτύων κινητών επικοινωνιών. Τα συστήματα αυτά με τα εργαλεία τους είναι:

- Diversity Benchmarker: Εργαλείο για μετρήσεις ποιότητας δικτύου με αμάξι σε διάφορα είδη περιβάλλοντος, σχεδιασμένο να αντέχει σε κραδασμούς και μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.
- Diversity Explorer: Εργαλείο για αυτόματη, αυτόνομη και από απόσταση καταγραφή θέσης και δεδομένων ποιότητας υπηρεσιών, με δυνατότητα απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο.

- Diversity Ranger: Φορητό εργαλείο για συγκριτική ανάλυση επιδόσεων. Κατάλληλο για δίκτυα 4ης Γενιάς.
- Diversity Optimizer Pro: Εργαλείο για επίλυση σφαλμάτων και βελτιστοποίηση υπηρεσιών και εφαρμογών κινητών τερματικών που λειτουργούν κυρίως σε LTE δίκτυα, αλλά και σε δίκτυα προηγούμενων γενεών.

QualiPoc

Η οικογένεια προϊόντων QualiPoc αποτελεί μια ελαφρύτερη εκδοχή της οικογένειας Diversity.

- QualiPoc Handheld: Φορητό εργαλείο χειρός για την απεικόνιση επίδοσης και την βελτιστοποίηση υπηρεσιών φωνής, video και δεδομένων.
- QualiPoc Freerider: Εκτελεί συγκριτική αξιολόγηση επιδόσεων σε μικρές περιοχές. Κατάλληλο για απεικόνιση της κάλυψης ανταγωνιστικών δικτύων.
- QualiPoc Static: Χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος για αποτύπωση επιδόσεων κάθε χρονική στιγμή.
- QualiPoc Mobile: Αυτόνομο εργαλείο για συνεχή αποτύπωση επιδόσεων δικτύων σε συνθήκες κινητικότητας, το οποίο εγκαθίσταται σε διάφορους τύπους οχημάτων, όπως ταξί, λεωφορεία και μοτοσυκλέτες.

NetQual

- NQDI: Σύστημα για επαξεργασία των μετρήσεων που έχουν προέρθει από τα εργαλεία των δύο προηγούμενων οικογενειών προϊόντων.
- NQView: Χρησιμοποιείται για εμφάνιση και διερεύνηση των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο.
- NQWeb: Εργαλείο προσπελάσιμο από το διαδίκτυο για έλεγχο, οργάνωση, απεικόνιση και δημιουργία αναφορών των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί.

4. Εργαλεία Εξαγωγής Μοντέλου Ραδιοκάλυψης

4.1 Λειτουργικό Σύστημα Android.

Android είναι ένα λειτουργικό σύστημα για συσκευές κινητής τηλεφωνίας το οποίο τρέχει τον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος Linux. Αρχικά αναπτύχθηκε από την Google και αργότερα από την Open Handset Alliance. Επιτρέπει στους κατασκευαστές λογισμικού να συνθέτουν κώδικα με την χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Java, ελέγχοντας την συσκευή μέσω βιβλιοθηκών λογισμικού ανεπτυγμένων από την Google. Το Android είναι κατά κύριο λόγο σχεδιασμένο για συσκευές με οθόνη αφής, όπως τα έξυπνα τηλέφωνα και τα tablet. Παρόλο που έχει αναπτυχθεί για συσκευές με οθόνη αφής, έχει χρησιμοποιηθεί σε κονσόλες παιχνιδιών, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Το Android είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο λογισμικό ανά τον κόσμο. Οι συσκευές με Android λογισμικό έχουν τις περισσότερες πωλήσεις από όλες τις συσκευές Windows, iOS και Mac OS X μαζί.

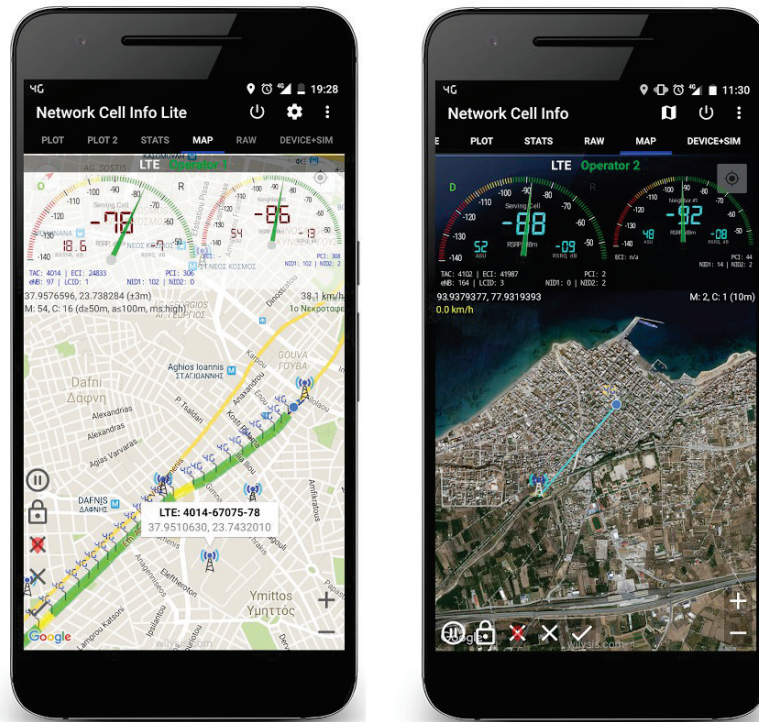
Η πρώτη παρουσίαση της πλατφόρμας Android έγινε στις 5 Νοεμβρίου 2007, παράλληλα με την ανακοίνωση της ίδρυσης του οργανισμού Open Handset Alliance, μιας κοινοπραξίας 48 τηλεπικοινωνιακών εταιριών, εταιριών λογισμικού καθώς και εταιρίες κατασκευής hardware, οι οποίες είναι αφιερωμένες στην ανάπτυξη και εξέλιξη ανοιχτών προτύπων στις συσκευές κινητή τηλεφωνίας.

4.2 Android - Εφαρμογή “Network Cell Info”

Η εφαρμογή Network Cell Info (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfo&hl=el>) είναι διαθέσιμη μέσω Google Play Store για άμεση εγκατάσταση σε συσκευές με λειτουργικό σύστημα Android. Η εφαρμογή απεικονίζει με την χρήση χαρτών της Google τη θέση της φορητής συσκευής καθώς και την θέση των κυψελών ενός πάροχου κινητής τηλεφωνίας. Η εφαρμογή καταγράφει πληροφορίες σχετικά με την ισχύ του σήματος, την ποιότητα του σήματος, τον ρυθμό ανταλλαγής δεδομένων και πληροφορίες σχετικά με την κυψέλη της σύνδεσης μας. Η εφαρμογή έχει τη σημείωση, τη μη δυνατότητα καταγραφής των πραγματικών θέσεων των σταθμών βάσης, αλλά μόνο τη κυτταρική τοποθεσία από τη βάση δεδομένων του Mozilla MLS database. Η Mozilla Location Service (MLS) είναι μια ανοικτή υπηρεσία, η οποία επιτρέπει στις συσκευές να καθορίσουν τη θέση τους με βάση την υποδομή του δικτύου. Η θέση της συσκευής εντοπίζεται με την χρήση των δορυφόρων GPS και την υπηρεσία εντοπισμού θέσης μέσω των κεραιών κινητής τηλεφωνίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται στιγμιότυπα από την χρήση της εφαρμογής καθώς και τη θέση

των κεραιών (στιγμιότυπο 1), κατά τη πρόσβαση της συσκευής μας σε μια κυψέλη, η εφαρμογή μας δείχνει με μια νοητή γραμμή την σύνδεση της συσκευής μας με την κεραία (στιγμιότυπο 2). Σχήμα 4.2.1 στιγμιότυπο 1,2.



Σχήμα 4.2.1

Στιγμιότυπο1

Στιγμιότυπο2

Επίσης η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων που καταγράφηκαν σε μορφή αρχείου. Για τον εντοπισμό του τομέα του σταθμού βάσης GSM. Στο αρχείο που εξάγει η εφαρμογή θα πρέπει να γνωρίζουμε τις παραμέτρους

- MCC: ο κωδικός που προσδιορίζει τη χώρα.
- MNC: ο κωδικός που προσδιορίζει την εταιρεία της κινητής τηλεφωνίας.
- LAC: Είναι ένας μοναδικός αριθμός της τρέχουσας περιοχής της τοποθεσίας
- Cellid (CID): είναι ένα μοναδικός αριθμός που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση κάθε σταθμού βάσης. Σχήμα 4.2.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	radiotype	radio	mcc	mnc	area	cellid	unit	lat	lon	signal	extra	acc	time	speed	bearing	alt
2	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125742	23.758964	-120		25.0	1460543710.0	0.0	0.0	
3	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125749	23.758964	-122		25.0	1460543720.0	0.0	0.0	
4	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125744	23.758968	-122		20.0	1460543750.0	0.0	0.0	
5	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125751	23.758959	-117		39.0	1460543740.0	0.0	0.0	
6	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125773	23.759005	-118		25.0	1460543750.0	0.0	0.0	
7	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125761	23.759004	-120		27.0	1460543760.0	0.0	0.0	
8	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125767	23.759005	-120		27.0	1460543760.0	0.0	0.0	
9	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125769	23.759006	-120		26.0	1460543770.0	0.0	0.0	
10	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125745	23.759005	-120		24.0	1460543770.0	0.0	0.0	
11	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125776	23.759007	-121		27.0	1460543760.0	0.0	0.0	
12	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125747	23.759006	-121		39.0	1460543760.0	0.0	0.0	
13	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125747	23.759005	-124		27.0	1460543760.0	0.0	0.0	
14	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125740	23.759007	-124		26.0	1460543800.0	0.0	0.0	
15	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125738	23.759005	-124		27.0	1460543810.0	0.0	0.0	
16	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125793	23.759006	-124		26.0	1460543810.0	0.0	0.0	
17	LTE	LTE	202	1	4009	695049	149	38.125766	23.759004	-122		27.0	1460543820.0	0.0	0.0	
18																
19																
20																
21																
22																
23																

Σχήμα 4.2.2

Εξαγωγή των δεδομένων καταγραφής.

Με βάση τα δεδομένα (MCC, MNC, LAC, Cellid) μπορούμε να ανατρέξουμε στη σελίδα <http://cellidfinder.com/> να συμπληρώσουμε τη φόρμα και να εντοπίσουμε κατά προσέγγιση τον τομέα του σταθμού βάσης.

Διευκρίνιση: Τα στοιχεία για τον εντοπισμό του σταθμού βάσης της εφαρμογής δεν δίνουν ακριβή αποτελέσματα για την τοποθεσία του σταθμού βάσης, “η εφαρμογή έχει τη σημείωση, τη μη δυνατότητα καταγραφής των πραγματικών θέσεων των σταθμών βάσης, αλλά μόνο τη κυτταρική τοποθεσία από τη βάση δεδομένων του Mozilla MLS database”.

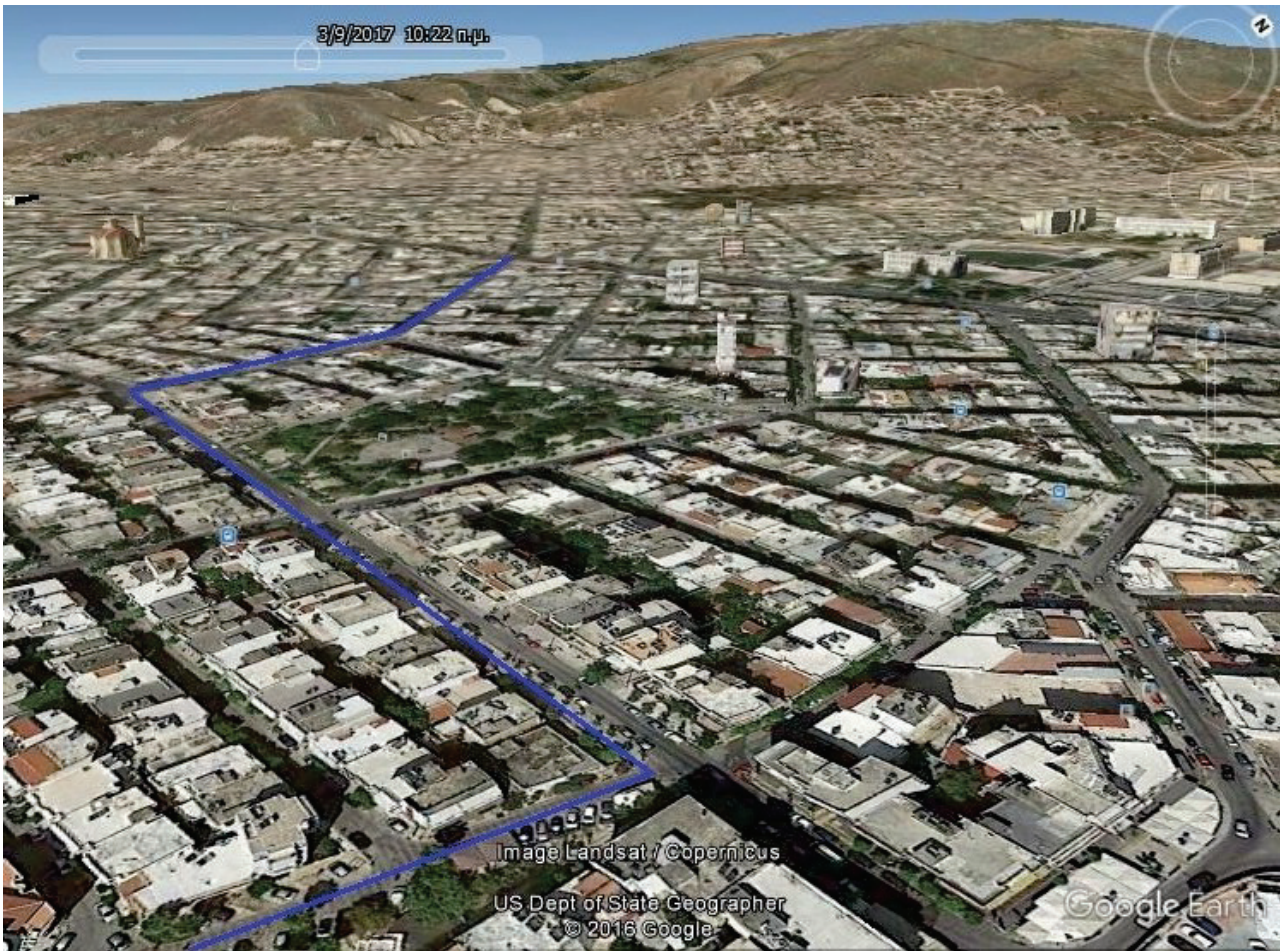
.. Παρόλα αυτά χρειάστηκε να γίνει και η προσέγγιση του σταθμού βάσης σύμφωνα με τον ισότοπο <http://keraies.eett.gr/> όπου περιλαμβάνονται όλες οι νόμιμες κεραιές κινητής τηλεφωνίας των Ελληνικών παρόχων.

5. Ημι-εμπειρικό μοντέλο ραδιοκάλυψης

5.1 Παρουσίαση μετρήσεων

Οι μετρήσεις ισχύος λήψης πάρθηκαν από την περιοχή της Νίκαιας Νομού Πειραιώς , ξεκινώντας από την οδό Ατταλείας 289 και φθάνοντας στην οδό Ταξιαρχών 15 στην περιοχή του Κορυδαλλού.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση της διαδρομής (εικόνα 5.1), ονομάζεται Google Earth. Το Google Earth είναι ένα πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης της Γης. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία Keyhole Inc, με το όνομα Earth Viewer 3D. Το πρόγραμμα συνθέτει εικόνες και πληροφορίες από δορυφορικές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες, στοιχεία GIS και από πολλές πηγές σε επάλληλα στρώματα (που τα ονομάζει επίπεδα), (levels), με σημαντική ευκολία χρήσης. Τα επίπεδα αυτά έχουν αφενός πληροφορίες που εισήγαγε η Google όπως πληροφορίες με ονομασίες δρόμων, πληροφορίες για τον καιρό αλλά και πολλές άλλες πληροφορίες που προσθέτουν οι χρήστες του συστήματος όπως τρισδιάστατα κτίρια για αρκετές περιοχές. Στην πράξη το πρόγραμμα αυτό μπορεί να λειτουργήσει σε όλα τα συνηθισμένα υπολογιστικά συστήματα.



Εικόνα 5.1. Διαδρομή Μετρήσεων (μπλε γραμμή)

Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από την συσκευή παρουσιάζονται στον παρακάτω (πίνακα 2)
Όπου:

- Cellid (CID): είναι ένα μοναδικός αριθμός που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση κάθε σταθμού βάσης.
- Lat: Αναφέρεται στο γεωγραφικό πλάτος .
- Lon: Αναφέρεται στο γεωγραφικό μήκος
- Mcc: ο κωδικός που προσδιορίζει τη χώρα.
- Act: Το υποστηριζόμενο κυτταρικό πρότυπο.
- Measured_at: Παράμετρος για την υποστηριζόμενη μορφή ημερομηνίας και της ώρας της μέτρησης.
- Mnc: ο κωδικός που προσδιορίζει την εταιρεία της κινητής τηλεφωνίας.
- Lac: Είναι ένας μοναδικός αριθμός της τρέχουσας περιοχής της τοποθεσίας
- Signal: Στάθμη ισχύος σήματος σε dB (Pr[dB]).
- Rating: ποιότητα GPS /πληροφορίες ακριβείας (μέτρα)
- speed: Ταχύτητα κινητού τερματικού

Διευκρίνιση 1: Ορισμένες συσκευές κινητής , δεν παρέχουν πληροφορίες σημάτων λήψης (Pr) γειτονικών κυττάρων.

-

Πίνακας 2 “Δεδομένα καταγραφής της ισχύος Λήψης φορητής συσκευής”

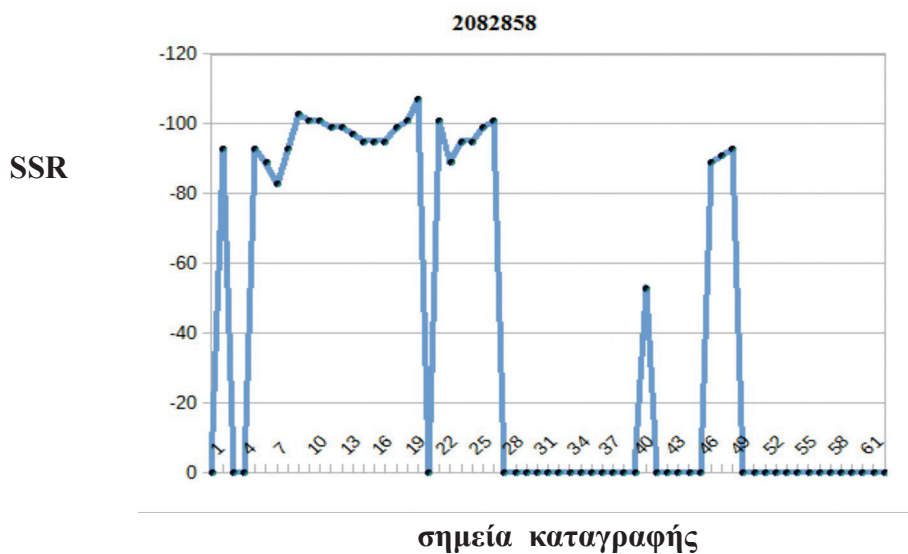
mcc	mnc	lac	cellid	lat	lon	signal	measured_at	rating	speed	direction	act
202	5	6010	2082858	37.9787184	23.6434968	-93	1488875434000	21.0	.7071067	161.0	HSPA
202	5	6010	2082834	37.978567	23.6435765	-95	1488875443999	96.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082834	37.9785681	23.643576	-101	1488875449000	17.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9785329	23.6435984	-93	1488875459000	22.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9784887	23.6436202	-89	1488875470999	25.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9784887	23.6436202	-83	1488875473507	135.11	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.978454	23.643636	-93	1488875483525	31.86	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9784372	23.6436489	-103	1488875493552	28.42	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9779842	23.6437228	-101	1488875502000	96.0	1.5	185.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9779842	23.6437228	-101	1488875502000	96.0	1.5	185.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9779842	23.6437228	-99	1488875503582	107.69	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9779842	23.6437228	-99	1488875510095	116.82	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9775549	23.6439668	-97	1488875515123	53.65	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9775081	23.6439878	-95	1488875530000	19.0	0.75	166.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9774449	23.6441603	-95	1488875540000	12.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9774277	23.6441827	-95	1488875545000	16.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9774228	23.6441841	-99	1488875555000	10.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9772029	23.6442597	-101	1488875565000	96.0	1.346291	162.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9771731	23.6442811	-107	1488875570000	96.0	1.901387	162.0	HSPA
202	5	6010	2082860	37.9769596	23.6444962	-101	1488875580000	41.0	1.820027	162.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9768139	23.6444889	-101	1488875590000	96.0	1.0	167.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9767037	23.6446595	-89	1488875600000	10.0	1.346291	118.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9768313	23.6448193	-95	1488875610000	9.0	1.25	31.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9768607	23.6448695	-95	1488875615000	10.0	0.75	28.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9767814	23.6450388	-99	1488875625000	96.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9767755	23.6450629	-101	1488875635000	20.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9767635	23.6450699	-97	1488875640000	14.0	0.0	0.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9767616	23.6451032	-105	1488875645000	96.0	1.581138	82.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9767809	23.6455454	-99	1488875655000	13.0	1.581138	99.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9767523	23.6456657	-99	1488875659998	12.0	1.0	115.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9767934	23.6457637	-97	1488875665000	9.0	1.0	82.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9767455	23.6460012	-89	1488875674999	11.0	1.581138	138.0	HSPA
202	5	6010	2082860	37.9768051	23.6460745	-89	1488875680000	96.0	1.118034	93.0	HSPA
202	5	6010	2082860	37.9767915	23.6462919	-95	1488875690000	96.0	1.820027	100.0	HSPA
202	5	6010	2082860	37.9769205	23.6464995	-99	1488875700000	8.0	3.162277	58.0	HSPA
202	5	6010	2082862	37.9768666	23.6466086	-95	1488875710000	96.0	1.118034	133.0	HSPA
202	5	37	27691	37.9768298	23.6466601	-51	1488875715000	96.0	1.25	131.0	EDGE
202	5	37	27691	37.9768475	23.6468168	-51	1488875725000	13.0	1.118034	106.0	EDGE
202	5	37	27691	37.9768233	23.6470093	-51	1488875735000	12.0	1.5	96.0	EDGE
202	5	37	2082858	37.9768227	23.6470806	-53	1488875740000	13.0	1.5	89.0	EDGE
202	5	6010	2077027	37.9769249	23.6471385	-97	1488875745000	96.0	2.061552	135.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769709	23.6473246	-93	1488875754999	13.0	2.061552	136.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769466	23.6473961	-93	1488875760000	10.0	1.25	34.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769227	23.6475956	-93	1488875770000	5.0	1.346291	83.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769038	23.6476757	-89	1488875775000	6.0	1.25	88.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9769263	23.6476851	-89	1488875779999	7.0	1.901387	62.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9769157	23.6478879	-91	1488875790000	6.0	1.5	81.0	HSPA
202	5	6010	2082858	37.9769348	23.6479557	-93	1488875795000	6.0	1.5	50.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769342	23.6481234	-97	1488875805000	7.0	1.25	76.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769613	23.6482614	-89	1488875815000	8.0	0.75	100.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9770237	23.6482982	-91	1488875819991	96.0	.7071067	100.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769645	23.6484812	-91	1488875830000	8.0	1.118034	92.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9770285	23.6485173	-89	1488875835000	96.0	1.118034	40.0	HSPA
202	5	6010	2077027	37.9769836	23.6487203	-85	1488875844999	10.0	1.25	86.0	HSPA

Παρατήρηση από πίνακα2 : Δεδομένα με χρώμα μπλε (ίδια γεωγραφικά μήκη-πλάτη (lat - lon).

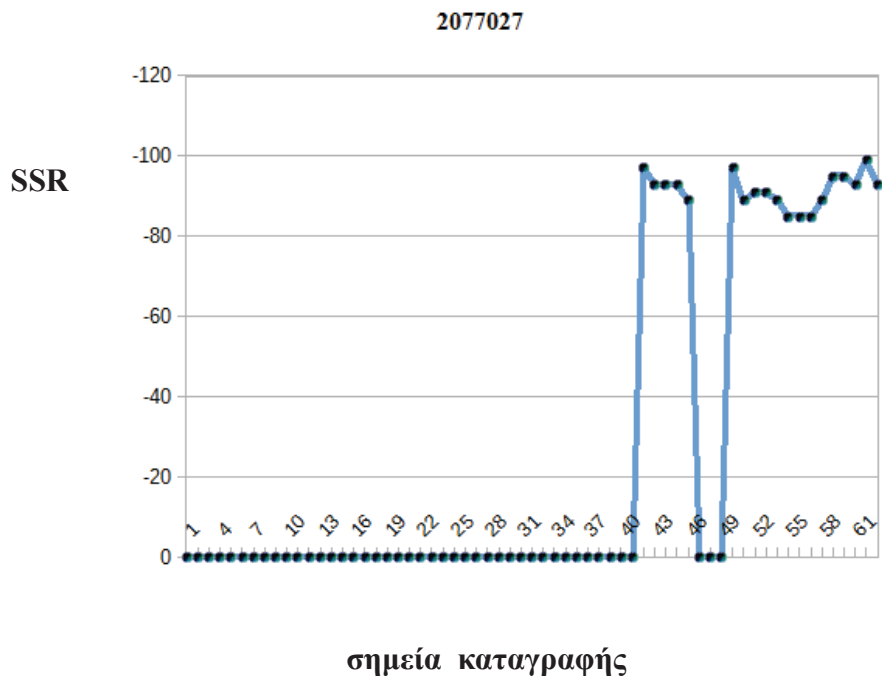
Στη συνέχεια παρουσιάζονται, με τη βοήθεια του προγράμματος excell, τα **διαγράμματα 1 έως 6**, αφορούν τις στάθμες ισχύος λήψης για κάθε διαφορετική κυψέλη Cell id σε συναρτήσε με το κάθε σημείο καταγραφής, το οποίο αντιστοιχεί στο κάθε γεωγραφικό μήκος-πλάτος (lat-lon). Στα σημεία που δεν υπήρχε ένδειξη **SSR (signal strenght receiver)** για την κάθε μια από τις Cellid εισήχθη η τιμή 0, (Διευκρίνηση 1).

Διαγράμματα 1-6

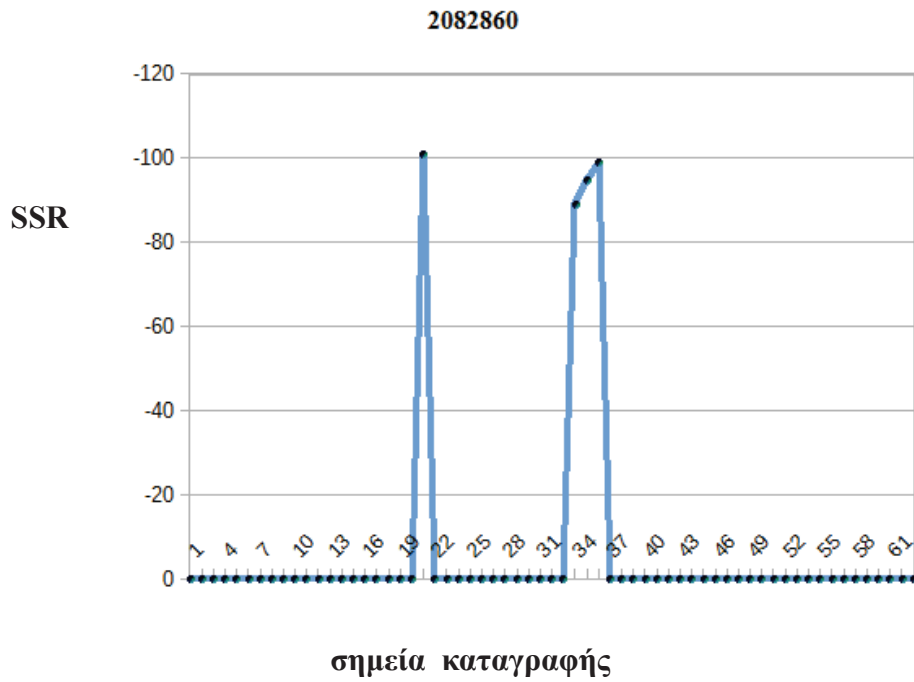
Διάγραμμα 1



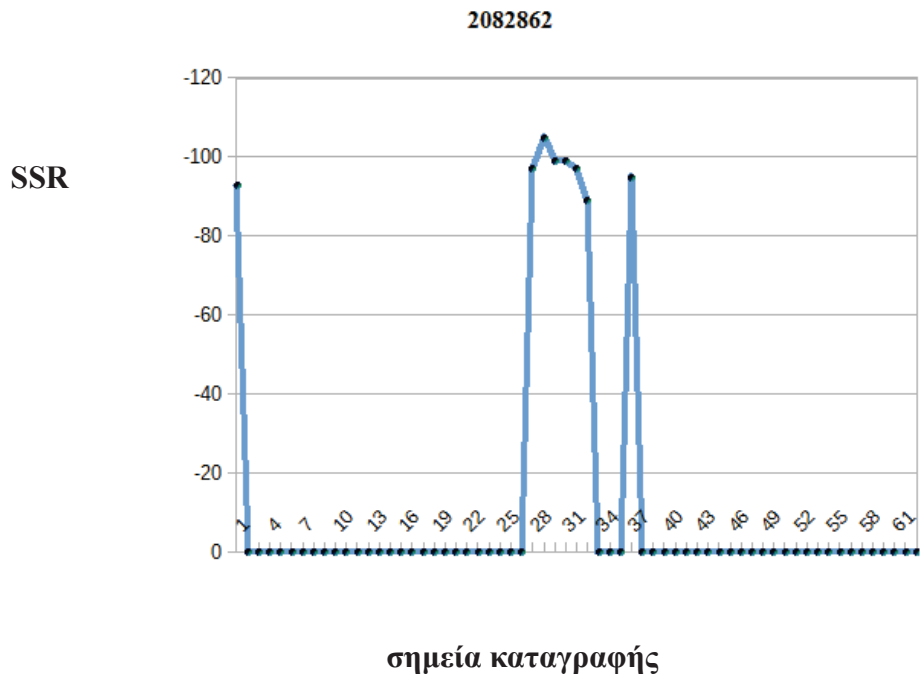
Διάγραμμα 2



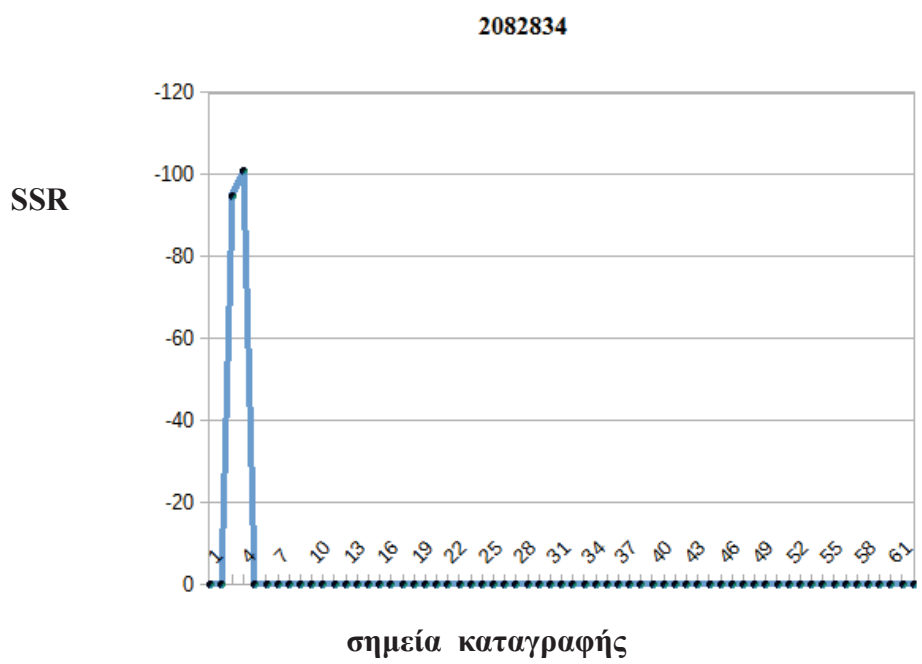
Διάγραμμα 3



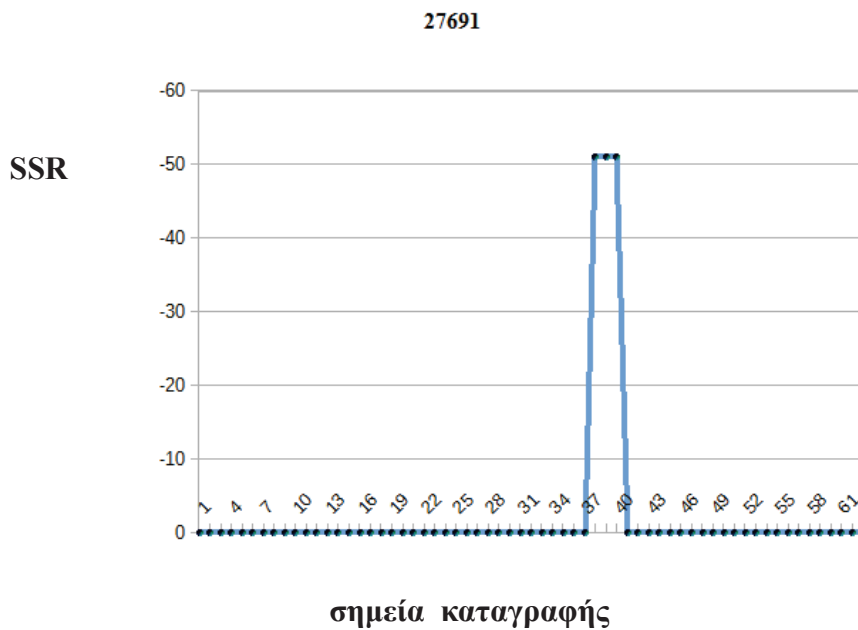
Διάγραμμα 4



Διάγραμμα 5



Διάγραμμα 6



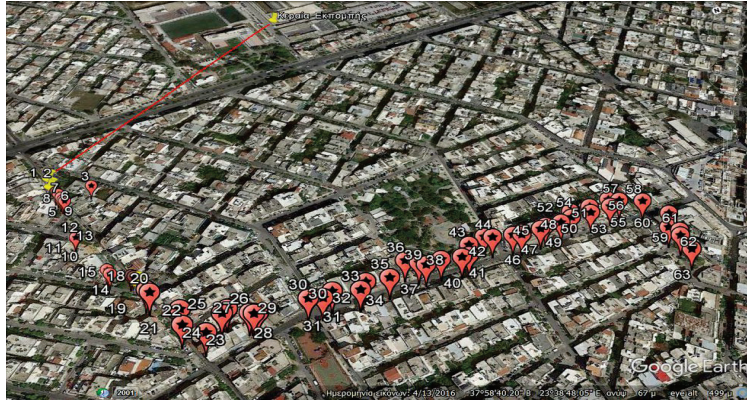
Από τα παραπάνω διαγράμματα καταγράφονται περισσότερα δεδομένα από τη συσκευή, για την κυψέλη με ID: 2082858. Οπότε στη παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη κυψέλη. Από το φορητό τηλέφωνο λάβαμε μετρήσεις ισχύος λήψης (δηλαδή την ποσότητα **SSR**[dBm] (signal strength receiver) για τα κάθε κύτταρα, (Cellid).

5.2 Διαδικασία Εξαγωγής Μοντέλου.

Για την εύρεση της απόστασης από το κάθε σημείο καταγραφής lat, lon (συντεταγμένες που αφορούν το γεωγραφικό μήκος-πλάτος της μέτρησης) από την κεραία εκπομπής, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Google Earth.

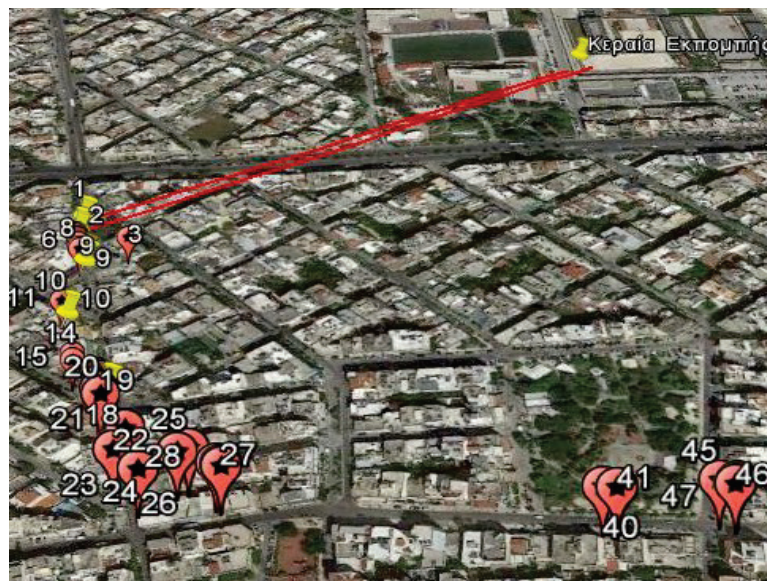
Για τα δεδομένα σημείων (lat-lon) χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “**Προσθήκη Σήμανσης Μέρους**” για κάθε γεωγραφικό μήκος-πλάτος της μέτρησης, **εικόνα** (5.2.1.1).

Τέλος, μέσω του εργαλείου “**Προβολή Χάρτα**” του προγράμματος Google earth βρέθηκε η αντίστοιχη απόσταση του κάθε σημείου καταγραφής σε μέτρα από την κεραία εκπομπής, **εικόνα** (5.2.1.2).



Εικόνα 5.2.1.1

“Προσθήκη Σήμανσης Μέρους μέσω του προγράμματος Google Earth για όλη τη διαδρομή”.



Εικόνα 5.2.1.2

Προβολή Χάρακα για την εύρεση της απόστασης των σημείων από την κεραία εκπομπής μέσω προγράμματος Google Earth, για τα οποία υπήρχε ένδειξη SSR από την Cellid: 2082858

Στον παρακάτω πίνακα εισάγονται τα δεδομένα **SSR** , και η απόσταση (distance[m] , distance[dB]) των σημείων καταγραφής από την κεραία εκπομπής, (ίδιες αποστάσεις από την κεραία εκπομπής και διπλά δεδομένα δεν λαμβάνονται υπόψιν για τον υπολογισμό του συντελεστή απωλειών, παρατήρηση από το Πίνακα 2)

Distance[m]	Distance[dB]	SSR
372,85	2,572	-93
381,71	2,582	-95
384,53	2,585	-101
384,53	2,585	-93
394,85	2,596	-95
395,44	2,597	-90
431,01	2,634	-93
431,01	2,634	-103
431,01	2,634	-101
431,01	2,634	-101
458,65	2,661	-99
460,62	2,663	-99
461,18	2,664	-97
462,01	2,665	-95
462,22	2,665	-95
475,51	2,677	-93
478,33	2,68	-95
503,59	2,702	-101
510,9	2,708	-105

Πίνακας 3
SSR , Distance[m], Distance[dB].

5.3. Υπολογισμός του Εκθέτη απωλειών Ημι-Εμπειρικού μοντέλου.

Σύμφωνα με το μοντέλο Lee η απόλυτη μέση τιμή της ισχύος λήψης P_r εξαρτάται εκθετικά με τον συντελεστή απωλειών ν .

$$(5.3.1\alpha) \quad P_r = d^{-\nu} * C, \text{Watt}$$

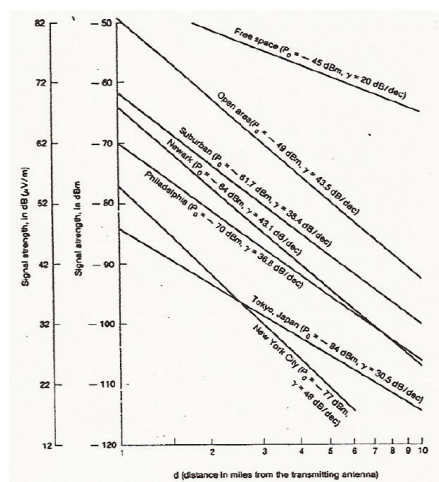
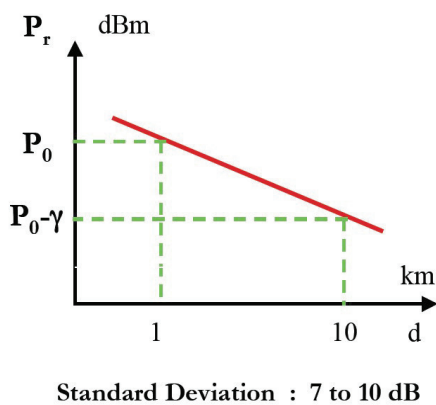
$$(5.3.2\alpha) \quad P_r(d) = -10 \nu \log_{10}(d) + C, \text{ dBm},$$

όπου ν είναι ο εκθέτης απωλειών διαδρομής. Θέτοντας $SSR = \gamma$ και $-X = 10 \log_{10}(d)$

Η σχέση (5.3.2α) γίνεται της μορφής:

$$\begin{array}{c} \tilde{\gamma} = -bX + C \\ \downarrow \quad \downarrow \\ SSR, \quad -10 \cdot \log_{10}(d) [dB] \end{array}$$

Lee's Model on a Log-Log scale

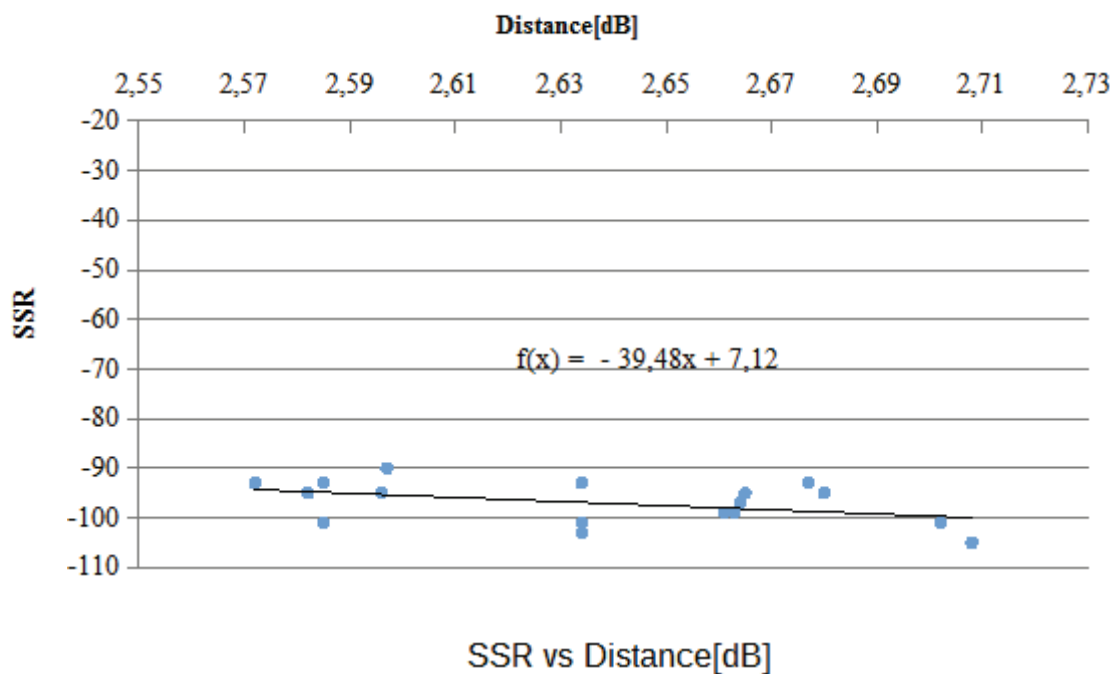


Εικόνα 5.3.1.α

Από τον πίνακα 3

Για την εξαγωγή του γραμμικού τύπου παλινδρόμησης των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα excell. Κατά τη διαδικασία επιλέχθηκαν οι δύο στήλες (SSR, Distance[dB]), το διάγραμμα “διασπορά”. Τέλος, εφαρμόστηκε ο γραμμικός τύπος παλινδρόμησης.

Διάγραμμα 7



Επομένως:

$$v = 39,4 \Rightarrow v = \frac{39,4}{10} \Rightarrow v = 3,94$$

$$C = 7,12$$

Από τη σχέση (5.3.2α) προκύπτει:

$$P_r(d) = -10 \cdot 3,94 \log_{10}(d) + 7,12$$

Παρατηρήσεις

- Παρατηρείται γραμμική μεταβολή της ισχύος λήψης συναρτήσει της απόστασης (Διάγραμμα 7).
- Το μέγεθος συντελεστή απωλειών (ν) Ημί - Εμπειρικού μοντέλου, $\nu > 2$.
- Έκδοση Android κινητής συσκευής: 4.1.2

Συμπεράσματα

- Έλλειψη πολεοδομικών χαρακτηριστικών.
- Απόσταση του σταθμού βάσης (κύτταρο εξυπηρέτησης) από τα σημεία καταγραφής της ισχύος λήψης $d[m] \leq 510$.
- Πραγματική Μέτρηση.
- Δεν λαμβάνονται υπόψιν συνιστώσες για άλλες επιδράσεις μεταξύ της ζεύξης.
- Η συχνότητα του δικτύου δεν είναι γνωστή.
- Φαινόμενα διαλείψεων
- Συμβολή κυμάτων
- Πολλαπλή κάλυψη από πλήθος κεραιών.

Βιβλιογραφία

1. Λούβρος Σ. - Κούγιας Ι. *Το Δίκτυο Κινητής Τηλεφωνίας GSM*. Αθήνα: Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2010.
2. Μιχαήλ Ε. Θεολόγου. *Δίκτυα Κινητών και προσωπικών Επικοινωνιών*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2017².
3. ΦΥΣΙΚΗ ΟΗΑΝΙΑΝ, *ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ-ΟΠΤΙΚΗ Τόμος 2ος*. Εκδόσεις Συμμετρία, 1991.
4. Α. Πακτίτης - Α. Νασιόπουλος. *Εισαγωγή στη Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων*. Εκδόσεις ΙΩΝ, 2007.
5. Ι.Δ Κανελλόπουλος Ιωάννης. *Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε γήινο Περιβάλλον*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2003
6. <https://www.techopedia.com/definition/8448/mobile-switching-center-msc>
7. <http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/gsm/index.htm>
8. <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr04/cellplan/cellsizesize.htm>
9. Διπλωματική εργασία της φοιτήτριας Πολυτεχνικής Σχολής πανεπιστημίου Πατρών. Αθανασακοπούλου Θ. *Χαρακτηρισμός ασυρμάτου καναλιού για εφαρμογές στον κυψελοειδή σχεδιασμό των επίγειων δικτύων Κινητών Επικοινωνιών*.
10. Σ. Κωτσόπουλος. *Σημειώσεις, Αρχιτεκτονικές & Πρωτόκολλα Δικτύων*. Εργαστήριο Ασύρματης Τηλεπικοινωνίας.
<http://eclass.teipir.gr/openececlass/modules/document/file.php/ENGI113/03%20%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF%20%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CE%97%CE%9C%20%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD.pdf>
11. <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/alexiou/ahts/notes/kef08.pdf>
12. Σαββαϊδης Σ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε Πειραιά. *ΗΜ & Διάδοση ΗΜ Κυμάτων Ενότητα 3 & Μηχανισμοί Διάδοσης ΗΜ Κυμάτων*.
<http://eclass.teipir.gr/openececlass/modules/document/file.php/ENGI113/03%20%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF%20%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7%CF%82%20%CE%97%CE%9C%20%CE%9A%CF%85%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD.pdf>
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_mobile_phone_standards
14. http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metaptyxiaka/technologies_diktywn/teaching_m/WirelessNetworks-Web/Chapter2331.html
15. <http://arganseed.com/gsm-bsc>
16. Α. Τραγανίτης. *Συστήματα Ασύρματων Επικοινωνιών, Ενότητα 2. Διάδοση Η/Μ κυμάτων*.
www.csd.uoc.gr/~hy532/lectures/hy532-2008-2.ppt
17. http://www.roggeweck.net/uploads/media/Student_-_GSM_Architecture.pdf
18. <http://wiki.opencellid.org/wiki/API>
19. <https://el.wikipedia.org/wiki/LTE>

20. <https://en.wikipedia.org/wiki/1G>
21. <https://en.wikipedia.org/wiki/2G>
22. <https://en.wikipedia.org/wiki/3G>
23. <https://en.wikipedia.org/wiki/4G>
24. <https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/alexiou/ahts/notes/kef09.pdf>
25. <http://www.eekt.gr/LinkClick.aspx?fileticket=33hvwpKZkw4%3D&tabid=106>
26. <http://kioan.users.uth.gr/wireless/decibels.html>
27. <http://users.teilar.gr/~klimn/mobile/Lec1.pdf>
28. <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Cross%20Section.en.html>
29. <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Free-Space%20Path%20Loss.en.html>
30. Παναγιώτης Γ. Κωπτής - Χρήστος Ν. Καψάλης. *Δορυφορικές Επικοινωνίες*. Εκδόσεις Τζιόλα, 2012³
31. <http://cellidfinder.com/>
32. <http://keraies.eett.gr/>
33. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfo&hl=el>
34. <https://el.wikipedia.org/wiki/Android>
35. https://el.wikipedia.org/wiki/Google_Earth
36. <http://wilysis.com/networkcellinfo/13-manual>
37. <http://wiki.opencellid.org/wiki/API>
38. http://skara.di.uoa.gr/communication_systems/transparency/tranparency2010_k10.pdf
39. https://en.wikipedia.org/wiki/Free-space_path_loss.
Bernard Sklar (December 2005). Digital Communications: Fundamentals & Applications, Second Edition. Bernard Goodwin.
40. <http://www.teilar.gr/dbData/ProfAnn/profann-776863fb.pdf>
41. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C100/493/3203,13012/>