

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**" ΕΞΑΓΩΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΡΑΔΙΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΠΕΡΙΧΩΡΩΝ  
ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ ΒΑΣΕΙ ΠΕΔΙΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΗΣ  
ΙΣΧΥΟΣ ΛΗΨΗΣ ΦΟΡΗΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ "**

**ΚΕΦΑΚΗΣ ΙΣΙΔΩΡΟΣ Α.Μ. 0573**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΡ. ΛΟΥΒΡΟΣ ΣΠΥΡΙΑΩΝ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Τ.Ε.Σ.Υ.Δ. ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**

**ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ 2012**



Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Ναύπακτος, 27/4/2012

#### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Λούβρος Σπυρίδων
2. Ασημακόπουλος Γεώργιος
3. Ασαρίδης Ηλίας



## Ευχαριστίες

...Ευχαριστώ τους φίλους μου, τους καθηγητές μου και την οικογένειά μου, γιατί ο καθένας τους συνέβαλε με τον τρόπο του, έτσι ώστε να φτάσω να γράφω σήμερα τούτες εδώ τις λέξεις...

*« Aut inveniam viam aut faciam »*

*Hannibal (247 – 183/182 BC)*

## Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	9
Περίληψη.....	10
Abstract .....	11
<b>1. Το Δίκτυο GSM .....</b>	<b>13</b>
1.1. Ιστορική αναδρομή.....	13
1.1.1. Πριν το GSM .....	13
1.1.2. Αναλογικά συστήματα κινητών επικοινωνιών .....	14
1.1.3. Η ιστορία του GSM .....	15
1.2. Αρχιτεκτονική δικτύου GSM .....	17
1.2.1. Τα κυψελωτά συστήματα.....	17
1.2.1.1. Εισαγωγή στα κυψελωτά συστήματα .....	17
1.2.1.2. Κυψελωτή κάλυψη.....	18
1.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά .....	20
1.2.3. Ζώνες Συχνοτήτων.....	20
1.2.4. Δομή του δικτύου .....	24
<b>2. Μοντέλα Ραδιοκάλυψης .....</b>	<b>31</b>
2.1. Θεωρητική ανάλυση μοντέλων.....	31
2.1.1. Εισαγωγή .....	31
2.1.2. Απώλειες διαδρομής (Path Loss).....	31
2.1.2.1. Το μοντέλο ελεύθερου χώρου (free space) .....	31
2.1.2.2. Απώλειες λόγω εδάφους.....	32
2.1.2.2.1. Περίθλαση .....	33
2.1.2.2.2. Διάδοση πάνω από πολλαπλά εμπόδια .....	38
2.1.2.2.3. Ζώνες Fresnel .....	42
2.1.2.2.4. Αντανakλάσεις Εδάφους.....	46
2.1.2.3. Το μοντέλο επίπεδης επιφάνειας (plane earth) .....	47
2.2. Εμπειρικά μοντέλα.....	49
2.2.1. Terrain Models – City Models .....	50
2.2.2. OKUMURA – HATA MODEL.....	51
2.2.3. OKUMURA-HATA COST 231 .....	55
2.2.4. Empirical COST - Walfisch - Ikegami Model .....	56

<b>3.</b>	<b>Λειτουργικές Διαδικασίες Δικτύου GSM σε Κατάσταση Αναμονής (Idle Mode)</b> .....	<b>62</b>
3.1.	Εισαγωγή .....	62
3.2.	Ενεργοποίηση της φορητής μονάδος στο δίκτυο .....	63
3.3.	Έλεγχος παραμέτρων κυττάρου.....	64
3.4.	Διαδικασία Cell Reselection .....	66
<b>4.</b>	<b>Συστήματα Παρακολούθησης και Καταγραφής Ποιότητας Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών</b> .....	<b>72</b>
4.1.	TEMS Portfolio (Ascom) .....	72
4.2.	Nemo Network Testing Solutions (Anite) .....	74
4.3.	SwissQual Network Benchmark, Optimization and Service Monitor...	75
<b>5.</b>	<b>Εργαλεία Εξαγωγής Μοντέλου</b> .....	<b>77</b>
5.1.	Λειτουργικό Σύστημα Android – Εφαρμογή Antennas .....	77
5.1.1.	Android .....	77
5.1.1.1.	Εισαγωγή .....	77
5.1.1.2.	Η Αρχιτεκτονική του Android. ....	78
5.1.2.	Antennas .....	81
5.2.	MATLAB .....	83
<b>6.</b>	<b>Ημι-εμπειρικό Μοντέλο Ραδιοκάλυψης</b> .....	<b>84</b>
6.1.	Παρουσίαση μετρήσεων .....	84
6.2.	Διαδικασία εξαγωγής μοντέλου .....	92
	Βιβλιογραφία.....	103





## Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι η διάδοση οποιουδήποτε ηλεκτρομαγνητικού κύματος υπόκειται στους κανόνες της φυσικής. Αυτό εκφράζεται συνήθως σε εξασθένηση σήματος και διάθλασης είτε λόγω απόστασης είτε λόγω εμποδίων κατά τη διάδοση και έτσι στο δέκτη του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εισάγεται ανεπιθύμητος θόρυβος. Εξαιτίας αυτού χρειάζονται μελέτες για την ελάχιστη ένταση του κύματος που θα καλύπτει μια περιοχή, έτσι ώστε να μπορέσουν οι δέκτες να αποδεχθούν σωστά τις πληροφορίες, είτε είναι αναλογικές είτε ψηφιακές.

Για να λυθούν τα προβλήματα ραδιοκάλυψης από ένα σταθμό βάσης απαιτούνται πληροφορίες ως προς τη συχνότητα του διαδιδόμενου σήματος, την φυσιολογία του εδάφους, την έκταση κατοικημένων περιοχών, τα ύψη των κεραιών και φυσικά τα μεγάλα εμπόδια (λόφοι, βουνά, κτίρια). Εξαιτίας όλων αυτών των προβλημάτων και λόγω της τυχαίας κίνησης των οχημάτων είναι αδύνατον να πούμε ότι για τη συγκεκριμένη διάδοση ισχύει κάποιος μαθηματικός τύπος. Υπάρχουν μεγάλες μεταβολές και τυχαία διακύμανση στην ένταση του σήματος ανά σημείο.

Αντίθετα η πρόβλεψη της έντασης του σήματος με μεθόδους στατιστικής ανάλυσης είναι πιο χρήσιμη και αποτελεσματική. Η χρήση του τύπου ελεύθερου χώρου και επίπεδης επιφάνειας χρησιμοποιούνται ως βάση σε διάφορα στατιστικά μοντέλα ραδιοκάλυψης. Για να πούμε εάν ένα μοντέλο ισχύει, θα πρέπει στην περιοχή εκείνη οι μετρούμενες τιμές έντασης σε σχέση με τις εκτιμώμενες στο μοντέλο αυτό, να παρουσιάζουν σφάλμα τυπικής απόκλισης μικρότερο των 8dB σε κάθε σημείο.

## **Περίληψη**

Σκοπός της συγκεκριμένης Πτυχιακής Εργασίας είναι η εξαγωγή ενός ημι-εμπειρικού μοντέλου ραδιοκάλυψης, βάσει πραγματικών μετρήσεων δικτύου, το οποίο να μπορεί να εφαρμοστεί στην ευρύτερη περιοχή της Ναυπάκτου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στην αρχιτεκτονική του δικτύου GSM καθώς και στα τεχνικά του χαρακτηριστικά. Στο δεύτερο κεφάλαιο, επικεντρωνόμαστε και αναλύουμε τα υπάρχοντα μοντέλα ραδιοκάλυψης. Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο, παρέχουμε πληροφορίες για τις Λειτουργικές Διαδικασίες του δικτύου GSM σε Κατάσταση Αναμονής (Idle Mode). Εν συνεχεία (Κεφάλαιο 4) παρουσιάζονται τα πιο γνωστά εμπορικά συστήματα Παρακολούθησης και Καταγραφής Ποιότητας Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών. Στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5) απαριθμούμε τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε κατά τη διάρκεια της εργασίας μας και τέλος, στο έκτο Κεφάλαιο αναλύεται εκτενώς η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την εξαγωγή του μοντέλου ραδιοκάλυψης.

## **Λέξεις Κλειδιά**

Μέτρηση Ισχύος Σήματος, Κυψελωτά / Κυτταρικά Δίκτυα, GSM, Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών, Ποιότητα Δικτύου, Android, Θέση Κινητού, GPS, Google Earth / Maps, MATLAB

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to export a Semi-Empirical Radio Coverage Model, based on real network measurements, which can be implemented in the region of Nafpaktos.

The first chapter is a reference to the GSM network architecture and its technical specifications. In the second chapter we focus and analyze existing radio coverage models. Then, in the third chapter, we provide information on the operating procedures of the GSM network in Idle Mode. Subsequently (in Chapter 4) are presented the most popular commercial systems for Network Monitoring. In the next chapter (Chapter 5) we enumerate the tools used during our work and finally, the sixth chapter analyzes in detail the procedure followed for the extraction of Radio Coverage Model.

## **Key Words**

Signal Power Measurement, Cellular Networks, GSM, Mobile Networks, Network Quality, Android, Mobile Location, GPS, Google Earth / Maps, MATLAB



# 1. Το Δίκτυο GSM

## 1.1. Ιστορική αναδρομή

### 1.1.1. Πριν το GSM

Όταν απολαμβάνουμε τα προνόμια που μας προσφέρει ένα μοντέρνο σύστημα κινητών τηλεπικοινωνιών, δε μπορούμε να συλλάβουμε το πόσο πρόσφατη είναι αυτή η τεχνολογική κατάκτηση. Η ανάπτυξη των ραδιοεπικοινωνιών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εξέλιξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών. Η πρώτη εφαρμογή ραδιοεπικοινωνίας, εμφανίστηκε στο τέλος του 19ου αιώνα με τη χρήση του ραδιοτηλεγράφου. Η νέα αυτή εφεύρεση χρησιμοποιήθηκε και εξελίχθηκε κατ' αρχήν για στρατιωτικούς σκοπούς. Οι πρώτες δημόσιες υπηρεσίες αφορούσαν αποκλειστικά εκπομπή ήχου και αργότερα εικόνας. Είναι εμφανής η έλλειψη διάδρασης – interaction σε τέτοιες μορφές υπηρεσιών επικοινωνίας.

Η μεγάλη έκρηξη στα συστήματα δημόσιας, αμφίδρομης κινητής ραδιοεπικοινωνίας (two-way, εκπομπή και λήψη από το κινητό τερματικό) έγινε μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, όταν η χρήση της διαμόρφωσης συχνότητας (FM) και η εξέλιξη της ηλεκτρονικής βοήθησαν στην δημιουργία της πρώτης τηλεφωνικής υπηρεσίας για αυτοκίνητα σε πραγματική κλίμακα. Η πρώτη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας γεννήθηκε επίσης στο St. Louis των ΗΠΑ το 1946. Η Ευρώπη αφού συνήλθε από τον πόλεμο, ακολούθησε μερικά χρόνια αργότερα.

Τα πρώτα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, θα έμοιαζαν σήμερα πρωτόγονα. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε πως λειτουργούσαν δια χειρός (για τη μεταγωγή από το σύστημα κινητής τηλεφωνίας στο σταθερό τηλεφωνικό δίκτυο). Τα πρώτα κινητά τερματικά ήταν μεγάλα, βαριά και ακριβά. Η εξυπηρετούμενη περιοχή ήταν περιορισμένη στην ραδιοκάλυψη του ενός μόνο σταθμού και μικρή ποσότητα φάσματος ήταν διαθέσιμη για τέτοιου είδους υπηρεσίες. Οι περιορισμοί αυτοί οδήγησαν στην μικρή χωρητικότητα των αρχικών συστημάτων και η συμφόρηση των καναλιών επερχόταν πολύ εύκολα. Η ποιότητα των υπηρεσιών μειώθηκε ραγδαία με την συμφόρηση των καναλιών και μερικές φορές το σύστημα έφτανε σε καταστάσεις κοντά στην απόλυτη κατάρρευση.

Από το 1950 μέχρι το 1980, τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας εξελίχθηκαν στο να γίνουν αυτόματα και το κόστος μειώθηκε λόγω της εισαγωγής της τεχνολογίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Δυστυχώς όμως η χωρητικότητα βελτιώθηκε ελάχιστα χωρίς να καταφέρει να πετύχει αύξηση της διεύθυνσής της στην αγορά. Το αποτέλεσμα ήταν η δημόσια ραδιοτηλεφωνία να παραμένει ένα προϊόν πολυτελείας απευθυνόμενο μόνο σε λίγους.

#### **Κεφάλης Ισίδωρος**

### **1.1.2. Αναλογικά συστήματα κινητών επικοινωνιών**

Τη δεκαετία του 1970 είχαμε την εμφάνιση ολοένα και πολυπλοκότερων συστημάτων. Καθοριστικό ρόλο έπαιξαν η εμφάνιση των ηλεκτρονικών συσκευών μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης και η ανάπτυξη των μικροεπεξεργαστών. Το αμέσως επόμενο βήμα πέρα από τα συστήματα ενός σταθμού βάσης, ήταν η υλοποίηση ενός συστήματος με αρκετούς σταθμούς λήψης και μόνο έναν σταθμό εκπομπής. Επιτρεπόταν έτσι η κάλυψη μίας μεγαλύτερης περιοχής με αύξηση όμως της πολυπλοκότητας. Η αληθινή επανάσταση ήρθε όμως με τα κυψελωτά συστήματα όπου σταθμοί βάσης (εκπομπής και λήψης) είναι αρκετοί σε αριθμό. Επιπλέον οι περιοχές εξυπηρέτησής τους εν μέρει αλληλοκαλύπτονται

Παλιότερες προσπάθειες για αύξηση της περιοχής κάλυψης κινούνταν προς την κατεύθυνση της αύξησης της ισχύος εκπομπής. Τα κυψελωτά δίκτυα είναι βασισμένα στην ιδέα της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Η ίδια συχνότητα, δηλαδή, χρησιμοποιείται από διάφορους σταθμούς βάσης οι οποίοι είναι αρκετά μακριά ο ένας από τον άλλο. Το αποτέλεσμα είναι ένα τρομερό κέρδος σε χωρητικότητα. Ταυτόχρονα όμως μεγαλώνει η πολυπλοκότητα τόσο για το δίκτυο όσο και για το κινητό που θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να διαλέξει ένα σταθμό ανάμεσα σε αρκετούς πιθανούς.

Η ιδέα των κυψελωτών δικτύων εισήχθη από τα Bell Labs και μελετήθηκε σε αρκετά μέρη του κόσμου κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 70. Στις ΗΠΑ, το πρώτο κυψελωτό σύστημα, το AMPS (Advanced Mobile Phone Service) έγινε πραγματικότητα το 1979 όταν το πρώτο προ-λειτουργήσιμο δίκτυο παρουσιάστηκε στο Chicago του Illinois. Στις χώρες της βόρειας Ευρώπης, οι οργανισμοί τηλεπικοινωνιών σε συνεργασία με μερικούς κατασκευαστές σχεδίασαν το σύστημα NMT (Nordic Mobile Telephone), το οποίο είχε σκοπό τη Σκανδιναβική κάλυψη. Το σύστημα άρχισε τη λειτουργία του στη Σουηδία το Σεπτέμβριο του 1981 και λίγο αργότερα στη Νορβηγία, τη Δανία και τη Φιλανδία. Στη Δυτική Γερμανία υλοποιήθηκε το σύστημα C-Netz, στη Γαλλία το Radiocom 2000 και στην Ιταλία το RTMI/RTMS.

Το μεγαλύτερο εθνικό σύστημα στον κόσμο ήταν το βρετανικό TACS με περισσότερους από ένα εκατομμύριο συνδρομητές μέχρι το 1990. Την μεγαλύτερη διείσδυση στην αγορά είχε το σκανδιναβικό NMT όπου περισσότερο από το 6% του σουηδικού και νορβηγικού πληθυσμού διέθετε εξοπλισμό κινητής τηλεφωνίας. Παρ' όλα αυτά, οι αριθμοί αυτοί είναι πολύ μεγαλύτεροι από τις μέσες ευρωπαϊκές τιμές και αποτελούσαν μάλλον την εξαίρεση. Για παράδειγμα, ο δείκτης εισχώρησης το 1991 στη Γαλλία ήταν περίπου το ένα δέκατο από εκείνον της Σουηδίας.

Κάθε σύστημα από τα προηγούμενα, λειτουργούσε αποκλειστικά σε μία χώρα. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ύπαρξη ασυμβατότητας όχι μόνο μεταξύ των συστημάτων αυτών αλλά και του εξοπλισμού. Είναι προφανές ότι η κατάσταση αυτή ήταν ανεπιθύμητη για επιχειρηματικούς λόγους και όχι μόνο. Η ανάγκη για επέκταση της αγοράς κινητής τηλεφωνίας ακόμη και έξω από τα στενά όρια των χωρών σε πανευρωπαϊκό επίπεδο θα επέτρεπε την δημιουργία οικονομιών κλίμακας προς όφελος των εταιριών αλλά και των καταναλωτών.

Η χωρητικότητα των δικτύων αυτών έφτανε αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες συνδρομητές, χωρίς παρόλα αυτά να μπορούν να αντεπεξέλθουν στην ραγδαία ζήτηση τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Επισημαίνουμε πως όλα αυτά τα πρώτα συστήματα ήταν βασισμένα σε αναλογική μεταφορά ομιλίας με διαμόρφωση συχνότητας. Όλα χρησιμοποιούσαν περιοχές συχνοτήτων είτε στα 450 MHz, είτε στα 900 MHz. Το πρόβλημα θα μπορούσε να μετριαστεί με την εκχώρηση νέων συχνοτήτων τις οποίες, όμως, οι κυβερνήσεις δεν ήταν διατεθειμένες να δώσουν. Επίσης προτάθηκαν νέες αναλογικές τεχνικές που φιλοδοξούσαν να διευθετήσουν το πρόβλημα, αλλά το κόστος τους ήταν ιδιαίτερα υψηλό.

Στο τέλος της δεκαετίας του 1980 η ανάπτυξη του αναλογικού εξοπλισμού κινητής τηλεφωνίας ήταν ραγδαία. Αρχικά ήταν δυνατή η εγκατάσταση του εξοπλισμού μόνο μέσα σε όχημα, για λόγους βάρους και παροχής ενέργειας. Όσο ο χρόνος περνούσε το βάρος του εξοπλισμού μειώνονταν και η αυτονομία αυξάνονταν. Οι συσκευές χειρός πρωτοεμφανίστηκαν γύρω στο 1988 αλλά και πάλι δεν ήταν τόσο μικρές ώστε να χωράνε σε τσέπη. Το 1990, τα μικρότερα τερματικά στην αγορά ζύγιζαν λιγότερο από 400 gr. Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε εύκολα, αναφέρουμε ενδεικτικά ότι σήμερα υπάρχουν συσκευές που ζυγίζουν λιγότερο από 100 gr. έχουν πολύ μικρό μέγεθος και αυτονομία μερικών ημερών. Επιπλέον η διεύρυνση της αγοράς, επέτρεψε την μαζικότερη παραγωγή εξοπλισμού ρίχνοντας αισθητά τις τιμές και κάνοντας τον προσιτό σε μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων. Πώς φτάσαμε όμως από τα πανάκριβα τηλέφωνα αυτοκινήτων, που μόνο λίγοι μπορούσαν να αποκτήσουν, στην σημερινή κατάσταση με τα μικρά τερματικά τσέπης; Η απάντηση είναι πολύ απλή: χάρις στο GSM.

### **1.1.3. Η ιστορία του GSM**

Στην Ευρώπη έγινε αντιληπτή από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 η αναγκαιότητα δημιουργίας ενός εξελιγμένου ψηφιακού συστήματος κινητών τηλεπικοινωνιών. Έτσι το 1982 η Επιτροπή Ευρωπαϊκών Ταχυδρομείων και Τηλεγράφων (Conference of European Posts and Telegraphs -

#### **Κεφάλης Ισίδωρος**

*Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου*

CEPT) σχημάτισε μια ομάδα μελέτης με την ονομασία Groupe Special Mobile (εξ' ου και GSM). Σκοπός της επιτροπής αυτής ήταν η μελέτη και η ανάπτυξη ενός Πανευρωπαϊκού δημόσιου συστήματος κινητών τηλεπικοινωνιών. Το υπό ανάπτυξη σύστημα θα έπρεπε να επιτυγχάνει συγκεκριμένα κριτήρια.

Τα κριτήρια αυτά ήταν: καλή ποιότητα μετάδοσης φωνής, χαμηλό κόστος τερματικών συσκευών και υπηρεσιών, υποστήριξη δυνατότητας διεθνούς περιαγωγής (roaming), δυνατότητα υποστήριξης τερματικών χειρός, υποστήριξη για μια γκάμα νέων υπηρεσιών και διευκολύνσεων, ικανοποιητική φασματική απόδοση και τέλος συμβατότητα με το ISDN.

Το 1989, η αρμοδιότητα για την ανάπτυξη του GSM μεταφέρθηκε στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunication Standards Institute - ETSI) και η πρώτη φάση των προδιαγραφών δημοσιεύτηκε το 1990. Η εμπορική λειτουργία ξεκίνησε στα μέσα του 1991 με αποτέλεσμα μέχρι το 1993 να υπάρχουν 36 δίκτυα GSM σε 22 χώρες.

Οι δημιουργοί του GSM επέλεξαν ένα μη δοκιμασμένο (εκείνη την εποχή) ψηφιακό σύστημα απορρίπτοντας τις τότε ευρέως διαδεδομένες επιλογές αναλογικών κυψελωτών συστημάτων όπως το AMPS στις Ηνωμένες Πολιτείες και το TACS στη Μεγάλη Βρετανία. Είχαν πίστη στα πλεονεκτήματα των αλγορίθμων συμπίεσης και στους επεξεργαστές ψηφιακής σηματοδότησης, και ευελπιστούσαν ότι θα εξασφάλιζαν την εκπλήρωση των αρχικών στόχων και την συνεχή βελτίωση του συστήματος σε επίπεδα ποιότητας και κόστους. Οι πάνω από 8.000 σελίδες των προδιαγραφών του GSM προσπάθησαν να επιτρέψουν την ευελιξία και την εξελιξιμότητα του προτύπου στα πλαίσια του ανταγωνισμού ανάμεσα στους κατασκευαστές. Παρόλα αυτά οι προδιαγραφές παρείχαν την απαραίτητη προτυποποίηση ώστε να εγγυηθούν την απαραίτητη συνεργασία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων του συστήματος. Αυτό έγινε παρέχοντας προτυποποίηση για λειτουργικές απαιτήσεις (functional) και διεπαφές (interface) για κάθε μία από τις λειτουργίες του συστήματος.

Παρότι η δημιουργία του προτύπου GSM έγινε στην Ευρώπη, αυτό δεν παρέμεινε Ευρωπαϊκό standard. Πάνω από 200 GSM δίκτυα (συμπεριλαμβανομένων των δικτύων DCS1800 και PCS1900) λειτουργούν σε 110 χώρες σε όλο τον κόσμο. Στις αρχές του 1994 τα συστήματα υποστήριζαν 1,3 εκατομμύρια συνδρομητές παγκοσμίως, οι οποίοι αυξήθηκαν σε 55 εκατομμύρια τον Οκτώβριο του 1997. Στις χώρες της βορείου Αμερικής το GSM εισήχθη με καθυστέρηση, με μια παραλλαγή το PCS1900. Αυτή τη στιγμή το GSM είναι ένα



πραγματικά παγκόσμιο standard τηλεπικοινωνιών και το ακρωνύμιο αντιπροσωπεύει πλέον τη φράση Global System for Mobile communications.

## **1.2. Αρχιτεκτονική δικτύου GSM**

### **1.2.1. Τα κυψελωτά συστήματα**

#### **1.2.1.1. Εισαγωγή στα κυψελωτά συστήματα**

Ακόμα και αν ο όρος δίκτυο χρησιμοποιείται συχνά όταν μιλάμε για την αρχιτεκτονική του GSM, θα ήταν πιο σωστό να θεωρούμε το σύστημα, όπως σχεδιάστηκε, ως μία πρόσβαση στα υπάρχοντα δίκτυα τηλεπικοινωνιών που στοχεύουν στην εξυπηρέτηση χρηστών με κινητά τερματικά GSM. Ένα GSM δίκτυο, δεν μπορεί ουσιαστικά να εγκαθιστά αυτόνομα, τηλεφωνήματα που δεν είναι τοπικά μεταξύ κινητών συνδρομητών. Για άλλα τηλεφωνήματα, βασίζεται σε ήδη υπάρχοντα δίκτυα για τη δρομολόγηση των τηλεφωνημάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η υπηρεσία που προσφέρεται στο χρήστη αποτελεί ένα συνδυασμό της πρόσβασης που προσφέρει ένα GSM δίκτυο και εκείνης ενός σταθερού δικτύου.

Θεωρώντας το GSM ως ένα άλλο "τοπικό βρόχο" μας οδηγεί στο να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά του με εκείνα της καλωδιακής τηλεφωνικής πρόσβασης, τονίζοντας δύο βασικές διαφορές:

Πρώτον, η ευρείας περιοχής κινητικότητα των συνδρομητών τους οδηγεί στο να αλλάζουν το σημείο πρόσβασης (σταθμός βάσης) και αυτό δημιουργεί ένα σοβαρό πρόβλημα για τη δρομολόγηση των τηλεφωνημάτων προς τους συνδρομητές. Αυτό σχετίζεται με τη διαχείριση κινητικότητας (mobility management).

Δεύτερον, η σύνδεση μεταξύ του κινητού και του σταθμού βάσης δεν είναι μόνιμη αλλά αντικείμενο κυμαινόμενων απαιτήσεων μεταφοράς (transmission requirements). Αυτό έχει να κάνει με τη διαχείριση ραδιοπόρων (radio resource management).

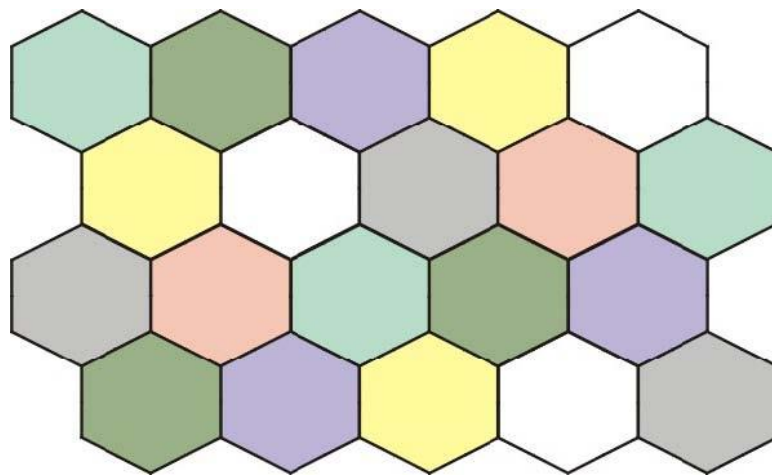
Οι επιπτώσεις και των δύο παραπάνω θα περιγραφούν στη συνέχεια αφού λάβουμε υπόψη κάποιες βασικές αρχές της κυψελωτής κάλυψης.

### 1.2.1.2. Κυψελωτή κάλυψη

Τα βασικά προβλήματα με τη ράδιο-κατανομή προκύπτουν από τη διάδοση (propagation) του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Με ένα μειωμένο μέγεθος αλλά και με μία αυξανόμενη αυτονομία τα κινητά τερματικά έχουν περιορισμένες δυνατότητες μεταφοράς. Είναι γνωστό ότι η ισχύς των ραδιοκυμάτων μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης στον ελεύθερο χώρο. Μεταξύ όμως δύο σταθμών κοντά στο έδαφος οι ανακλάσεις που δημιουργούν παρεμβολές δεν μπορούν να αμεληθούν, ενώ είναι πολύ πιθανό το ότι διάφορα εμπόδια να επεμβαίνουν στη οπτική επαφή τους. Ως αποτέλεσμα, η διάδοση στο επίπεδο του εδάφους σε ένα αστικό περιβάλλον γίνεται δυσκολότερα και η λαμβανόμενη ισχύς κυμαίνεται σε σχέση με το αντίστροφο της τέταρτης δύναμης της απόστασης.

Ένα δεύτερο πρόβλημα είναι η έλλειψη φάσματος (spectrum scarcity). Ο αριθμός των ταυτόχρονων ραδιοεπικοινωνιών που υποστηρίζεται από έναν μοναδικό σταθμό είναι περιορισμένος.

Η κυψελωτή κάλυψη επιτρέπει υψηλή πυκνότητα τηλεφωνικής κίνησης σε μία ευρεία περιοχή ανεξάρτητα από τα προαναφερθέντα προβλήματα επιβαρύνοντας όμως με κόστος και πολυπλοκότητα το όλο σύστημα.



Σχήμα 1.1: Κυψελωτή κάλυψη

Η έλλειψη φάσματος παρακάμπτεται από την επαναχρησιμοποίηση των ραδιοπόρων. Συχνότητες που χρησιμοποιούνται σε μία δεδομένη κυψέλη επαναχρησιμοποιούνται (βλέπε σχήμα 1.1) σε άλλες κυψέλες που βρίσκονται τόσο μακριά, ώστε η αναπόφευκτη παρεμβολή που δημιουργείται από την κοντινή χρήση του ίδιου φάσματος να βρίσκεται σε αποδεκτό επίπεδο. Αυτή η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης συχνότητας είναι το κλειδί για την υψηλή

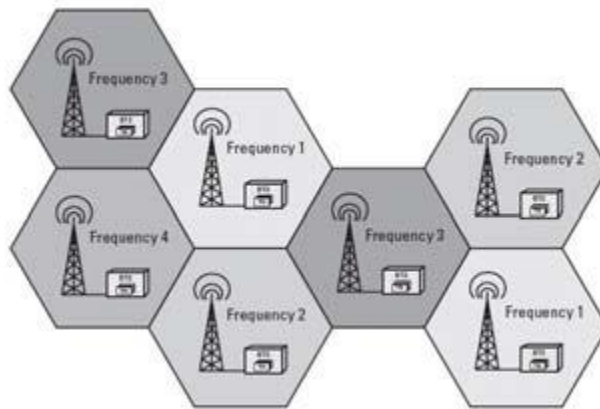
χωρητικότητα. Για παράδειγμα, αν η ίδια συχνότητα επαναχρησιμοποιείται κάθε ένατη κυψέλη, η ανάθεση φάσματος  $N$  συχνοτήτων επιτρέπει  $N/9$  φέροντα να μπορούν να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα σε οποιαδήποτε δεδομένη κυψέλη. Η συνολική διέλευση του συστήματος, συχνά εκφρασμένη σε αριθμό ταυτόχρονων τηλεφωνημάτων ανά τετραγωνικό χλμ. ανά MHz, μπορεί έτσι να αυξηθεί μειώνοντας το μέγεθος της κυψέλης (στην πράξη ελάττωση της επιφάνειας της κυψέλης έχει και κάποια άλλα αποτελέσματα και ο σχεδιασμός ενός κυψελωτού συστήματος σπάνια διαχειρίζεται επιτυχώς όλα τα μεγέθη κυψελών από το 0 έως το άπειρο). Στην περίπτωση του GSM, ο αρχικός προγραμματισμός σκόπευε σε μεσαίου μεγέθους κυψέλες, διαμέτρων της τάξης των χλμ. ή δεκάδων χλμ. Όμως το κατώτερο όριο είναι δύσκολό να καθοριστεί: κυψέλες με ακτίνα μεγαλύτερη από 1 χλμ. δεν θα είχαν πρόβλημα, όμως το σύστημα πιθανόν να μην ήταν πλήρως κατάλληλο να χειριστεί κυψέλες με ακτίνα μικρότερη από 300 μ. Ένας παράγοντας περιορισμού είναι περισσότερο οικονομικός παρά σχετικός με φυσικούς νόμους. Η αποδοτικότητα του συστήματος μειώνεται όταν μικραίνει το μέγεθος της κυψέλης και ο λόγος του κόστους προς την τηλεφωνική κίνηση αυξάνει και τελικά φτάνουμε σε ένα σημείο όπου πολύ δύσκολα γίνονται περαιτέρω δαπάνες. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι το να μπορεί η χωρητικότητα του συστήματος να μεταφέρεται από μία κυψέλη σε άλλη ταχύτατα και το GSM απαιτεί πολύ χρόνο για να ετοιμάσει μία τέτοια μεταφορά και να αντιμετωπίσει τους πολύ γρήγορα κινούμενους χρήστες σε πολύ μικρές κυψέλες. Το ανώτερο όριο για το μέγεθος της κυψέλης είναι πιο προφανές: ένα πρώτο, όχι τόσο απόλυτο όριο στο GSM είναι ένα εύρος 35 χλμ. Κυψέλες μεγαλύτερου μεγέθους είναι πιθανές, αλλά απαιτούν ειδικά σχεδιασμένο εξοπλισμό για το σταθμό βάσης και έχουν και κάποια απώλεια αν αναφερθούμε σε μέγιστη χωρητικότητα.

Ο αριθμός των σταθμών βάσης που θα καλύψουν μία δεδομένη περιοχή με δεδομένη υψηλή κίνηση αλλά και το ύψος του συνολικού κόστους, καθορίζεται ευθέως από τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης αλλά και από τον αριθμό των καναλιών κίνησης που μπορούν να εξαχθούν από το διαθέσιμο φάσμα. Αυτοί οι δύο παράγοντες συνθέτουν αυτό που ονομάζεται φασματική απόδοση του συστήματος.

Πολλά τεχνικά τεχνάσματα ώστε να βελτιωθεί η φασματική απόδοση χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό του συστήματος και παρουσιάστηκαν στο GSM. Αυξάνουν την πολυπλοκότητα, αλλά αυτό εξισορροπείται από τα οικονομικά πλεονεκτήματα της καλύτερης αυτής απόδοσης.

### 1.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το GSM όπως προείπαμε είναι ένα κυψελωτό δίκτυο, που σημαίνει ότι τα κινητά τηλέφωνα συνδέονται με αυτό αναζητώντας κυψέλες σε άμεσα γειτονικές περιοχές. Τα δίκτυα GSM λειτουργούν σε τέσσερις διαφορετικές συχνότητες. Τα περισσότερα δίκτυα λειτουργούν στα 900 ή στα 1800 MHz. Ορισμένες χώρες στην Αμερική, όπως ο Καναδάς και οι ΗΠΑ, χρησιμοποιούν εύρος ζώνης συχνοτήτων στα 850 και 1900 MHz, επειδή οι συχνότητες των 900 και 1800 MHz ήταν ήδη κατειλημμένες από άλλες εφαρμογές.



Σχήμα 1.2 Η κάλυψη μιας περιοχής σε κυψέλες

Δίκτυα με συχνότητες στα 400 και 450 MHz λειτουργούν σε ορισμένες χώρες και κυρίως στις σκανδιναβικές, όπου οι συχνότητες αυτές είχαν χρησιμοποιηθεί πρωτύτερα για συστήματα πρώτης γενιάς.

### 1.2.3. Ζώνες Συχνοτήτων

#### GSM 900

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα GSM στη ζώνη συχνοτήτων των 900MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Uplink), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (downlink). Οι ζώνες των 25MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 124 + (1 ελεύθερο) κανάλια συχνότητας και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200 KHz. Η πολυπλεξία χρόνου (TDM, Time Division Multiplexing) χρησιμοποιείται για να επιτρέπει τη λειτουργία είτε οχτώ πλήρους ταχύτητας (full rate) ή δεκαέξι μισής ταχύτητας (half rate)

#### Κεφάλης Ισίδωρος

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

κανάλια φωνής ανά συχνότητα. Υπάρχουν οχτώ αιχμές στο χρόνο, που αναλογούν σε οχτώ περιόδους ριπών (burst periods), οι οποίες ομαδοποιούνται σε ένα πλαίσιο TDMA (Time Division Multiplexing Access). Τα κανάλια μισού ρυθμού χρησιμοποιούν εναλλακτικά πλαίσια στην ίδια χρονική αιχμή. Ο ρυθμός δεδομένων του καναλιού είναι 270.833 kbit/s και η διάρκεια πλαισίου είναι 4.615 ms. Όλο αυτό το σύστημα ονομάστηκε GSM 900 ή Standard GSM. Η ισχύς μεταφοράς στις συσκευές τηλεφώνου αυτής της κατηγορίας περιορίζεται σε 2 watts το μέγιστο.

### **GSM 1800**

Στη συνέχεια, το 1991, αναπτύχθηκε το DCS 1800 σύστημα, όπου διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Uplink και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Downlink. Οι περιοχές των 75MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 374+ 1 (ελεύθερο) κανάλια και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν κατειλημμένες από άλλους παρόχους κινητής τηλεφωνίας. Όπως και στην χώρα μας σήμερα όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα (GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά στα δίκτυα τους. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 το GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το DCS 1800 σε GSM 1800 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM. Η ισχύς μεταφοράς στις συσκευές τηλεφώνου αυτής της κατηγορίας περιορίζεται σε 1 watt το μέγιστο.

### **GSM 1900**

Στο GSM 1900 χρησιμοποιείται σε αρκετές χώρες της Αμερικής. Διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων: Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για Uplink και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για Downlink. Οι περιοχές των 60MHz υποδιαιρούνται η καθεμία σε 299+1 (ελεύθερο) κανάλια συχνοτήτων και κάθε κανάλι έχει εύρος ζώνης 200KHz. Στα τέλη δεκαετίας του 1990 το GSM World Association αποφάσισε να μετονομάσει το παλιό PCS 1900 σε GSM 1900 για να φανεί η δυναμικότητα και η παγκοσμιότητα του GSM. Η ισχύς μεταφοράς στις συσκευές τηλεφώνου αυτής της κατηγορίας περιορίζεται επίσης σε 1 watt το μέγιστο.

### **Κεφάλης Ισίδωρος**

## **E-GSM • Extended-GSM 900 - Εκτεταμένη ζώνη GSM**

Το E-GSM καθορίστηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ράδιο Επικοινωνιών στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για Uplink και 925 έως 960 MHz Downlink. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους.

Το GSM χρησιμοποίησε μια ποικιλία από κωδικοποιητές φωνής για να συμπιέσει τον ήχο των 3.1 kHz σε ρυθμό μεταφοράς δεδομένων μεταξύ 5.6 και 13 kbit/s. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν δύο κωδικοποιητές που πήραν το όνομά τους από το είδος των καναλιών που χρησιμοποιούσαν για τη μετάδοση δεδομένων, Half Rate (5.6 kbit/s) και Full Rate (13 kbit/s). Οι ρυθμοί αυτοί χρησιμοποιούσαν ένα σύστημα βασισμένο σε κωδικοποίηση γραμμικής πρόβλεψης (Linear Predicting Coding, LPC). Εκτός από την αποτελεσματικότητά του ως προς το ρυθμό των bits (bit rate), οι κωδικοποιητές αυτοί καθιστούσαν ευκολότερη την αναγνώριση των πιο σημαντικών τμημάτων του ήχου, επιτρέποντας το στρώμα διεπαφής του αέρα να θέτει προτεραιότητες και να προστατεύει καλύτερα αυτά τα τμήματα του σήματος.

Το GPS βελτιώθηκε περισσότερο το 1997 με τον κωδικοποιητή βελτιωμένου πλήρους ρυθμού (Enhanced Full Rate, EFR) έναν κωδικοποιητή στα 12.2 kbit/s που χρησιμοποιεί κανάλι με πλήρη ρυθμό μεταφοράς δεδομένων. Με την ανάπτυξη του UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), μιας τρίτης γενιάς τεχνολογίας κυψελωτών τηλεφώνων, το EFR μετατράπηκε σε ένα μεταβλητού ρυθμού κωδικοποιητή (AMR-Narrowband), που είναι υψηλής ποιότητας και ανθεκτικός σε παρεμβολές στη χρήση καναλιών πλήρους ρυθμού, όμως λιγότερο ανθεκτικός αλλά σχετικά επίσης υψηλής ποιότητας στη χρήση καναλιών μισού ρυθμού κάτω από καλές συνθήκες.

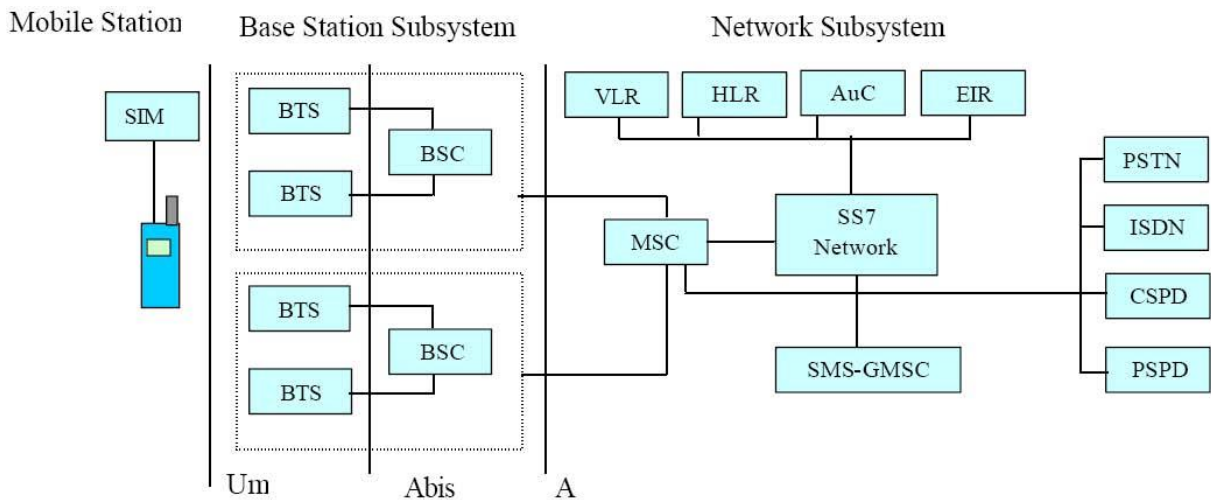
Υπάρχουν πέντε διαφορετικά μεγέθη κυψελών σε ένα δίκτυο GSM: macro, micro, pico, femto και umbrella κυψέλες. Η περιοχή κάλυψης κάθε κυψέλης ποικίλει σύμφωνα με το περιβάλλον υλοποίησης. Οι κυψέλες macro μπορούν να θεωρηθούν ως κυψέλες όπου ο σταθμός βάσης της κεραίας βρίσκεται εγκατεστημένος σε έναν στύλο ή στην κορυφή ενός κτιρίου μεσαίου μεγέθους. Οι κυψέλες micro είναι κυψέλες των οποίων το ύψος της κεραίας είναι κάτω από το μέσο ύψος της κορυφής ενός κτιρίου. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε

αστικές περιοχές. Οι pico κυψέλες είναι μικρές κυψέλες των οποίων η διάμετρος κάλυψης είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εσωτερικούς χώρους. Οι κυψέλες femto είναι σχεδιασμένες για χρήση σε οικιστικό ή μικρής έκτασης εργασιακό περιβάλλον και συνδέονται στο δίκτυο του παροχέα υπηρεσιών μέσω μίας ευρείας ζώνης σύνδεσης internet. Οι κυψέλες umbrella χρησιμοποιούνται για να καλύψουν σκιασμένες περιοχές ή μικρότερες κυψέλες και να «γемίζουν» τα κενά μεταξύ αυτών των κυψελών. Η οριζόντια ακτίνα μιας κυψέλης εξαρτάται από το ύψος και το κέρδος της κεραίας και τις συνθήκες μετάδοσης από λίγες εκατοντάδες μέτρα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα. Η μεγαλύτερη απόσταση που υποστηρίζει στην πράξη η προδιαγραφή του GSM είναι 35 χιλιόμετρα, ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα. Υπάρχουν επίσης αρκετές υλοποιήσεις της ιδέας μιας εκτεταμένης κυψέλης, όπου η ακτίνα της κυψέλης μπορεί να είναι διπλάσια ή ακόμα μεγαλύτερη, κάτι που εξαρτάται από το είδος της περιοχής και το χρόνο που χρειάζεται ώστε το σήμα να φτάσει το σταθμό βάσης από το κινητό τηλέφωνο (timing advance).

Η κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός σταθμού βάσης εσωτερικού χώρου με κυψέλες pico ή με μια εσωτερικού χώρου διάταξη επανάληψης (indoor repeater) με κατανεμημένες κεραίες, που τροφοδοτούνται με ισχύ για να μεταδώσουν τα ραδιοσήματα από μια κεραία εξωτερικού χώρου στο κατανεμημένο σύστημα κεραιών εσωτερικού χώρου.

Η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στο GSM είναι η GMSK (Gaussian minimum-shift keying). Στη διαμόρφωση αυτή το σήμα που θα διαμορφωθεί με το φέρον αρχικά εξομαλύνεται με ένα Γκαουσιανό χαμηλοπερατό φίλτρο, το οποίο μειώνει αισθητά την παρεμβολή από γειτονικά κανάλια.

### 1.2.4. Δομή του δικτύου



Σχήμα 1.3 Δομή του δικτύου GSM

Ένα GSM δίκτυο χωρίζεται στα παρακάτω βασικά μέρη:

1) Τον Κινητό Σταθμό (MS, Mobile Station): Διαθέτει τόσους Κινητούς Σταθμούς όσους είναι δυνατόν, σε ποικίλες μορφές και κατηγορίες ισχύος εκπομπής. Αποτελείται από πομπό-δέκτη, κεραία, οθόνη και την κάρτα SIM. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς εκπομπής στην Ευρώπη μιας κινητής μονάδας είναι στα 2 Watt ενώ σε Αυστραλία και Αμερική είναι 1,6W. Οι τιμές αυτές καθορίστηκαν από την Διεθνή Επιτροπή για την προστασία από τη μη ιονίζουσα ακτινοβολία.

2) Τη Μονάδα Αναγνώρισης Συνδρομητή (SIM, Subscriber Identity Module), γνωστή και ως κάρτα SIM. Το GSM διακρίνει την ταυτότητα του συνδρομητή από αυτή του εξοπλισμού του κινητού τηλεφώνου. Η SIM είναι μία αποσπώμενη «έξυπνη» κάρτα που αποτελεί μια βάση δεδομένων από την πλευρά του χρήστη. Είναι ένα chip, το οποίο εισάγεται στην GSM συσκευή και περιέχει πληροφορίες συνδρομής του χρήστη και τηλεφωνικό κατάλογο. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να ανακτήσει τις πληροφορίες του έπειτα από αλλαγή τηλεφωνικής συσκευής. Εναλλακτικά, ο χρήστης μπορεί επίσης να αλλάξει διαχειριστή, ενώ ανακτά τη συσκευή, απλά αλλάζοντας τη SIM. Ορισμένοι διαχειριστές θα εμποδίσουν αυτή την πράξη επιτρέποντας στο τηλέφωνο να χρησιμοποιεί μόνο μία κάρτα SIM ή μόνο μία SIM που διανέμεται από αυτούς (SIM locking).



3) Το Βασικό Υποσύστημα Σταθμού (BSS, Base Station Subsystem): Το BSS διαχειρίζεται τις κλήσεις σε μια γεωγραφική περιοχή όπου καλύπτεται από ένα σύνολο κεραιών διαφόρων μεγεθών σε σειρά, σε λόφους, ταρατσες πολυκατοικιών-εταιριών-σχολείων-οργανισμών κτλ. και κάθε τέτοια κεραία εξυπηρετεί και από μια κυψέλη. Το BSS χωρίζεται στο βασικό σταθμό πομπό-δέκτη (BTS, Base Transceiver Station), στο βασικό σταθμό ελέγχου (BSC, Base Station Controller) και στη Μονάδα Υπερκωδίκευσης ρυθμού και προσαρμογής (TRAU, Transcoding Rate and Adaptation Unit).

- Ο Βασικός Σταθμός πομποδέκτη φροντίζει την επικοινωνία μεταξύ του δικτύου GSM και του κινητού σταθμού. Ένα BTS μπορεί να ελέγχει μια ή περισσότερες κεραιές. Η ισχύς των κεραιών σε ένα BTS μπορεί είναι 40W έως 500W. Όταν ένας χρήστης A θέλει να πραγματοποιήσει μια κλήση σε έναν άλλο συνδρομητή B, ο σταθμός βάσης μεταβιβάζει το σήμα με το αίτημά του A για αναζήτηση και εντοπισμό του άλλου συνδρομητή B στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο της εταιρείας του A. Το κέντρο της εταιρείας εντοπίζει την κυψέλη στην οποία βρίσκεται ο B και στέλνει το σήμα στον πλησιέστερο σταθμό βάσης. Από εκεί, πάλι με τη χρήση των διαθέσιμων συχνοτήτων, στέλνεται το σήμα στο κινητό του B και έτσι μπορεί να επικοινωνήσει μαζί του ο A. Το πεδίο μιας GSM κεραίας ενός σταθμού βάσης ή κινητής μονάδας, είναι παλμικό με κανάλια διάρκειας 4,616 ή 9,232 ms το καθένα, που είναι χωρισμένα σε 8 ή 16 διαστήματα (χρονοθυρίδες), διάρκειας 0.577 ms το καθένα ( $8 \times 0,577$  ή  $16 \times 0,577$ ). Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί από μια χρονοθυρίδα για μια τηλεφωνική κλήση, άρα ένα κανάλι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι και από 8 ή 16 συνδρομητές. Τα 8 ή 16 διαστήματα που χωρίζονται σε ένα κανάλι αποκαλούνται πλαίσιο TDMA ενώ κάθε διάστημα αντιστοιχεί σε 156 bits.
- Ο βασικός σταθμός ελέγχου φροντίζει για όλες τις κεντρικές λειτουργίες και τον έλεγχο του υποσυστήματος (BSS). Συνδέεται με το BTS μιας περιοχής μέσω μιας διεπαφής και ελέγχει τα σήματα παίρνοντας τα από ένα ή περισσότερα BTS, ενώ εκχωρεί και απελευθερώνει κανάλια. Τα σήματα που λαμβάνει τα κατευθύνει στο MSC (Mobile Switching Centre) και όταν χρειάζεται μετατρέπει τα 16kbps φωνής που είναι στην κινητή τηλεφωνία σε 64kbps που χρησιμοποιείται στην σταθερή τηλεφωνία.
- Η Μονάδα Υπερκωδίκευσης ρυθμού και Προσαρμογής (TRAU, Transcoding Rate and Adaptation Unit). Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα σε ένα δίκτυο κινητού τηλεφώνου είναι η αποτελεσματικότητα με την οποία χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους συχνοτήτων. Η αποτελεσματικότητα καθορίζει πόσες κλήσεις μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο εύρος ζώνης συχνοτήτων, το οποίο εναλλακτικά

μεταφράζεται ως η ανάγκη συμπίεσης των δεδομένων. Σε ένα GSM σύστημα η συμπίεση δεδομένων πραγματοποιείται τόσο στο MS όσο και στο TRAU.

4) Το Υποσύστημα Δικτύου μεταγωγής (NSS, Network Switching Subsystem) περιλαμβάνει τις κύριες λειτουργίες μεταγωγής του GSM, τις απαιτούμενες βάσεις δεδομένων για τους συνδρομητές και τη διαχείριση κινητικότητας. Ο κύριος ρόλος του είναι να διαχειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ του GSM και άλλων τηλεπικοινωνιακών φορέων. Το NSS υποσύστημα έχει την ευθύνη της διαχείρισης της επικοινωνίας και της σύνδεσης των κινητών σταθμών με το σχετικό με την κλήση δίκτυο ή με άλλους κινητούς σταθμούς του οικείου δικτύου. Μέσα στο υποσύστημα NSS, οι λειτουργίες μεταγωγής εκτελούνται από το MSC, ενώ πληροφορίες συνδρομητών για την παροχή και την πρόσβαση στις διάφορες υπηρεσίες αποθηκεύονται στην HLR. Η άλλη βάση δεδομένων του NSS υποσυστήματος είναι η VLR.

Το κέντρο μεταγωγής MSC εκτελεί τις απαραίτητες λειτουργίες μεταγωγής για τους κινητούς σταθμούς, που βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, η οποία καλείται περιοχή κέντρου μεταγωγής (MSC area). Το NSS υποσύστημα δεν έρχεται απευθείας σε επαφή με τους κινητούς σταθμούς. Επειδή λειτουργεί σαν μια διεπαφή μεταξύ του υποσυστήματος BSS και των εξωτερικών δικτύων, πρέπει να ελέγχει τα πρωτόκολλα σηματοδότησης.

Το NSS αποτελείται από:

- MSC (Mobile Switching Centre) : Το MSC ελέγχει την κινητικότητα των συνδρομητών του και διαχειρίζεται τους πόρους, που απαιτούνται για το χειρισμό και την ενημέρωση της διαδικασίας εγγραφής θέσης και της απρόσκοπτης πραγματοποίησης των λειτουργιών διαπομπής. Η κύρια λειτουργία τους είναι η μεταγωγή των εισερχομένων διαύλων πληροφορίας σε εξερχόμενους, ο έλεγχος της επικοινωνίας, η απελευθέρωση των συνδέσεων και η χρέωση (τα MSC είναι οι μόνες οντότητες που παρέχουν λειτουργίες χρέωσης). Οι λειτουργίες που οφείλουν να λάβουν χώρα για την επικοινωνία με άλλα εξωτερικά δίκτυα, όπως το ISDN και το PSTN, βρίσκονται στο κέντρο μεταγωγής MSC. Οι λειτουργίες αυτές αλληλεπιδράσης του MSC εξαρτώνται τόσο από τον τύπο του δικτύου με τον οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί η σύνδεση όσο και από

τον τύπο της υπηρεσίας που θα εκτελεστεί. Το κέντρο μεταγωγής εκτελεί ακόμα τις λειτουργίες δρομολόγησης, ελέγχου κλήσης καθώς και ελέγχου ηχούς (echo control).

- **HLR (Home location Register)** : Το σύστημα περιλαμβάνει βάσεις δεδομένων στο δίκτυο που ελέγχουν τη θέση του κινητού. Η πιο βασική είναι η HLR (Καταχωρητής Θέσης Οικείων). Αποτελεί την λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση των κινητών συνδρομητών. Ένα δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει μία ή και περισσότερες HLR ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου: το μέγεθος και την πολυπλοκότητά του. Όταν κάποιος γίνεται συνδρομητής σε έναν από τους παροχείς GSM καταχωρείται στην HLR που περιέχει πληροφορίες συνδρομητών όπως: συμπληρωματικές υπηρεσίες (supplementary services) και παραμέτρους αυθεντικότητας (authentication) καθώς και τη θέση του κινητού (δηλαδή ο προσδιορισμός σε τίνος MSC την περιοχή βρίσκεται), η οποία προφανώς αλλάζει καθώς το κινητό κινείται και άρα η HLR πρέπει να ενημερώνεται (διαμέσου του MSC/VLR). Δύο τύποι πληροφορίας αποθηκεύονται στην HLR: Πληροφορίες για τους συνδρομητές και μέρος της πληροφορίας εντοπισμού θέσης, ώστε να επιτραπεί στις εισερχόμενες κλήσεις να δρομολογηθούν στο ελέγχον κέντρο μεταγωγής. Οποιαδήποτε πράξη του τηλεπικοινωνιακού φορέα όσον αφορά δεδομένα που αφορούν στο συνδρομητή, εκτελείται στην HLR. Στην HLR αποθηκεύονται: η ταυτότητα IMSI, ο αριθμός MSISDN, η διεύθυνση της VLR, και τα δεδομένα συνδρομητών (παραδείγματος χάριν, συμπληρωματικές υπηρεσίες).
- **VLR (Visitor Location Register)** : Η VLR συνδέεται με ένα ή περισσότερα κέντρα μεταγωγής. Η VLR αποτελεί τη λειτουργική μονάδα, όπου αποθηκεύονται με δυναμικό τρόπο οι πληροφορίες συνδρομητών, όταν ο συνδρομητής εντοπίζεται στην περιοχή που καλύπτεται από τη συγκεκριμένη VLR που με τη σειρά της ελέγχεται από ένα συγκεκριμένο MSC. Όταν ένας ενεργοποιημένος κινητός σταθμός που βρίσκεται σε περιαγωγή (roaming) εισέλθει σε μια περιοχή ενός άλλου (καινούριου) MSC, η VLR ζητά πληροφορίες για το νέο κινητό σταθμό (MS) από τις HLRs του δικτύου. Έτσι η HLR εντοπίζει την καινούρια θέση του MS και η παλιά καταχώρηση του MS στην άλλη VLR θα ακυρωθεί. Για τον εκάστοτε κινητό σταθμό σε περιαγωγή εκτελείται μια διαδικασία εγγραφής, η οποία περιλαμβάνει τις παρακάτω ενέργειες:
  - Η VLR αναγνωρίζει ότι ο κινητός σταθμός προέρχεται από ένα άλλο PLMN δίκτυο, από διαφορετικό τηλεπικοινωνιακό φορέα.

- Εάν η περιαγωγή επιτρέπεται, ο Καταχωρητής Θέσης Επισκεπτών (VLR) εντοπίζει τον Καταχωρητή Θέσης Οικίων (HLR) του κινητού σταθμού στο οικείο PLMN δίκτυο.
- Η VLR κατασκευάζει έναν σφαιρικό τίτλο – global title (GT) χρησιμοποιώντας δεδομένα από την ταυτότητα IMSI για να επιτραπεί η σηματοδότηση από την VLR προς την HLR του κινητού σταθμού μέσω των δικτύων PSTN ή ISDN.
- Η VLR κατασκευάζει τον Αριθμό Περιαγωγής Κινητού Σταθμού – Mobile Station Roaming Number (MSRN). Ο MSRN χρησιμοποιείται για τη δρομολόγηση των εισερχόμενων κλήσεων προς τον κινητό σταθμό.
- Ο MSRN στέλνεται στην HLR του οικείου δικτύου του κινητού σταθμού.

Υπάρχει και μια άλλη περίπτωση: Όταν γίνεται μια κλήση από το PSTN προς το GSM η κλήση δρομολογείται έξω από το δίκτυο PSTN στο GMSC, ένα οποιοδήποτε MSC που μπορεί να διεκπεραιώσει μια ακόμα λειτουργία μέσω του υλικού του (gateway function), και το οποίο θα πρέπει να εντοπίσει τη θέση του κινητού. Ρωτά την HLR στην περιοχή ποιου MSC έχει εντοπιστεί ο MS. Η HLR απαντά με τη διεύθυνση του παρόντος MSC και έτσι ο GMSC δρομολογεί την κλήση στο σωστό MSC και όταν αυτή φτάσει η VLR θα ξέρει λεπτομερέστερα. Με τον τρόπο αυτό κάθε φορά που το MS θέλει να κάνει κλήση η VLR έχει όλα τα απαιτούμενα δεδομένα και δε χρειάζεται να ερωτάται η HLR κάθε φορά. Η VLR περιέχει τις πιο ακριβείς πληροφορίες για τη θέση του κινητού, μέσα στην ευρύτερη περιοχή του MSC, π.χ. την location area.

Η VLR περιλαμβάνει πολλές και χρήσιμες πληροφορίες: τον αριθμό MSRN, την ταυτότητα TMSI, την περιοχή εντοπισμού στην οποία έχει εγγραφεί ο κινητός σταθμός και στοιχεία σχετικά με τις συμπληρωματικές υπηρεσίες. Περιλαμβάνονται ακόμα, αν βέβαια από τις εκάστοτε συνθήκες καταστεί υποχρεωτικό: ο αριθμός MS ISDN, η διεύθυνση του HLR ή ο GT, και η ταυτότητα IMSI.

- GMSC (Gateway Mobile Switching Center) : Το NSS υποσύστημα περιέχει περισσότερες λειτουργίες και οντότητες εκτός από τα MSCs, τις HLRs και τις VLRs. Προκειμένου να παραδοθεί μια εισερχόμενη κλήση σε έναν χρήστη του δικτύου GSM, η κλήση δρομολογείται αρχικά σε έναν διαβιβαστικό μεταγωγέα, που αναφέρεται ως Gateway Mobile Switching Center (GMSC) ή Διαβιβαστικό Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών. Το GMSC είναι αρμόδιο για τη συλλογή της πληροφορίας εντοπισμού και τη δρομολόγηση της κλήσης στο MSC, το οποίο θα καταστεί υπεύθυνο για την παροχή

της επιλεγμένης υπηρεσίας από το συνδρομητή (δηλαδή, το φιλοξενόν κέντρο μεταγωγής). Το GMSC εντοπίζει αρχικά τη σωστό HLR από τον αριθμό καταλόγου του συνδρομητή και τον ρωτά για τον εντοπισμό δεδομένων. Το GMSC παρέχει μια διεπαφή με τα εξωτερικά δίκτυα για τα οποία παρέχει τη λειτουργία μεταγωγής και μια διεπαφή με το SS7, δίκτυο σηματοδοσίας, για την αλληλεπίδραση με άλλες οντότητες του NSS υποσυστήματος. Τα συστήματα GSM και PSTN επικοινωνούν σε εθνικό επίπεδο μεταγωγής (transit exchanges). Όλες οι εισερχόμενες κλήσεις προς το GSM δρομολογούνται σε ένα ή περισσότερα GMSC που λειτουργούν σαν συνδετήρες του συστήματος GSM/PLMN με τα εξωτερικά δίκτυα. Είναι το κομμάτι του συστήματος όπου λαμβάνει χώρα ο εντοπισμός δεδομένων για τη λειτουργία της δρομολόγησης των εισερχόμενων κλήσεων που τερματίζουν σε κινητούς σταθμούς του οικείου δικτύου. Το GMSC τέλος είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση του συστήματος ώστε να δρομολογεί τις κλήσεις στη σωστή MSC/VLR περιοχή και από εκεί στο MS. Το GMSC είναι ένα κανονικό MSC με ενισχυμένες λειτουργίες καθώς σε αυτό δρομολογούνται οι κλήσεις όταν δεν προέρχονται από το οικείο PLMN δίκτυο.

**5) OMSS (Operation and Maintenance Subsystem) :** Το OMSS είναι αρμόδιο για τη διαχείριση της ασφάλειας του συστήματος. Η ασφάλεια βασίζεται στην επικύρωση και τον έλεγχο των ταυτοτήτων διάφορων τηλεπικοινωνιακών οντοτήτων. Αυτές οι λειτουργίες εκτελούνται από το Κέντρο Ελέγχου Αυθεντικότητας – Authentication Center (AUC) και τον Καταχωρητή Ταυτοτήτων Συσκευών – Equipment Identity Register (EIR).

- **AuC (Authentication Centre) :** Το σύστημα έχει πρόσβαση στην AuC μέσω της HLR, ώστε να καθοριστεί εάν στον συγκεκριμένο κινητό σταθμό επιτρέπεται η χορήγηση υπηρεσιών. Προμηθεύει την HLR με παραμέτρους πιστοποίησης της αυθεντικότητας των συνδρομητών (παραμέτροι που κυρίως ελέγχουν την ταυτότητα του χρήστη) και ciphering keys (που βοηθούν στην κωδικοποίηση και στην κρυπτογράφηση των δεδομένων για λόγους ασφαλείας).
- **EIR (Equipment Identity Register) :** Η EIR είναι μια βάση δεδομένων, που παρέχει πληροφορίες για τους κινητούς σταθμούς που χρησιμοποιούνται από το κέντρο μεταγωγής. Η EIR διατηρεί καταλόγους με τους νόμιμους, τους μη νόμιμους ή τους ελαττωματικούς κινητούς σταθμούς. Η EIR συνδέεται με το MSC με ζεύξη σηματοδοσίας. Περιέχει :

- Μία λευκή λίστα των αριθμών που χρησιμοποιούνται.
- Μία γκριζα λίστα των αριθμών που πρέπει να παρατηρηθούν.
- Μία μαύρη λίστα με τερματικά που δεν τους επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουν το δίκτυο.

Ανάλογα με την τεχνολογία λογισμικού και υλικού που επιλέγει ο εκάστοτε πάροχος η EIR μπορεί να συνυπάρχει στο ίδιο υλικό με την AUC και την HLR, αλλά και όχι.

Το υποσύστημα OMSS είναι επίσης υπεύθυνο για τις απομακρυσμένες διαδικασίες λειτουργίας και συντήρησης του δικτύου. Αυτές οι ενέργειες επιτηρούνται και ελέγχονται από το υποσύστημα OMSS. Το OMSS μπορεί να περιέχει ένα ή περισσότερα Κέντρα Διαχείρισης Δικτύου – Network Management Centres (NMCs) για να συγκεντρώσει και να συγκεντροποιήσει τον έλεγχο του συστήματος.

Το Κέντρο Λειτουργίας και Συντήρησης – Operational and Maintenance Center (OMC) είναι η λειτουργική οντότητα μέσω της οποίας ο φορέας παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών επιτηρεί και ελέγχει το σύστημα. Το OMC παρέχει ένα συγκεντρωτικό σημείο ώστε το προσωπικό του οργανισμού το επιφορτισμένο με τη συντήρηση να είναι σε θέση να ελέγχει και να διαχειρίζεται τη συντήρηση ολόκληρου του συστήματος. Ένα OMC μπορεί να εξυπηρετήσει πολλά κέντρα μεταγωγής (MSCs).

## **2. Μοντέλα Ραδιοκάλυψης**

### **2.1. Θεωρητική ανάλυση μοντέλων**

#### **2.1.1. Εισαγωγή**

Η μελέτη της διάδοσης των ραδιοκυμάτων αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής μετάδοσης. Η διάδοση σε πραγματικό περιβάλλον αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό σύστημα, το οποίο δεν επιδέχεται αναλυτική επίλυση. Η μελέτη, η κατανόηση και η δυνατότητα σχεδιαστικής παρέμβασης σε αυτό το σύστημα, προϋποθέτει την παραμετροποίησή του. Η ανάλυση αυτή, δίνει την δυνατότητα της σύνθεσης των επιμέρους παραγόντων-φαινομένων, σε διαφορετικούς, κατά περίπτωση, συνδυασμούς στα πραγματικά προβλήματα ραδιοζεύξεων.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να μεταφέρεται επαρκής ισχύς από τον πομπό στο δέκτη, έτσι ώστε να είναι δυνατή η «ανάγνωση» του κάθε φορά λαμβανόμενου σήματος. Συνεπώς, ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα είναι αυτό των αποσβέσεων-απωλειών, κατά τη διάρκεια της όδευσης από τον πομπό στο δέκτη. Επομένως, για κάθε επιμέρους παράγοντα, που επηρεάζει τη διάδοση ραδιοκυμάτων, ένα από τα σημαντικά συμπεράσματα είναι ο τρόπος με τον οποίο συνεισφέρει στη συσσώρευση των απωλειών.

#### **2.1.2. Απώλειες διαδρομής (Path Loss)**

Οι απώλειες διαδρομής είναι ο λόγος της εκπεμπόμενης ισχύος προς την λαμβανόμενη ισχύ. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιούμε διάφορα μοντέλα. Οι απώλειες διαδρομής χαρακτηρίζουν κυρίως την εξασθένιση της μέσης τιμής του λαμβανόμενου σήματος σε σχέση με την απόσταση πομπού-δέκτη όμως επίσης εξαρτώνται από τη συχνότητα, από το ύψος των κεραιών του σταθμού βάσης και του κινητού τερματικού, από τη μορφολογία της περιοχής και από τις ανθρώπινες κατασκευές. Αυτοί οι επιπλέον παράγοντες δυσκολεύουν τον υπολογισμό των απωλειών διαδρομής.

##### **2.1.2.1. Το μοντέλο ελεύθερου χώρου (free space)**

Το πλέον απλό μοντέλο μελέτης μιας ραδιοζεύξης, είναι αυτό της διάδοσης στον ελεύθερο χώρο δηλ. σε ένα χώρο άπειρης έκτασης, με ομοιογενή χαρακτηριστικά με μηδενικές απώλειες. Η διάδοση και οι απώλειες σύμφωνα με αυτό το μοντέλο ονομάζονται *διάδοση ελεύθερου χώρου* και *απώλειες ελεύθερου χώρου*, αντίστοιχα.

#### **Κεφάλαιος Ισίδωρος**

Αν μια κεραία εκπομπής βρίσκεται σε ελεύθερο χώρο, δηλαδή μακριά από τη γη ή από οποιαδήποτε εμπόδια, τότε αν έχει κέρδος  $G_T$  στην κατεύθυνση της κεραίας λήψης, η πυκνότητα ενέργειας σε μια απόσταση  $d$  της διαλεχθείσας κατεύθυνσης είναι

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (2.1)$$

Η διαθέσιμη ισχύς στην κεραία λήψης, η οποία έχει ενεργή περιοχή  $A$  είναι συνεπώς

$$P_R = W \times A = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (2.2)$$

Οπότε παίρνουμε την εξίσωση

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad \text{Εξίσωση Friis} \quad (2.3)$$

Η απώλεια διαδρομής σε dB είναι μετά την αντικατάσταση  $\lambda=c/f$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός.

$$L_F [db] = 10 \log \frac{P_T}{P_R} = 10 \log G_T G_R \left(\frac{4\pi d f}{c}\right)^2$$

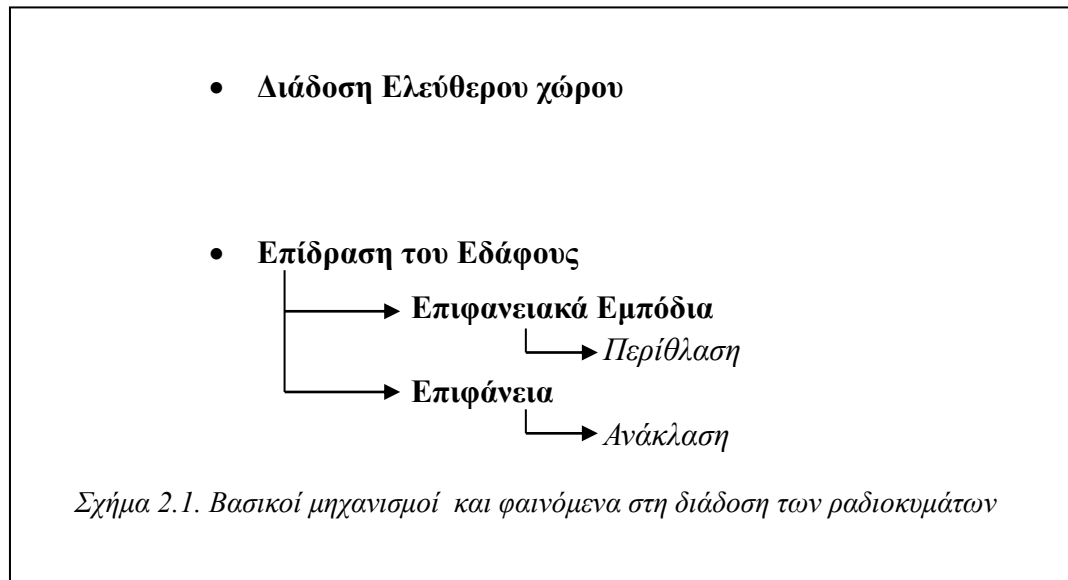
Παρατηρούμε ότι η απώλεια διαδρομής είναι ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης και του τετραγώνου της συχνότητας.

### 2.1.2.2. Απώλειες λόγω εδάφους

Προφανώς, το προηγούμενο μοντέλο δεν είναι επαρκές για τη μελέτη των πραγματικών προβλημάτων, διότι ο χώρος διάδοσης κάθε άλλο παρά απεριόριστος είναι, εφόσον η διάδοση πραγματοποιείται πάνω από τη γήινη επιφάνεια, που παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ως προς τη μορφολογία της (επίπεδο έδαφος, λόφοι, βουνά, νερό, κτήρια, δέντρα). Η ύπαρξη της γήινης επιφάνειας επιδρά στη διάδοση, διότι εμφανίζονται **φαινόμενα ανακλάσεων και περιθλάσεων**, που προκαλούν απώλειες και παρεμβολές στο λαμβανόμενο σήμα. Επομένως, το μοντέλο της ελεύθερης διάδοσης χρίζει μιας επιπλέον διόρθωσης, εφόσον ληφθεί υπόψη η επίδραση της γήινης επιφάνειας και των φυσικών ή τεχνικών εμποδίων πάνω της.

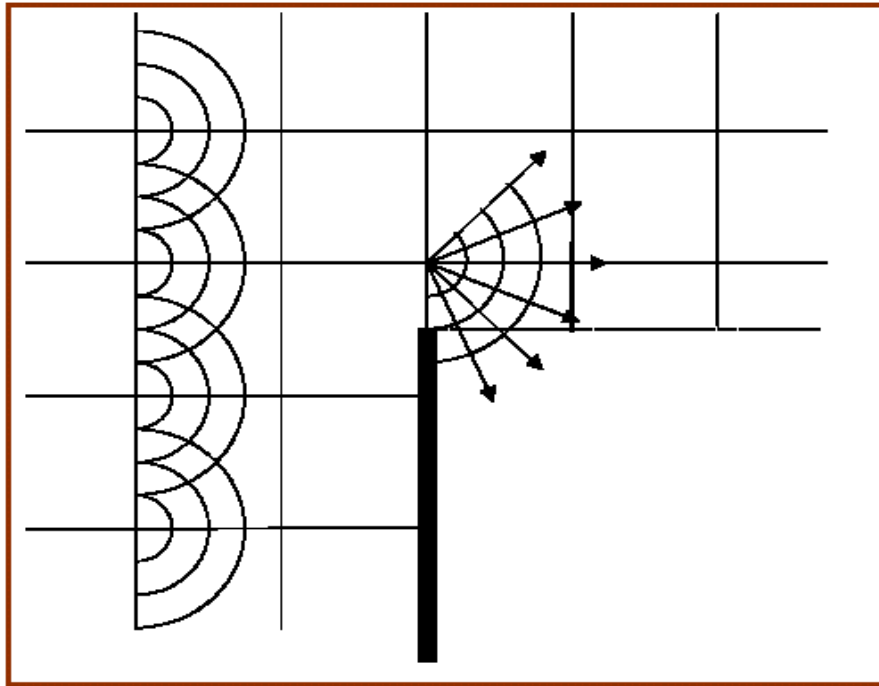


Το Σχήμα 2.1. συνοψίζει την περιγραφή που προηγήθηκε, συμπεριλαμβάνοντας το βασικό μηχανισμό διάδοσης (διάδοση σε ελεύθερο χώρο), σε συνδυασμό με την επίδραση του εδάφους καθώς και των φαινομένων που εγείρονται .



#### 2.1.2.2.1. Περίθλαση

Η Περίθλαση περιγράφει τα φαινόμενα, που παρατηρούνται όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει ή αλληλεπιδρά με ένα εμπόδιο. Τα οπτικά κύματα όταν προσπίπτουν σε ένα εμπόδιο δημιουργούν διακριτές φωτεινές και σκιασμένες περιοχές. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανάλογα με τη συχνότητα, το ραδιοηλεκτρικό μέγεθος του εμποδίου (σχέση μήκος κύματος με διαστάσεις) αλλά και τη γωνία πρόσπτωσης σε αυτό, μπορούν να «υπερπηδήσουν» το εμπόδιο με αντίτιμο την εμφάνιση απωλειών, που ονομάζονται **Απώλειες Περίθλασης (Diffraction Losses)**. Ο μηχανισμός με τον οποίο το ραδιοκύμα διαδίδεται πάνω και πίσω εμπόδια βασίζεται στην **αρχή του Huygen**. Σύμφωνα με την εν λόγω αρχή, κάθε σημείο ενός επίπεδου κύματος λειτουργεί σαν μια σημειακή πηγή σφαιρικής ακτινοβολίας. Συνεπώς, τμήμα του κύματος που προσπίπτει στην κορυφή ενός εμποδίου λειτουργεί σαν δευτερογενής πηγή ακτινοβολίας που επιτρέπει την ακτινοβολία και πίσω από το εμπόδιο (Σχήμα 2.2.).

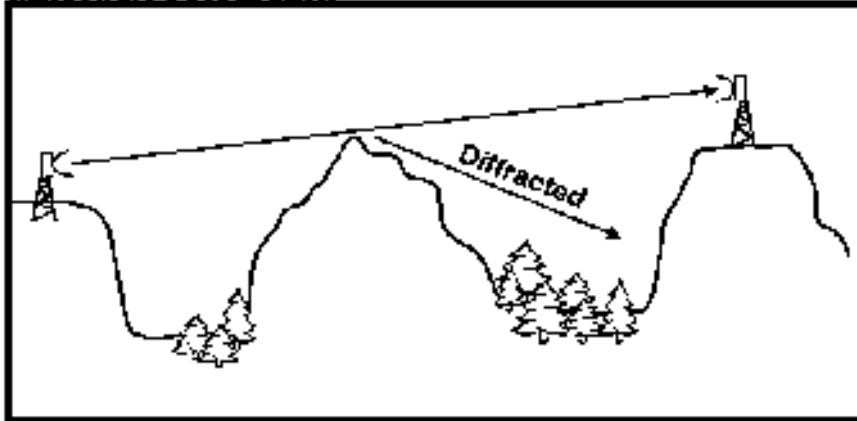


Σχήμα 2.2. Αρχή του Huygen για την Περίθλαση

Η ένταση του πεδίου ή ισοδύναμα το μέγεθος των απωλειών κοντά και πίσω από τα εμπόδια εξαρτάται από

- Από 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. Επομένως οι ζεύξεις σε υψηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερες απώλειες και οφείλει κανείς να τις συνυπολογίσει προσπαθώντας να τις μειώσει. Το γεγονός αυτό εξηγεί τη συγκριτικά μεγαλύτερη επιτυχία των VHF ζεύξεων και γενικότερα των χαμηλών συχνοτήτων σε δυσμενή περιβάλλοντα (περιοχές με ορεινούς όγκους κλπ).
- Από 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 μετακινείται σε περιοχές πιο έντονης ραδιοσκίασης.

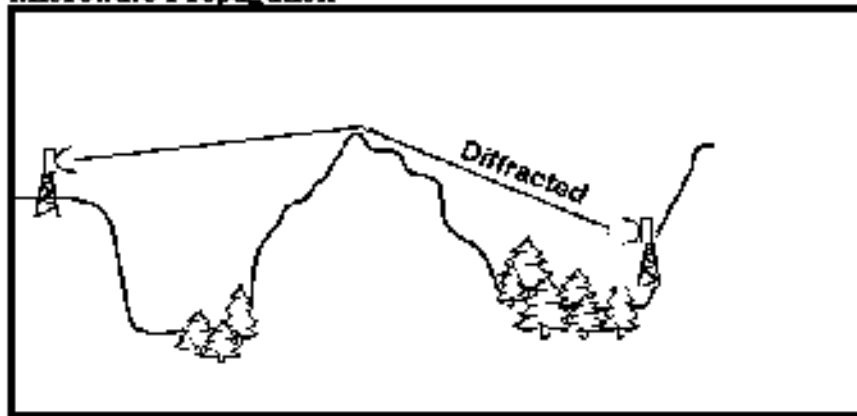
### Microwave Propagation



Σχήμα 2.3. Περίθλαση από εμπόδια που βρίσκονται κοντά στην ευθεία οπτικής επαφής πομπού-δέκτη χωρίς να παρεμβάλλονται σε αυτή.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, όταν ένα εμπόδιο βρίσκεται κοντά στην ευθεία οπτικής επαφής και πολύ περισσότερο όταν παρεμβάλλεται, επιβαρύνει τη ζεύξη με απώλειες περιθλάσεως και ενδεχόμενα παρεμβολές προς άλλους δέκτες. Το φαινόμενο αυτό είναι σημαντικό μειονέκτημα στις υψηλές συχνότητες, ενώ αντίθετα στις χαμηλές συχνότητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη δεκτών ακόμη και εάν δεν υπάρχει οπτική επαφή (Σχήμα 2.4.).

### Microwave Propagation



Σχήμα 2.4. Ζεύξη χωρίς οπτική επαφή λόγω Περίθλασης σε χαμηλές συχνότητες.

Τα φαινόμενα περίθλασης οφείλονται στην πρόσπτωση του κύματος στις κορυφές εμποδίων. Ο υπολογισμός των απωλειών λόγω περίθλασης διευκολύνεται από την κατηγοριοποίηση των εμποδίων ανάλογα με την γεωμετρία τους. Συνηθισμένα μοντέλα μελέτης του φαινομένου της περίθλασης είναι:

#### Κεφάκης Ισίδωρος

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

- Η λεία σφαιρική γη που μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μεγάλος σφαιρικός σκεδαστής.
- Τραχείες επιφάνειες που περιλαμβάνουν ένα σύνολο από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια όπως λόφοι, βλάστηση και κτήρια.
- Μεμονωμένα Εμπόδια που προσομοιώνονται με απλοποιημένα μοντέλα όπως αιχμηρά διαφράγματα, εμπόδια ορθογωνικής διατομής ή καμπύλης διατομής καθώς και σφηνοειδή εμπόδια.

Για τις προαναφερόμενες περιπτώσεις υπάρχουν μια σειρά εμπειρικών τύπων και διαγραμμάτων με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να υπολογιστούν κατά προσέγγιση οι απώλειες λόγω περίθλασης.

### Περίθλαση από μεμονωμένο Αιχμηρό Διάφραγμα

Το μοντέλο του μεμονωμένου αιχμηρού διαφράγματος (Σχήμα 2.5 *a, b*) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μια μορφή αναπαράστασης εμποδίων, όπως μια στενή γέφυρα, κτήρια κλπ. Όταν οι απώλειες γίνονται σημαντικές (πάνω από 1 dB) και μονότονα αυξανόμενες ( $v > -0,7$ ), περιγράφονται από τον εξής εμπειρικό τύπο (ITU-R P. 526):

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left( \sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad \text{dB} \quad (2.4)$$

όπου η παράμετρος  $v$  ορίζεται ως εξής:

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (2.5)$$

όπου  $h$  είναι η απόσταση της κορυφής του εμποδίου από την ευθεία που ενώνει το πομπό με το δέκτη. Εάν η κορυφή του εμποδίου βρίσκεται κάτω από την ευθεία τότε το ύψος  $h$  παίρνει αρνητικές τιμές.  $d_1$  και  $d_2$  είναι οι αποστάσεις του πομπού και δέκτη, αντίστοιχα, από την κορυφή του εμποδίου.

### Περίθλαση από μεμονωμένο σφαιρικό εμπόδιο

Το μοντέλο ενός μεμονωμένου σφαιρικού εμποδίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση εμποδίων όπως ένας λόφος. Οι απώλειες περίθλασης από ένα σφαιρικό εμπόδιο ακτίνας  $R$  (Σχήμα 2.5 *c*) δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$A = J(v) + T(m,n) \quad \text{dB} \quad (2.6)$$

#### Κεφάλης Ισίδωρος

Ο όρος  $J(v)$  αντιστοιχεί στις απώλειες ενός ισοδύναμου αιχμηρού διαφράγματος με κορυφή που συμπίπτει με την κορυφή του σφαιρικού εμποδίου. Επομένως τα  $J(v)$  και  $v$  υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις (2.4) και (2.5).

Ο όρος  $T(m,n)$  προσθέτει την απώλεια που αντιστοιχεί στην καμπυλότητα του εμποδίου, η οποία δεν λαμβάνεται υπόψη από τον όρο  $J(v)$ . Ο όρος  $T(m,n)$  δίνεται από τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο

$$T(m,n) = km^b \quad (2.7)$$

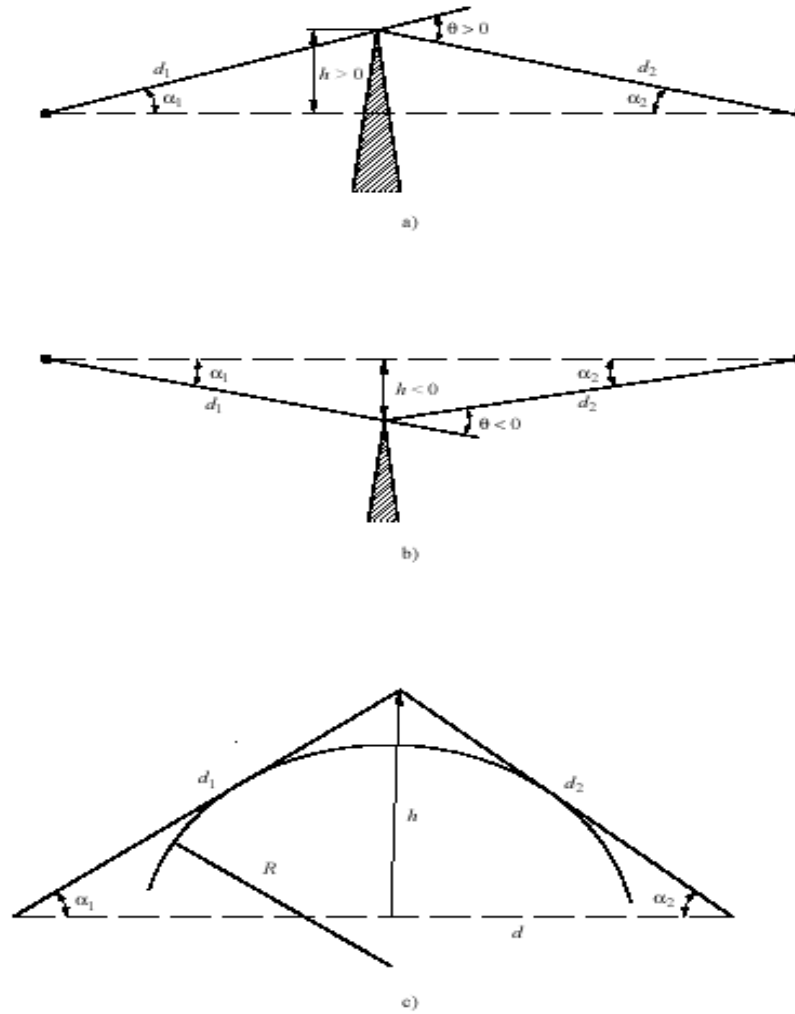
όπου

$$k=8.2+12.0n \quad (2.8)$$

$$b=0.73+0.27[1-\exp(-1.43n)] \quad (2.9)$$

$$m = R \left[ \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right] / \left[ \frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3} \quad (2.10)$$

$$n = h \left[ \frac{\pi R}{\lambda} \right]^{2/3} / R \quad (2.11)$$



Σχήμα 2.5. Μοντέλα Αναπαράστασης Μεμονωμένων Εμποδίων

#### 2.1.2.2.2. Διάδοση πάνω από πολλαπλά εμπόδια

Η επέκταση της θεωρίας της περίθλασης αιχμής για δύο ή περισσότερα εμπόδια δεν είναι εύκολη υπόθεση. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί και παρουσιάζονται παρακάτω.

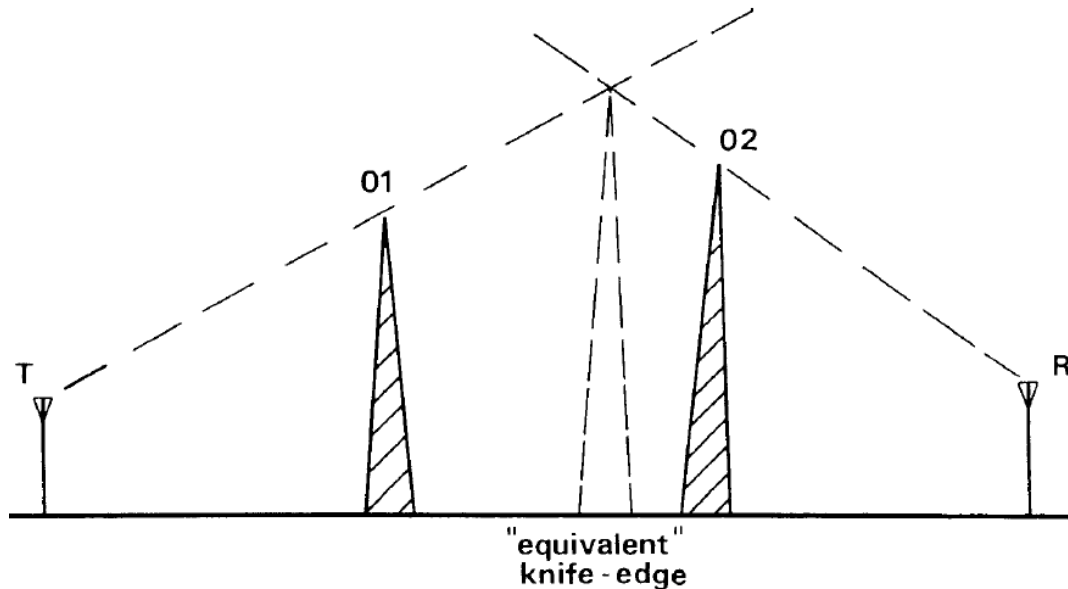
#### Μέθοδος του Bullington

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το πραγματικό έδαφος αντικαθίσταται από μία μονή ισοδύναμη αιχμή στο σημείο που συναντιούνται οι ακτίνες από κάθε τερματικό προς στον ορίζοντα του όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Η απώλεια του σήματος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο (2.4) , (2.5) με  $L=f(d_1, d_2, h)$ . Η μέθοδος του Bullington έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, αλλά αγνοεί πολλές φορές σημαντικά εμπόδια, πράγμα που

#### Κεφάλης Ισίδωρος

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογίου

μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα σφάλματα. Γενικά η μέθοδος αυτή υποτιμά την απώλεια και συνεπώς παράγει μια αισιόδοξη εκτίμηση της σημειακής έντασης στο σημείο λήψης.



Σχήμα 2.6. Η μέθοδος του Bullington

### Η μέθοδος του Eipstein-Peterson

Ο πρωταρχικός περιορισμός της μεθόδου του Bullington ξεπεράστηκε από μια τεχνική η οποία υπολογίζει την εξασθένηση που προκαλεί κάθε εμπόδιο ξεχωριστά και αθροίζοντας τις τελικά μας δίνει την συνολική απώλεια.

Μια διαδρομή τριών εμποδίων φαίνεται στο Σχήμα 2.7. και η χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η εξής. Μια γραμμή σχεδιάζεται από τον πομπό προς την κορυφή του εμποδίου 02 και η απώλεια λόγω του εμποδίου 01 υπολογίζεται με βάση τη συνήθη τεχνική, δηλαδή  $L_1=f(d_1,d_2,h)$ . Με παρόμοιο τρόπο η εξασθένηση λόγω εμποδίου 02 καθορίζεται ενώνοντας τις κορυφές 01 και 03 χρησιμοποιώντας το ύψος πάνω από τη γραμμή ως το ενεργό ύψος του 02, δηλαδή  $L_2=f(d_1,d_2,h)$ . Ομοίως βρίσκουμε και την απώλεια λόγω του εμποδίου 03. Τελικά η συνολική απώλεια είναι το άθροισμα και των τριών επιμέρους απωλειών,  $L_1 + L_2 + L_3$ . Υποτίθεται, ότι όλα τα εμπόδια στην πραγματικότητα παρεμποδίζουν τη διαδρομή, αλλά η τεχνική αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αν ένα ή περισσότερα εμπόδια ήταν κάτω από τη διαδρομή και διεισδύουν όμως στη χαμηλότερη ζώνη Fresnel.

### Κεφάλης Ισίδωρος

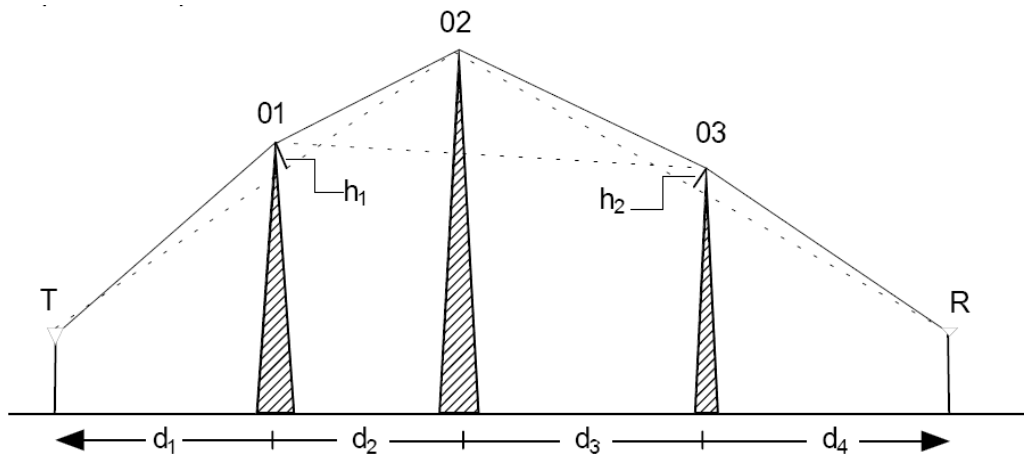
Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

Για δυο αιχμές, η σύγκριση των αποτελεσμάτων που έχουν παρθεί χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο μαζί με την επακριβή λύση του έχει αποκαλύψει ότι μεγάλα λάθη παρουσιάζονται όταν δύο εμπόδια είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Μια διόρθωση έχει προστεθεί για την περίπτωση που οι ν-παράμετροι των δύο κορυφών είναι πολύ μεγαλύτερες από τη μονάδα. Αυτή η διόρθωση προστίθεται στην ήδη υπολογισμένη απώλεια και συνήθως εκφράζεται ως ένας παράγοντας της απόστασης α:

$$L' = 20 \log_{10}(\cos eca) \quad (2.12)$$

όπου για τις κορυφές 01 και 02 είναι :

$$\cos eca = \left( \frac{(d_1 + d_2)(d_2 + d_3)}{d_2(d_1 + d_2 + d_3)} \right)^{1/2}$$



Σχήμα 2.7. Δομή της μεθόδου Eipstein-Peterson

### Η μέθοδος Deygout

Αυτή η τεχνική παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8. για μια διαδρομή τριών εμποδίων .Συνήθως καλείται και μέθοδος “βασικής κορυφής” επειδή το πρώτο βήμα είναι να υπολογίσουμε τη ν-παράμετρο για κάθε κορυφή ξεχωριστά, υποθέτοντας ότι οι άλλες κορυφές απουσιάζουν. Δηλαδή, υπολογίζουμε τις ν παραμέτρους για τις διαδρομές T-01-R, T-02-R και T-03-R. Η κορυφή που θα έχει τη μεγαλύτερη τιμή του ν θα θεωρηθεί ως η βασική και η απώλεια της θα υπολογιστεί με τη συνηθισμένη μέθοδο. Αν στο Σχήμα 2.8. η κορυφή 02 είναι η βασική κορυφή τότε οι απώλειες περίθλασης για τις κορυφές 01 και 03 βρίσκονται σχετικά προς μια γραμμή που ενώνει τη βασική κορυφή με τον πομπό και το δέκτη και προστιθέμενες με την απώλεια της βασικής κορυφής μας δίνεται η συνολική απώλεια. Γενικότερα, για μια διαδρομή με αρκετά εμπόδια η συνολική απώλεια αποτιμάται ως το άθροισμα των ξεχωριστών

#### Κεφάλης Ισίδωρος

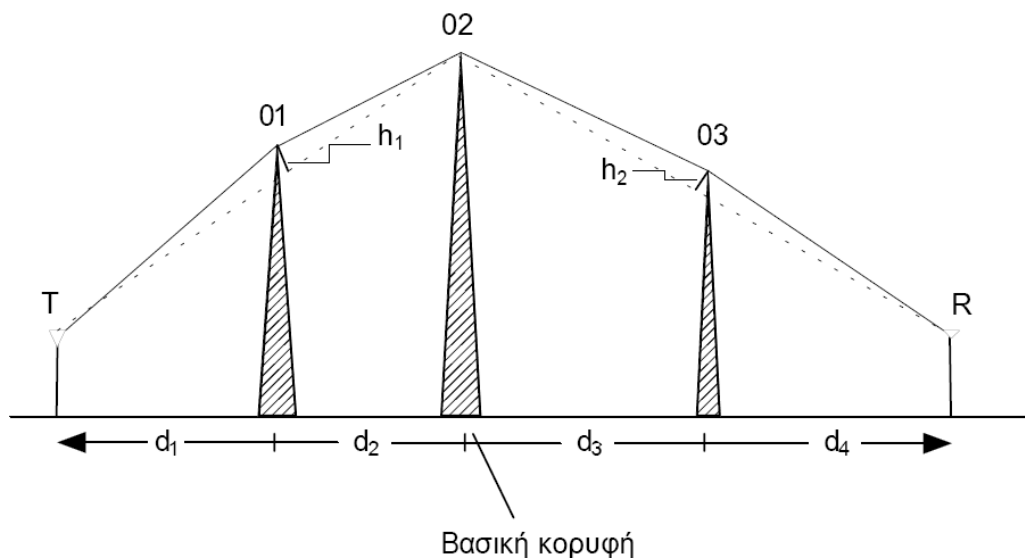


απωλειών από όλα τα εμπόδια ελαττωμένου καθώς η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται περιοδικά. Ως μια επεξήγηση αυτού γίνεται η παραδοχή ότι δύο εμπόδια υπάρχουν ανάμεσα στη βασική κορυφή 02 και τον πομπό T. Πρέπει τώρα να βρούμε ποιο από αυτά είναι η δευτερεύουσα βασική κορυφή, αποτιμώντας την απώλεια της και βρίσκοντας την πρόσθετη απώλεια με την παραπάνω μέθοδο για τα υπόλοιπα εμπόδια. Στην πράξη είναι συνήθης ο υπολογισμός της συνολικής απώλειας ως το άθροισμα τριών συνιστωσών μόνο, της βασικής κορυφής και των δευτερευουσών βασικών κορυφών εκατέρωθεν αυτής.

Εκτιμήσεις της απώλειας σήματος χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο γενικά δείχνει πολύ καλή συμφωνία με την αυστηρή προσέγγιση, αλλά γίνεται απαισιόδοξη, δηλαδή υπερεκτιμάει την απώλεια σήματος, όταν υπάρχουν πολλαπλά εμπόδια και είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Η ακρίβεια είναι πολύ μεγαλύτερη όταν υπάρχει ένα επικρατών εμπόδιο. Για την περίπτωση δύο συγκρινόμενων εμποδίων, διορθώσεις μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία χρησιμοποιώντας τον παράγοντα απόστασης  $a$ , όπως περιγράφηκε προηγουμένως.

Όταν  $v_1 \geq v_2$  και  $v_1, v_2, (v_2 \cos eca - v_1 \cot a) > 1$  η απαιτούμενη διόρθωση είναι :

$$L' = 20 \log_{10} \left( \operatorname{cosec}^2 - \frac{v_2}{v_1} \operatorname{cosec} a \cot a \right) \quad (2.13)$$



Σχήμα 2.8. Δομή της μεθόδου Deygout

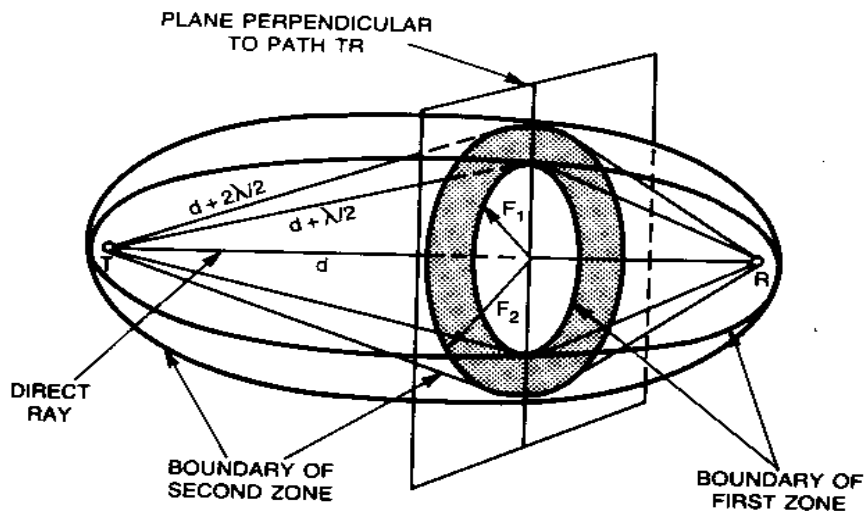
### 2.1.2.2.3. Ζώνες Fresnel

Το φαινόμενο της περίθλασης, όπως έχει ήδη επισημανθεί, λαμβάνει χώρα, όταν διάφορα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια παρεμβάλλονται ή βρίσκονται κοντά στην οδό διάδοσης του κύματος. Εύλογα λοιπόν τίθεται το ερώτημα: σε ποια 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 τον δέκτη (R), μπορεί να υποδιαιρεθεί από μια οικογένεια ομόκεντρων ελλειψοειδών, που ονομάζονται ελλειψοειδή Fresnel (Σχήμα 2.9.). Κάθε ελλειψοειδές Fresnel έχει εστιακά σημεία T και R, ενώ κάθε σημείο M στην επιφάνεια του ικανοποιεί τη σχέση:

$$TM + MR = TR + n \frac{\lambda}{2} \quad (2.14)$$

Η κάθε διαφορετική τιμή του n (=1,2,3...) ορίζει ένα μοναδικό ελλειψοειδές π.χ. για n=1 το 1<sup>ο</sup> ελλειψοειδές Fresnel, για n=2 το 2<sup>ο</sup> ελλειψοειδές Fresnel κ.ο.κ.



Σχήμα 2.9. Ελλειψοειδές Fresnel

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

#### Κεφάλης Ισίδωρος

Σύμφωνα με τη σχέση (2.14) και το συμβολισμό του Σχήματος 2.10., στην περιφέρεια της n-οστής ζώνης Fresnel ικανοποιείται η σχέση

$$d_3 + d_4 = (d_1 + d_2) + n \frac{\lambda}{2} \quad (2.15)$$

ενώ η ακτίνα της δίνεται από τον ακόλουθο γενικό τύπο

$$R_{F_n} = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{n} R_{F_1} \quad (2.16)$$

Για n=1, προκύπτει η ακτίνα της 1<sup>η</sup> ζώνης Fresnel

$$R_{F_1} = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (2.17)$$

όπου:

$R_{F_n}$  = Η ακτίνα της n-οστής ζώνης Fresnel

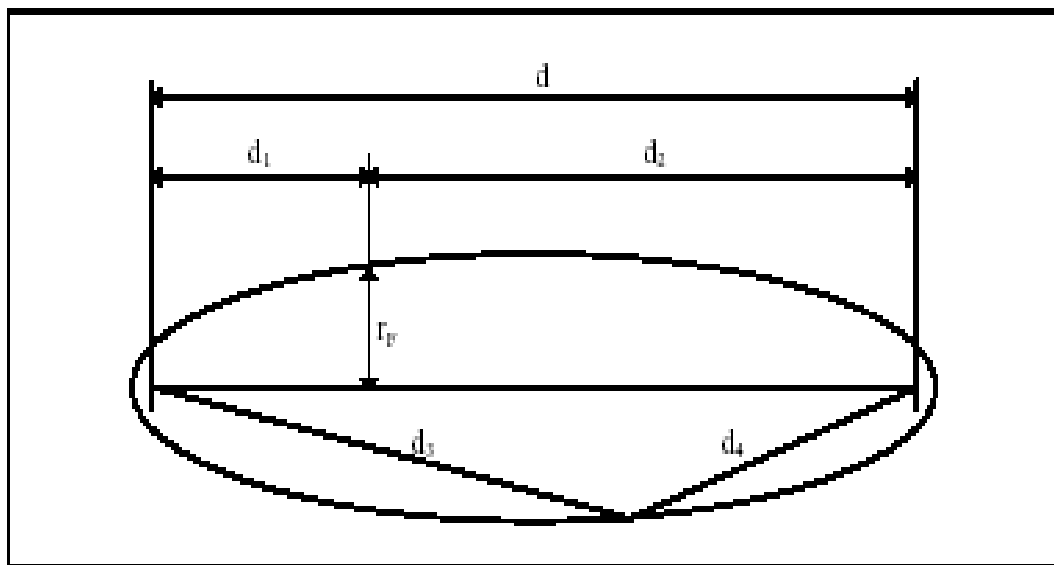
$R_{F_1}$  = Η ακτίνα της 1ης ζώνης Fresnel

$d_1$  = 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)

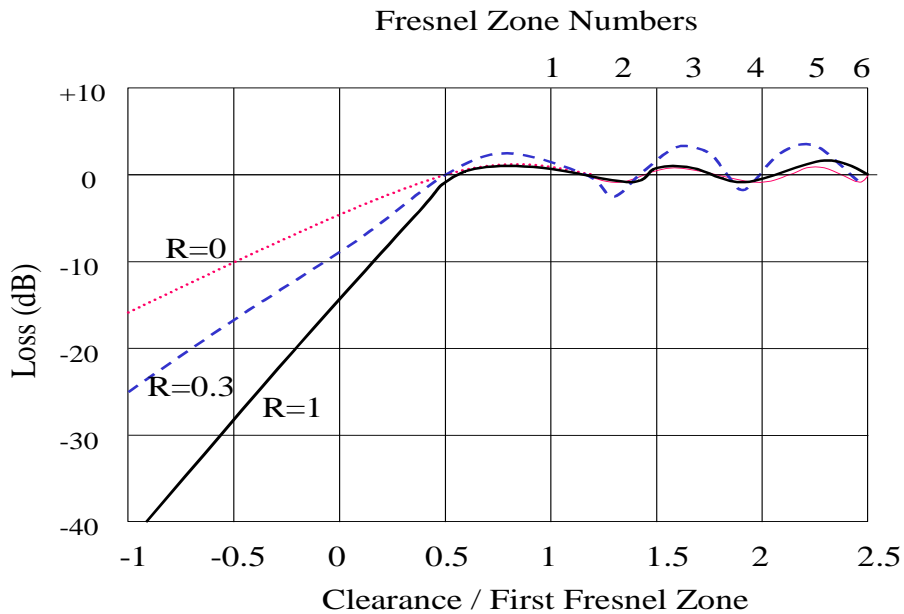
$d = d_1 + d_2$  = Η εστιακή απόσταση ή ισοδύναμα η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη (km)

$f$  = Η συχνότητα μετάδοσης (GHz).



Σχήμα 2.10. Ακτίνα 1<sup>ης</sup> Ζώνης Fresnel για ένα 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 φθάνουν 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 σκεδίαση των ραδιοζεύξεων, προκειμένου να αποφευχθούν οι απώλειες περίθλασης, είναι η απουσία εμποδίων στο χώρο που ορίζει η 1<sup>η</sup> ζώνη Fresnel ή τουλάχιστον το 0.6 της 1<sup>ης</sup> ζώνης**



Σχήμα 2.11. Απώλειες λόγω περίθλασης ανάλογα με την ύπαρξη εμποδίων γύρω από την ευθεία οπτικής επαφής.

Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από το Σχήμα 2.11., όπου σχεδιάζονται γραφικά οι απώλειες για εμπόδια διαφορετικής καμπυλότητας, και για διαφορετικές αποστάσεις 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 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel. π.χ. η αρνητική τιμή  $-0.5$  σημαίνει ότι η κορυφή του εμποδίου βρίσκεται σε ύψος  $0.5 R_{F1}$  πάνω από την ευθεία πομπού-δέκτη. Ανάλογα, η θετική τιμή  $0.5$  σημαίνει ότι το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση  $0.5 R_{F1}$  κάτω από την ευθεία πομπού-δέκτη. Το κλάσμα της απόστασης του εμποδίου από την ευθεία οπτικής επαφής προς τη ακτίνα της 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel, αναφέρεται ως η «καθαρότητα» (**clearance**) της 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel.

Η εξέταση του διαγράμματος αλλά και των σχέσεων κατατείνει στα ακόλουθα 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  $0.6 R_{F1}$ . Είναι προφανές ότι οι απώλειες μεγιστοποιούνται όταν το εμπόδιο παρεμβάλλεται στην ευθεία οπτικής επαφής (αρνητικές τιμές στον οριζόντιο άξονα).

**Κεφάλκης Ισίδωρος**

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

- Όσο μειώνεται η συχνότητα, τόσο μεγαλώνει η ακτίνα της 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel , και επομένως τόσο πιο μακριά πρέπει να βρίσκονται τα διάφορα εμπόδια από την ευθεία οπτικής επαφής.

Λαμβάνοντας υπόψη την προηγηθείσα συζήτηση είναι προφανές ότι κατά τη σχεδίαση μιας ραδιοζεύξης, και εφόσον υπάρχουν εμπόδια ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη, θα πρέπει να ρυθμιστούν τα ύψη των κεραιών και αντίστοιχα η ευθεία πομπού-δέκτη, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται καθαρότητα της 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel τουλάχιστον 0,6.



Σχήμα 2.12. Σχεδίαση Ραδιοζεύξης έτσι ώστε τα εμπόδια να βρίσκονται εκτός της 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel.

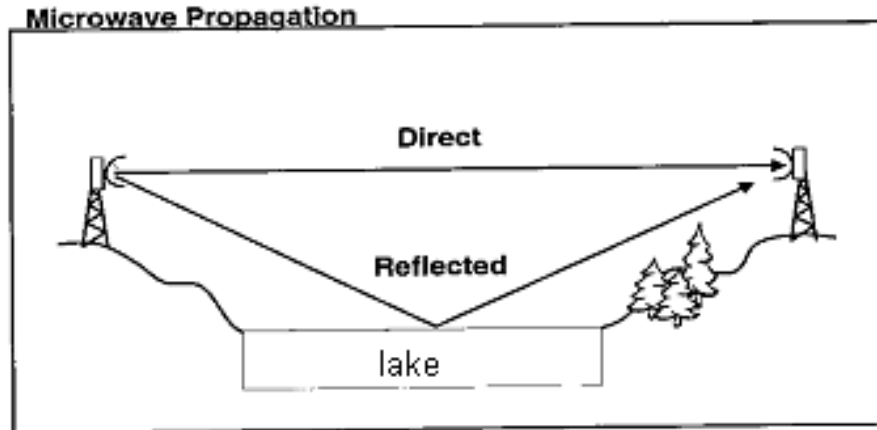
#### 2.1.2.2.4. Αντανακλάσεις Εδάφους

Γενικά, το κύμα το οποίο ακτινοβολείται από μια κεραία, διαδίδεται στο χώρο μεταφέροντας ενέργεια όχι μόνο στο δέκτη αλλά και σε άλλες κατευθύνσεις. Μάλιστα, το εύρος των σημείων του χώρου, τα οποία λαμβάνουν μη αμελητέα επίπεδα ισχύος, αυξάνει όσο αυξάνει η απόσταση από την κεραία πομπό. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε μια ισχυρά κατευθυντική κεραία, με εύρος δέσμης ημίσειας ισχύος 1°, τότε σε απόσταση περίπου 1.4 km, το εύρος της δέσμης αντιστοιχεί σε μια διάμετρο περίπου 700m. Συνεπώς, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο ανακλάσεων από διάφορα εμπόδια, ακόμη κι αν αυτά βρίσκονται μακριά (εκτός 1<sup>ης</sup> ζώνης Fresnel) από την ευθεία οπτικής επαφής.

Συνεπώς, ο δέκτης είναι δυνατό να λάβει το ίδιο σήμα μέσω διαφορετικών οδεύσεων π.χ. κατευθείαν και μέσω ανακλάσεων (Σχήμα 2.13.). Εφόσον τα κύματα που φτάνουν στο δέκτη διανύουν διαφορετικές αποστάσεις είναι αναμενόμενο να διαφοροποιούνται σε μέτρο και

#### Κεφάλης Ισίδωρος

φάση. Συνεπώς δεν μπορεί να αποκλεισθεί η περίπτωση, όπου τα επιμέρους λαμβανόμενα κύματα να έχουν αντίθετες φάσεις, έτσι ώστε να αναιρούν το ένα το άλλο, εξασθενώντας το συνολικό λαμβανόμενο σήμα.



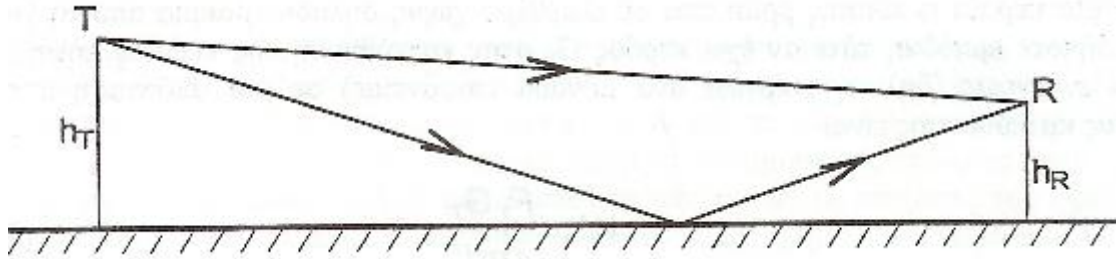
Σχήμα 2.13. Κατευθείαν και από ανάκλαση Λήψη.

Το φαινόμενο της εξασθένησης λόγω ανακλάσεων, ονομάζεται **πολύοδη διάλειψη (multipath fading)** και αποτελεί ένα από τα πλέον κλασσικά προβλήματα προς επίλυση, κατά τη σχεδίαση μιας ραδιοζεύξης. Στην παρούσα ενότητα, θα επιχειρηθεί η περιγραφή του μηχανισμού των ανακλάσεων από το έδαφος καθώς και των γενικών αρχών αντιμετώπισής τους.

Γενικά, τα χαρακτηριστικά των ανακλώμενων κυμάτων εξαρτώνται από τη συχνότητα, τη γωνία πρόσπτωσης, την πόλωση του κύματος, καθώς και από τη μορφολογία και τα διηλεκτρικά χαρακτηριστικά της ανακλαστικής επιφάνειας.

### 2.1.2.3. Το μοντέλο επίπεδης επιφάνειας (plane earth)

Θεωρούμε ότι το έδαφος είναι εντελώς λείο και ομαλό και ότι η διάδοση γίνεται πάνω από επίπεδη και εντελώς αγωγίμη επιφάνεια. Αγνοούμε την καμπυλότητα της γης για αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Η πρόσπτωση είναι επίπεδη ώστε  $\rho = -1$ .



Σχήμα 2.14. Διάδοση πάνω από επίπεδη επιφάνεια.

Το πεδίο δίδεται:

$$E = E_d[1 - \exp(-j\Delta\phi)] = E_d [1 - \cos\Delta\phi + j\sin\Delta\phi] \Rightarrow$$

$$|E| = |E_d| [1 + \cos^2 \Delta\phi - 2\cos\Delta\phi + \sin^2 \Delta\phi]^{1/2} = 2|E_d| \sin \frac{\Delta\phi}{2}$$

Είναι

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R = \frac{4\pi h_T h_R}{\lambda d}$$

και παίρνουμε

$$|E| = 2|E_d| \sin \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d}$$

Η λαμβανόμενη ισχύς είναι:

$$P_R = 4|E_d|^2 \sin^2 \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} = 4P_T (\lambda / 4\pi d)^2 G_T G_R \sin^2 \left( \frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d} \right) \quad (2.18)$$

Αν ισχύει  $d \gg h_T, h_R$  τότε η γωνία  $\Delta\phi$  είναι πολύ μικρή άρα το  $\lambda$  απαλείφεται και η σχέση που προκύπτει είναι ανεξάρτητη της συχνότητας.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left( \frac{h_T h_R}{d^2} \right)^2 \quad \text{Εξίσωση επίπεδης επιφάνειας} \quad (2.19)$$

**Κεφάλης Ισίδωρος**

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου



Η απώλεια διαδρομής στο μοντέλο επίπεδης επιφάνειας εξαρτάται από την τέταρτη δύναμη της απόστασης πομπού-δέκτη.

## **2.2. Εμπειρικά μοντέλα**

Ένα εμπειρικό μοντέλο αποτελεί μια εμπειρική μαθηματική φόρμουλα που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διάδοσης ραδιοκυμάτων σαν συνάρτηση της συχνότητας, απόστασης καθώς και άλλων παραμέτρων. Κάθε μοντέλο που αναπτύσσεται ξεχωριστά έχει ως σκοπό να προσπαθήσει να καλύψει συμπεριφορές της διάδοσης που εμφανίζονται σε ποικίλες περιοχές οι οποίες εμφανίζουν ομοιότητες σε ότι αφορά την τοπολογία τους και άλλες παραμέτρους που τις χαρακτηρίζουν. Σκοπός τους είναι κυρίως να τυποποιήσουν τον τρόπο με τον οποίο διαδίδονται τα ραδιοκύματα από ένα σημείο στο άλλο καθώς επίσης και να καταφέρουν να προσδιορίσουν την χαμένη ισχύ (path loss) μέσα σ'ένα καθορισμένο χώρο ή την ενεργή εμβέλεια γύρω από ένα μεταδότη (πομπό).

Καθώς οι απώλειες διάδοσης που 'συνοδεύουν' κάθε ζεύξη αποτελούν τον κύριο παράγοντα για τον προσδιορισμό της διάδοσης μιας ζεύξης, τα εμπειρικά μοντέλα επικεντρώνονται στη μέτρηση των απωλειών είτε προσπαθώντας να προβλέψουν την περιοχή που καλύπτει ένας πομπός είτε μοντελοποιώντας τον καταμερισμό των σημάτων πάνω από διάφορες περιοχές.

Επειδή κάθε ξεχωριστή τηλεπικοινωνιακή ζεύξη έχει να συναντήσει διαφορετικά εδάφη, διαδρομές, εμπόδια, ατμοσφαιρικές συνθήκες και άλλα φαινόμενα, είναι αδύνατο να καταφέρεις να συμπεριλάβεις τις ακριβείς απώλειες για όλα τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα σε μια μαθηματική εξίσωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για διαφορετικούς τύπους ζεύξεων με διαφορετικές συνθήκες. Τα μοντέλα υπολογίζουν την μέση απώλεια ισχύος για μια ζεύξη με βάση μια καθορισμένη πιθανότητα με την οποία θα εμφανιστούν οι συνθήκες που λάβαμε υπόψη.

Τα μοντέλα έχουν φτιαχτεί και αναπτυχθεί με βάση μια μεγάλη συλλογή από δεδομένα που αφορούν την κάθε περίπτωση. Για κάθε μοντέλο ο όγκος των πληροφοριών πρέπει να είναι επαρκής ώστε να περιλαμβάνει όλες τις δυνατές περιπτώσεις που μπορούν να συμβούν σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Όπως και κάθε εμπειρικό μοντέλο έτσι και τα μοντέλα διάδοσης ραδιοκυμάτων δεν μας δείχνουν την ακριβή συμπεριφορά μιας ζεύξης αλλά προβλέπουν την πιο πιθανή συμπεριφορά που μπορεί να παρουσιάσει μια ζεύξη κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες.

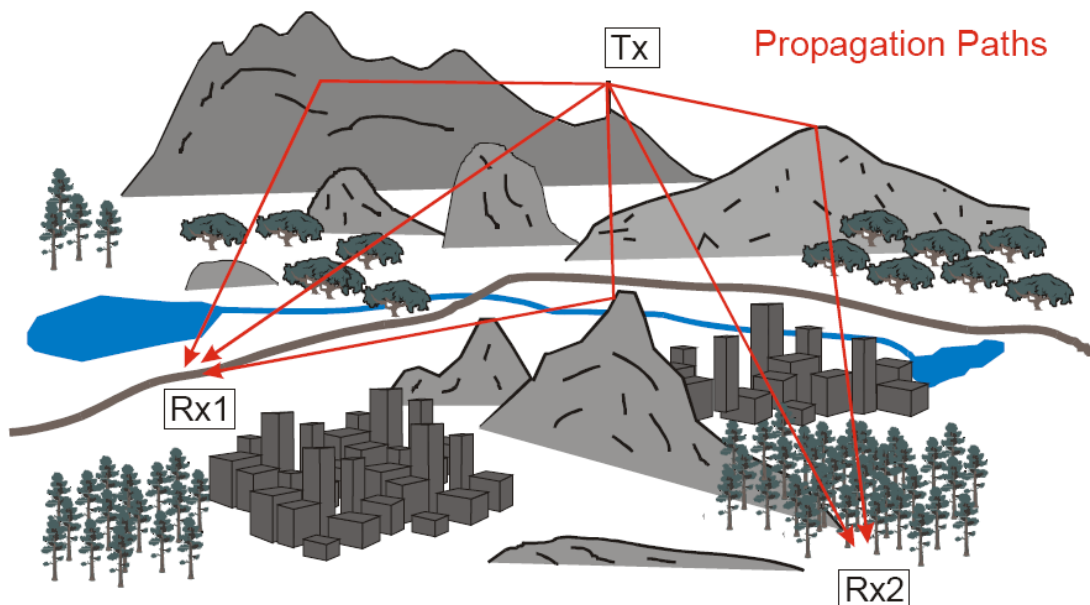
### 2.2.1. Terrain Models – City Models

Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται κυρίως, αφορούν κυρίως εφαρμογές σε πόλεις και περιοχές με εδαφικές ανωμαλίες. Τα μοντέλα αυτά υπολογίζουν την διάδοση ενισχυμένη πολλές φορές από την πολλαπλή ανάκλαση στα κτήρια και στα διάφορα φυσικά εμπόδια, που οφείλονται στην μορφολογία του εδάφους. Η σκέδαση και η ανάκλαση από λόφους, βουνά και κτήρια γενικά μπορεί να παραλειφθεί αφού ο σταθμός βάσης είναι τοποθετημένος πάνω από τα εμπόδια που τον περιβάλλουν, προκειμένου να καλύψει μια μεγάλη περιοχή.

Για την πρόβλεψη χρειάζονται βάσεις δεδομένων που αφορούν την τοπολογία (digital elevation model, DEM). Αυτά περιλαμβάνουν δυαδικής μορφής pixel με αυθαίρετη ανάλυση, όμως η ανάλυση σε μια βάση δεδομένων πρέπει να είναι σταθερή.

Επιπρόσθετα μορφολογικά δεδομένα μπορούν να ληφθούν υπόψη προκειμένου να βελτιώσουν την ακρίβεια του μοντέλου. Και αυτά τα δεδομένα είναι σε δυαδική μορφή. Οι διαφορετικές μορφολογικές ιδιότητες διαχωρίζονται σε:

- URBAN (ΑΣΤΙΚΕΣ)
- SUBURBAN (ΜΙΚΡΟΑΣΤΙΚΕΣ)
- FOREST (ΔΑΣΟΥΣ)
- WATERS (ΝΕΡΟΥ)
- ACRE (ΠΕΔΙΑΔΑΣ)



Σχήμα 2.15. Το παραπάνω σχήμα είναι ένα τυπικό σενάριο μιας terrain ραδιοκάλυψης.

### 2.2.2. OKUMURA – HATA MODEL

Αρχικά δημιουργήθηκε το μοντέλο Okumura το 1968 στην Ιαπωνία, το οποίο αποτελούσε ένα μοντέλο για αστικές περιοχές (urban) και φτιάχτηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα που συλλέχθηκαν στην πόλη του Τόκιο. Το μοντέλο είναι ιδανικό για την χρήση του σε πόλεις με πολλά κτίσματα αλλά όχι πολύ ψηλά κτήρια που μπλοκάρουν την ορατότητα.

Το μοντέλο Okumura φτιάχτηκε σε τρεις μεθόδους. Αυτό για αστικές, μικροαστικές και ελεύθερες (ανοικτές) περιοχές. Το μοντέλο για τις αστικές φτιάχτηκε πρώτο και χρησιμοποιήθηκε ως βάση για να κατασκευαστούν και τα άλλα δύο αργότερα.

Το μοντέλο Okumura έχει την ακόλουθη μορφή:

$$L = L_{FSL} + A_{MU} - H_{MG} - H_{BG}$$

όπου

$L$  = η μέση απώλεια διάδοσης (dB)

$L_{FSL}$  = οι απώλειες ελεύθερου χώρου (free space loss) (dB)

$A_M$  = μέση εξασθένηση (dB)

$H_{MG}$  = ενεργό ύψος κεραίας κινητού σταθμού ( $h_{re}$ )

$H_{BG}$  = ενεργό ύψος κεραίας σταθερού σταθμού (σταθμού βάσης) ( $h_{te}$ )

Μια άλλη παρόμοια έκφραση του μοντέλου είναι η:

$$L = L + A_{mu} - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{Area}$$

όπου:

$$G(h_{te}) = 20 \log \left( \frac{h_{te}}{200} \right) \quad 1000m > h_{te} < 30m$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} < 3m$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10m > h_{re} < 3m$$

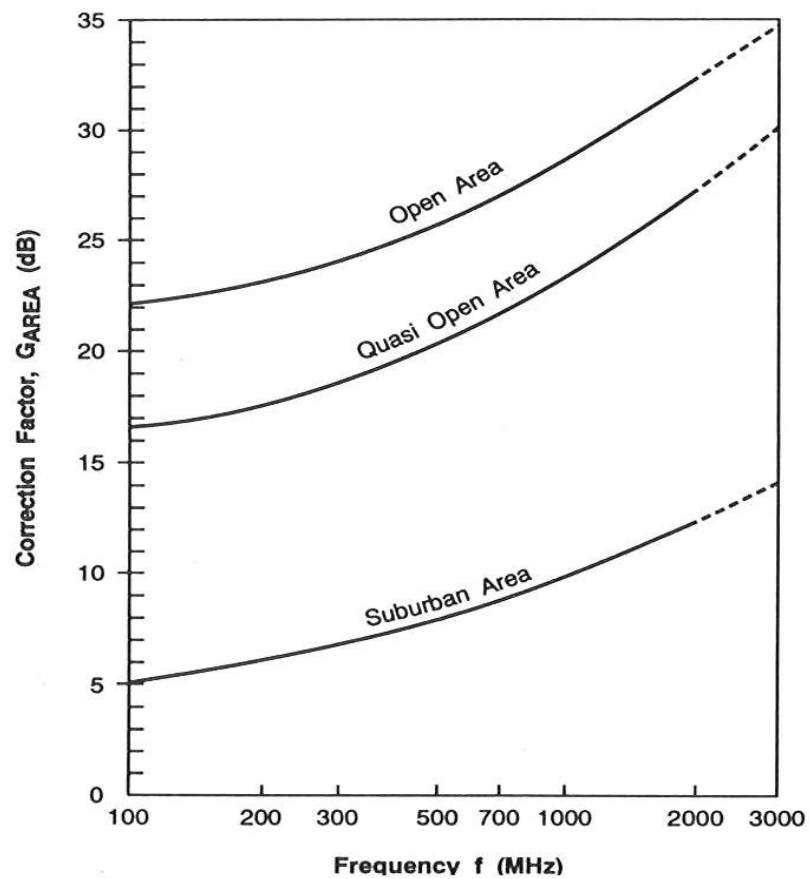
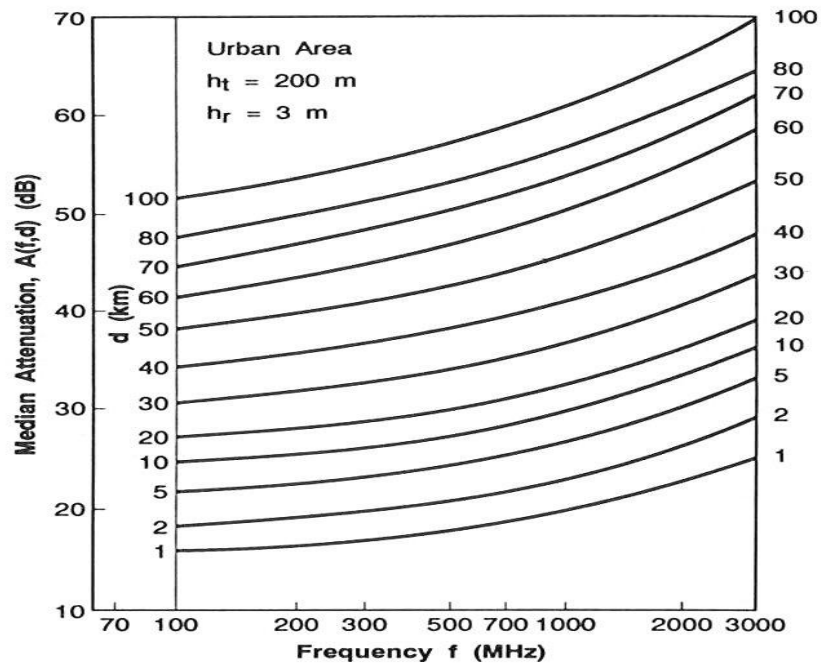
Και με βάση αυτή, την ακολουθούν και τα παρακάτω σχήματα, γνωστά και ως καμπύλες

Okumura:

**Κεφάκης Ισίδωρος**

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων

Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου



Το εύρος συχνοτήτων που καλυπτόταν με αυτό το μοντέλο ήταν από 200 MHz μέχρι 1900 MHz.

**Κεφάκης Ισίδωρος**

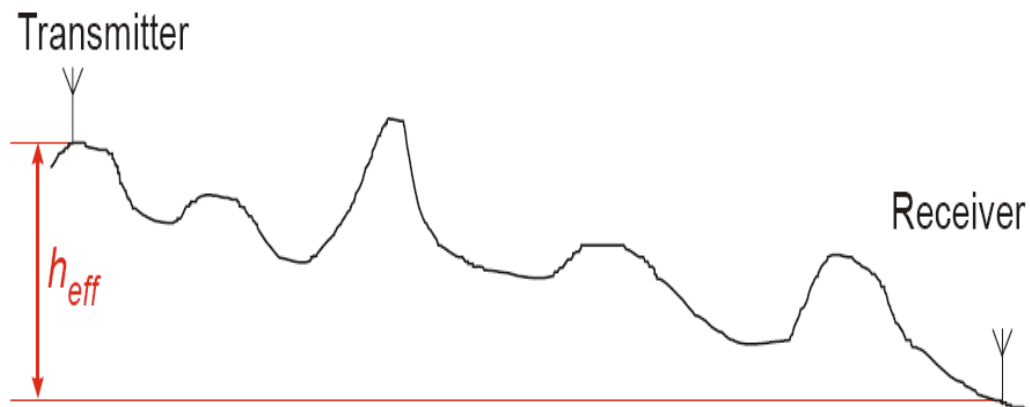
Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
 Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

Στη μέθοδο πρόβλεψης του Okumura, οι καμπύλες πρόβλεψης της μέση τιμή της έντασης του μέσου βασικού πεδίου (basic median strength) δοθήκαν συναρτήσει των εξής παραμέτρων: ενεργό ύψος κεραίας σταθερού σταθμού  $H_{BG}$ , συχνότητα  $f$ , και ύψος κεραίας κινητού σταθμού  $H_{MG}$ . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια από αυτές τις καμπύλες. Συνεπώς όταν κατασκευάζουμε ένα σύστημα βασισμένοι στη μέθοδο αυτή, είναι απαραίτητο να συγκεντρώνουμε τις καμπύλες που αναφέρονται στις συγκεκριμένες τιμές των παραπάνω παραμέτρων. Η χρησιμοποίηση των παραμέτρων αυτών που αναφέρονται σε 1 kW ενεργούς ισχύς εκπομπής ανά δίπολο (1 kW ERP) συνεπώς είναι απαραίτητη η αναγωγή της τιμής αυτής στην πραγματική ισχύ του πομπού. Βασισμένος στις αναφορές του Okumura ο Hata το 1980 ανέπτυξε ένα εμπειρικό τύπο για τον υπολογισμό της απώλειας σήματος. Το μοντέλο του Okumura-Hata όπως ονομάστηκε είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο μοντέλο στην διάδοση ραδιοκυμάτων για την ραδιοκάλυψη αναπτυγμένων (κτηριακά) περιοχών. Το μοντέλο αυτό συνδυάζει τις πληροφορίες από το μοντέλο Okumura και το αναπτύσσει περισσότερο προκειμένου να συμπεριλάβει τις επιπτώσεις της σκέδασης, ανάκλασης και διάθλασης από τα κτήρια της πόλης.

Το μοντέλο Hata-Okumura χρησιμοποιείται για συχνότητες μεταξύ 150 MHz και 1,5GHz με κάθετη πόλωση. Οι εξισώσεις που προκύπτουν χρησιμοποιούν μόνο τις παρακάτω 4 παραμέτρους και για αυτό το μοντέλο έχει πολύ μικρό χρόνο υλοποίησης:

- Συχνότητα  $f$
- Απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη  $d$
- Ύψος του πομπού  $h_t$
- Ύψος του δέκτη  $h_r$

Προκειμένου να βελτιώσουμε την ακρίβεια του μοντέλου μπορούμε να εισάγουμε το ενεργό ύψος κεραίας για το πομπό. Παρόλα αυτά το προφίλ του εδάφους ανάμεσα στο πομπό και το δέκτη δεν λαμβάνεται υπόψη.



Σχήμα 2.16. Ορισμός του ενεργού ύψους της κεραίας

Εξαιτίας της διακρίβωσης με τα δεδομένα μέτρησης του μοντέλου Hata-Okumura έχουμε τους εξής περιορισμούς για τις διαφορετικές παραμέτρους:

- $f = 150 \dots 1500 \text{ MHz}$
- $d = 1 \dots 20 \text{ km}$
- $h_t = 30 \dots 200 \text{ m}$
- $h_r = 1 \dots 10 \text{ m}$

Οι βασικές απώλειες διάδοσης σε αστικές περιοχές (urban areas) υπολογίζονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$L = 69.55 + 26.16 \cdot \lg\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13.82 \cdot \lg\left(\frac{h_{eff}}{m}\right) - \frac{c(h_r)}{dB} + (44.9 - 6.55 \cdot \lg\left(\frac{h_{eff}}{m}\right)) \cdot \lg\left(\frac{d}{km}\right)$$

Όπου:

$c(h_r)$  είναι ο διορθωτικός παράγοντας του ύψους της κεραίας και διαφέρει ανάλογα με το περιβάλλον διάδοσης (dense urban, suburban and open):

where	$c(h_r) = (1.1 \cdot \lg(\frac{f}{MHz}) - 0.7) \cdot \frac{h_r}{m} - (1.56 \cdot \lg(\frac{f}{MHz}) - 0.8)$	for suburban areas
	$c(h_r) = 8.29 \left[ \lg\left(1.54 \frac{h_r}{m}\right) \right]^2 - 1.1$	urban( $f < 200$ MHz)
	$c(h_r) = 3.2 \left[ \lg\left(11.75 \frac{h_r}{m}\right) \right]^2 - 4.97$	urban( $f > 400$ MHz)

Με βάση το μοντέλο που είναι κατάλληλο για τις πόλεις δημιουργήθηκε και το ανάλογο ώστε να καλύπτονται και άλλου είδους περιοχές όπως χωριά κ προάστια, περιοχές δηλαδή όπου τα κτήρια δεν είναι τόσο ψηλά και πολλά όπως μέσα στην πόλη:

$$L_{rural} = \frac{L}{dB} - 2 \left[ \lg\left(\frac{f / 28}{MHz}\right) \right]^2 - 5.4$$

Δημιουργήθηκε ακόμα και το ανάλογο μοντέλο το οποίο καλύπτει περιοχές όπου δεν υπάρχουν κτήρια που να αποτελούν εμπόδια για την διάδοση των ραδιοκυμάτων:

$$L_{open} = \frac{L}{dB} - 4.78 \left[ \lg\left(\frac{f}{MHz}\right) \right]^2 + 18.33 \lg\left(\frac{f}{MHz}\right) - 40.94$$

Αυτές οι εξισώσεις περιγράφουν την διάδοση κυμάτων με ένα απλό τρόπο καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη την μορφολογία του εδάφους ανάμεσα στο δέκτη και τον πομπό, π.χ. αν υπάρχει ένας λόφος ανάμεσα σε πομπό και δέκτη τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται. Παρομοίως τοπικές επιρροές γύρω από τον δέκτη, όπως ανάκλαση ή σκίαση δεν λαμβάνονται υπόψη.

### 2.2.3. OKUMURA-HATA COST 231

Το COST 231 (European Cooperative for Scientific and Technical) μοντέλο ή αλλιώς το Hata Model PCS Extension είναι μια προέκταση του Okumura-Hata μοντέλου προκειμένου να **Κεφάλης Ισίδωρος**

καλύπτει το φάσμα ανάμεσα στα 1500-2000 MHz το οποίο δεν μπορούσε να καλυφθεί με τα υπάρχοντα μοντέλα. Δημιουργήθηκε το 2000 αναλύοντας τις καμπύλες του Okumura για ανώτερες συχνότητες.

Η μορφή του είναι η ακόλουθη:

$$L = 46.3 + 33.9 \cdot \lg\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 13.82 \cdot \lg\left(\frac{h_{\text{eff}}}{m}\right) - \frac{c(h_r)}{\text{dB}} + (44.9 - 6.55 \cdot \lg\left(\frac{h_{\text{eff}}}{m}\right)) \cdot \lg\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + \frac{C_m}{\text{dB}}$$

where  $c(h_r) = (1.1 \cdot \lg\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 0.7) \cdot \frac{h_r}{m} - (1.56 \cdot \lg\left(\frac{f}{\text{MHz}}\right) - 0.8)$

and  $C_M = 0 \text{ dB}$  for medium sized cities and suburban centers  
 $C_M = 3 \text{ dB}$  for metropolitan centers

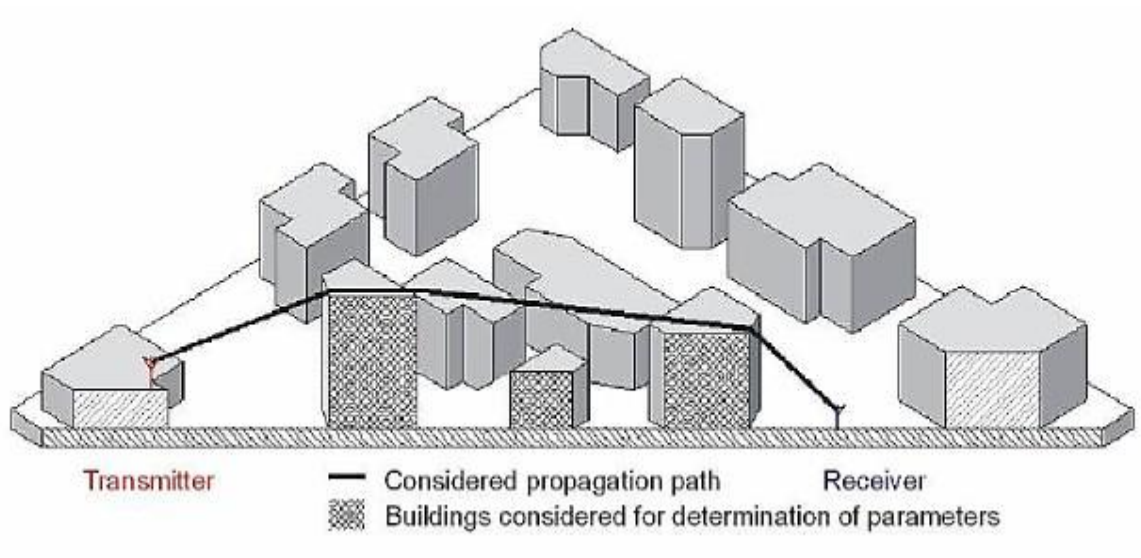
Το μοντέλο αυτό είναι εφαρμόσιμο και για open, suburban και urban περιοχές και προϋποθέτει ότι η κεραία βάσης θα βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος από τις παρακείμενες οροφές. Οι περιορισμοί των παραμέτρων που χρησιμοποιεί είναι ίδιοι με αυτούς του Okumura-Hata.

#### 2.2.4. Empirical COST - Walfisch - Ikegami Model

Αυτό το εμπειρικό μοντέλο είναι ένας συνδυασμός των μοντέλων του J.Walfisch και του F.Ikegami. Είναι μια περαιτέρω εξέλιξη του COST 231.

Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη μόνο τα κτήρια που είναι στην κάθετη ευθεία που ενώνει τον πομπό με τον δέκτη. Η ακρίβεια αυτού του εμπειρικού μοντέλου είναι μεγάλη, επειδή στα αστικά περιβάλλοντα η διάδοση πάνω από οροφές (multiple diffractions) είναι το κυρίαρχο κομμάτι. Επιδράσεις από κυματοδηγούς εξαιτίας πολλαπλών ανακλάσεων δεν λαμβάνονται υπόψη.



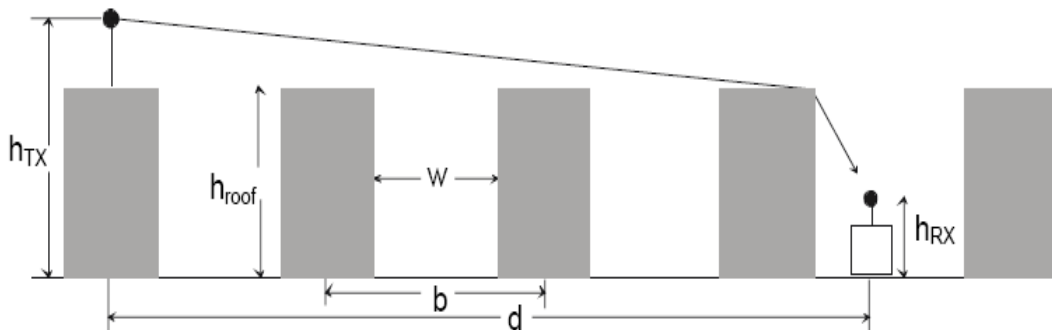


Σχήμα 2.17.

Το μοντέλο αυτό επιτρέπει την βελτιωμένη εκτίμηση των απωλειών διάδοσης αφού λαμβάνει υπόψη του περισσότερες παραμέτρους προκειμένου να περιγράψει τον ‘χαρακτήρα’ της εκάστοτε αστικής περιοχής, ονομαστικά:

- Ύψος του πομπού  $h_{TX}$
- Ύψος του δέκτη  $h_{RX}$
- Μέση τιμή του ύψους των κτηρίων  $h_{ROOF}$
- Μέση τιμή του πλάτους των δρόμων  $w$
- Μέση τιμή του διαχωρισμού των κτηρίων  $b$
- Κλίση του δρόμου σε σχέση με την ευθεία διάδοσης  $\phi$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι διάφοροι παράμετροι που ορίσαμε:



Σχήμα 2.18. Μία τυπική κατάσταση διάδοσης σε αστική περιοχή και ορισμός των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στο COST-WALFISCH-IKEGAMI MODEL.

Παρόλα αυτά το μοντέλο αυτό παραμένει στατιστικό και όχι ντετερμινιστικό επειδή λαμβάνονται υπόψη για την πρόβλεψη μόνο χαρακτηριστικές τιμές. Το μοντέλο διακρίνεται ανάμεσα σε καταστάσεις line-of-sight (LOS) και non-line-of-sight(NLOS). Στην περίπτωση του LOS-ανάμεσα στον σταθμό βάσης και την κινητή κεραία υπάρχει οπτική επαφή-εφαρμόζεται μια απλή μέθοδος για την μέτρηση των απωλειών διάδοσης, διαφορετική της μεθόδου ελευθέρου χώρου. Η διακρίβωση αυτού της φόρμουλας γίνεται από μετρήσεις που γίνονται σε ευρωπαϊκές πόλεις.

$$\text{LOS Case: } l_p = 42.6 + 26 \cdot \lg\left(\frac{d}{\text{km}}\right) + 20 \cdot \lg \frac{f}{\text{MHz}}$$

Όπου η πρώτη σταθερά είναι καθορισμένη με τέτοιο τρόπο που η  $l_p$  είναι ίση με τις απώλειες ελευθέρου χώρου για  $d=20\text{m}$ . Στην περίπτωση NLOS οι βασικές απώλειες συνθέτονται από τους όρους των απωλειών ελευθέρου χώρου  $l_0$ , απώλειες πολλαπλής περίθλασης (multi screen diffraction loss)  $l_{msd}$ , και rooftop-to-street diffraction loss  $l_{rts}$  :

$$\text{NLOS Case: } l_p = \begin{cases} l_0 + l_{rts} + l_{msd} & l_{rts} + l_{msd} > 0 \\ l_0 & l_{rts} + l_{msd} \leq 0 \end{cases}$$

Οι απώλειες ελευθέρου χώρου δίνονται από τον τύπο:

$$l_0 = 32.44 + 20 \cdot \lg \frac{f}{\text{MHz}} + 20 \cdot \lg \frac{d}{\text{km}}$$

Ο όρος  $l_{rts}$  περιγράφει την σύζευξη της διάδοσης των ραδιοκυμάτων κατά μήκος της διαδρομής με πολλά εμπόδια, στον δρόμο όπου ο κινητός σταθμός βρίσκεται. Ο καθορισμός του  $l_{rts}$  βασίζεται κυρίως στο μοντέλο του Ikegami. Λαμβάνει υπόψη το πλάτος του δρόμου και την κλίση του. Παρόλα αυτά το COST 231 έχει εφαρμόσει μια άλλη συνάρτηση για την κλίση του δρόμου:

$$l_{rts} = -16.9 - 10 \cdot \lg \frac{w}{m} + 10 \cdot \lg \frac{f}{\text{MHz}} + 20 \cdot \lg \frac{h_{\text{roof}} - h_{\text{RX}}}{m} + l_{\text{on}}$$

Οι απώλειες κλίσης  $l_{ori}$  είναι ένας εμπειρικός διορθωτικός όρος παρμένος από τις μετρήσεις:

$$l_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354 \frac{\varphi}{\text{deg}} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075 \left( \frac{\varphi}{\text{deg}} - 35 \right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114 \left( \frac{\varphi}{\text{deg}} - 35 \right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases}$$

Η μονόμετρα ηλεκτρομαγνητική τυποποίηση των απωλειών λόγω πολλαπλών ανακλάσεων, έχει ως αποτέλεσμα ένα ακέραιο για τον οποίο ο Walfisch και ο Bertoni είχαν δημοσιεύσει μια προσεγγιστική λύση για την περίπτωση που η κεραία βάσης βρίσκεται πάνω από τις οροφές. Αυτό το μοντέλο έχει προεκταθεί από το COST 231 για ύψη των σταθμών βάσης χαμηλότερα από τα επίπεδα των ορόφων, χρησιμοποιώντας μια εμπειρική συνάρτηση βασισμένη στις μετρήσεις που έχουν γίνει. Το ύψος των κτηρίων και ο χωρικός διαχωρισμός κατά μήκος της άμεσης διαδρομής εκπομπής έχουν μοντελοποιηθεί από *απορροφητικές οροφές* για τον καθορισμό του  $l_{msd}$ :

$$l_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \cdot \lg \frac{d}{\text{km}} + k_f \cdot \lg \frac{f}{\text{MHz}} - 9 \cdot \lg \frac{b}{m}$$

όπου

$$l_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \left( 1 + \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} \right) & h_{TX} > h_{roof} \\ 0 & h_{TX} < h_{roof} \end{cases}$$

$$k_a = \left\{ \begin{array}{ll} 54 & h_{TX} > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} & d \geq 0.5km \text{ and } h_{TX} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{m} \frac{d / km}{0.5} & d < 0.5km \text{ and } h_{TX} \leq h_{roof} \end{array} \right\}$$

$$k_d = \left\{ \begin{array}{ll} 18 & h_{TX} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{h_{TX} - h_{roof}}{h_{roof} - h_{RX}} & h_{TX} \leq h_{roof} \end{array} \right\}$$

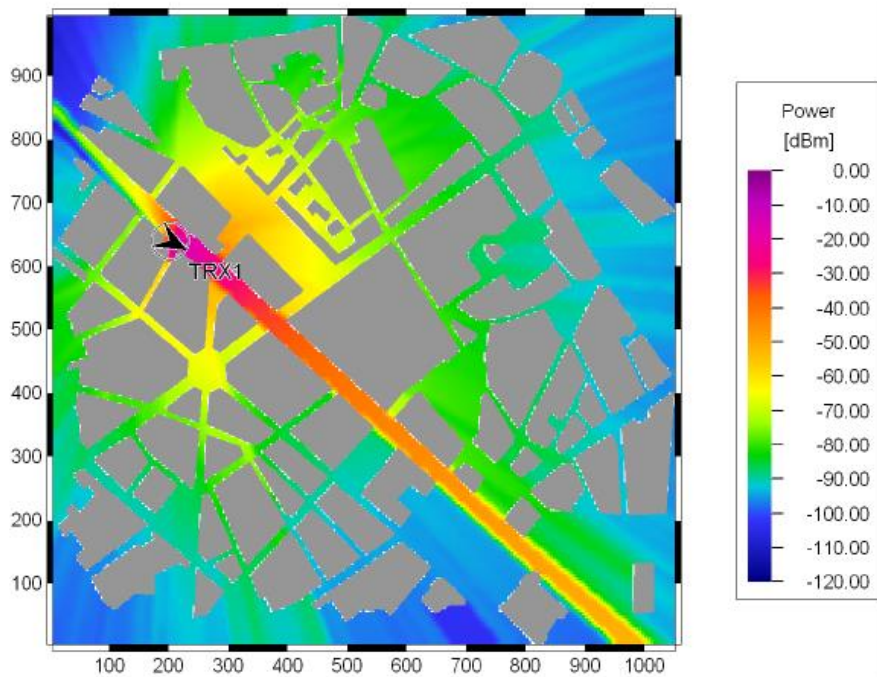
$$k_f = -4 + \left\{ \begin{array}{ll} 0.7 \left( \frac{f / MHz}{925} - 1 \right) & \text{for medium sized city and} \\ & \text{suburban centers} \\ 1.5 \left( \frac{f / MHz}{925} - 1 \right) & \text{for metropolitan centers} \end{array} \right\}$$

Ο όρος  $k_a$  αντιπροσωπεύει την αύξηση των απωλειών μετάδοσης για σταθμούς βάσης με ύψος μικρότερο από αυτό των ορόφων των γειτονικών κτηρίων. Οι όροι  $k_d$  και  $k_f$  αφορά την εξάρτηση των απωλειών πολλαπλών ανακλάσεων σε συνάρτηση με την απόσταση και την συχνότητα αντίστοιχα.

Το μοντέλο COST Walfisch-Ikegami ισχύει για:

- $f$  (MHz): 800-2000
- $h_{TX}$  (m): 4-50
- $h_{RX}$  (m): 1-3
- $d$  (m): 20-5000

Το μοντέλο έχει γίνει αποδεκτό από την ITU-R. Οι εκτιμήσεις για τις απώλειες συμπίπτουν με τις μετρήσεις για σταθμούς βάσης με ύψος πάνω από το επίπεδο των ορόφων. Το μέσο σφάλμα είναι γύρω στα 3dB και η απόκλιση 4-8 dB. Ωστόσο το σφάλμα πρόβλεψης γίνεται μεγαλύτερο για  $h_{TX}$  κοντά στο  $h_{roof}$  σε σχέση με καταστάσεις όπου  $h_{TX} \gg h_{roof}$ . Επίσης το μοντέλο δεν είναι ικανοποιητικό για  $h_{TX} \ll h_{roof}$ . Οι παράμετροι  $b, w$  και  $\varphi$  δεν λαμβάνονται υπόψη από φυσικής πλευράς για μικροκυβέλες, και ως εκ τούτου το σφάλμα πρόβλεψης μπορεί να είναι μεγαλύτερο για μικροκυβέλες. Το μοντέλο δεν υπολογίζει διάδοση πολλαπλών διαδρομών και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι επιπτώσεις κυματοδηγών όπως εμφανίζονται για παράδειγμα σε street canyons να μην λαμβάνονται υπ' όψιν. Όμως σε περιπτώσεις όπου η διάδοση πάνω από οροφές είναι κυρίαρχη, το μοντέλο οδηγεί σε καλά αποτελέσματα.



Σχήμα 2.19. Πρόβλεψη με το μοντέλο COST-Walfisch-Ikegami σε αστική περιοχή

### 3. Λειτουργικές Διαδικασίες Δικτύου GSM σε Κατάσταση Αναμονής (Idle Mode)

#### 3.1. Εισαγωγή

Μία φορητή συσκευή η οποία είναι ενεργοποιημένη (switched on) και η οποία δεν χρησιμοποιεί Κάποιους πόρους από το δίκτυο GSM, θεωρείται ότι είναι σε κατάσταση ανενεργή ή κατάσταση αναμονής ή αγγλιστί Idle Mode. Σε μία τέτοια κατάσταση η φορητή συσκευή δεν θεωρείται συνδεδεμένη στο δίκτυο, δεν έχει εγκαθιδρύσει κάποια μορφή επικοινωνίας, είτε σηματοδοσία είτε φωνητική, και προφανώς δεν ελέγχεται από το δίκτυο. Υπό αυτήν την έννοια μία φορητή συσκευή σε ανενεργή κατάσταση περιφέρεται στο δίκτυο:

- εκτελεί κάποιες βασικές μετρήσεις ισχύος ώστε να αποφασίσει σε ποιο κύτταρο Θα εγκατασταθεί (cell selection & initial cell camping)
- εκτελεί κάποιες βασικές μετρήσεις ισχύος, ώστε να αποφασίσει εάν συντρέχει λόγος να αλλάξει κύτταρο εξυπηρέτησης (cell reselection)
- λαμβάνει στο downlink μηνύματα σηματοδοσίας σχετιζόμενα με τις παραμέτρους του κυττάρου και του δικτύου. Τα μηνύματα αυτά, αποστέλλονται από το δίκτυο στο downlink, υπό μορφή broadcasting από τα λογικά κανάλια SCH και κυρίως BCCH. Η πληροφορίες του δικτύου εκπέμπονται από το λογικό κανάλι BCCH ομαδοποιημένες με συγκεκριμένη σειρά και ονομάζονται System Information.
- Λαμβάνει στο downlink πληροφορίες σχετιζόμενες με σηματοδοσίες paging. Τα μηνύματα paging, εκπεμπόμενα από το πρωτόκολλο RR του layer 3 και κωδικοποιημένα / προστατευμένα από τα layer 2 του πρωτοκόλλου LapD<sub>m</sub> και physical layer 1 της διεπαφής αέρα, λαμβάνονται από τη φορητή μονάδα μέσω του λογικού καναλιού PCH.

Είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσει ο αναγνώστης ότι εφόσον η φορητή μονάδα δεν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο και δεν καταλαμβάνει κάποιον ράδιο-πόρο ή δεν ανταλλάσει μηνύματα σηματοδοσίας με το δίκτυο, αποφασίζει μόνη της για τις προαναφερθείσες λειτουργίες. Δηλαδή σε κατάσταση αναμονής η φορητή μονάδα λαμβάνει τις κατάλληλες παραμέτρους από το downlink του ραδιοδικτύου και εν συνεχεία βάσει αλγορίθμων οι οποίοι τρέχουν στο λογισμικό της αποφασίζει για τις διαδικασίες επιλογής κυττάρου / κυψέλης (cell

selection), επανεπιλογής κυττάρου (cell reselection) και προσπαθεί να συνδεθεί στο δίκτυο σε περίπτωση λήψης μίας σηματοδοσίας paging. Το BTS ή BSC ή MSC δεν ελέγχουν καθόλου τη συμπεριφορά της φορητής μονάδος. Υπ' αυτήν την έννοια λοιπόν το δίκτυο δεν γνωρίζει γεωγραφικά σε ποιο κύτταρο βρίσκεται ο συνδρομητής. Το μόνο που γνωρίζει είναι σε ποια LAC βρίσκεται ο συνδρομητής στην MSC/VLR μέσω της εγγραφής του στη VLR κατά τη διαδικασία του IMSI Attach ή Location Update.

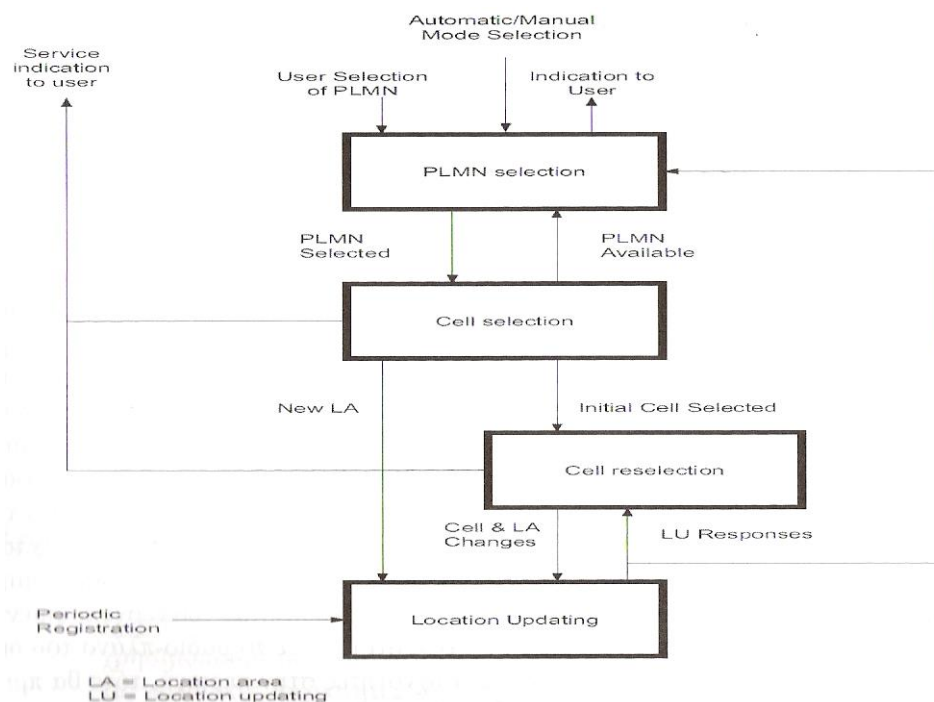
### **3.2. Ενεργοποίηση της φορητής μονάδος στο δίκτυο**

Αρχικά θα ξεκινήσουμε τη μελέτη μας με τη συμπεριφορά μίας φορητής συσκευής η οποία ενεργοποιείται από το χρήστη (διαδικασία power on) όντας σε προηγούμενη χρονική περίοδο εκτός λειτουργίας ή απενεργοποιημένη. Σε μία τέτοια περίπτωση η φορητή συσκευή, βάσει του λογισμικού το οποίο είναι φορτωμένο στο microprocessor, βασίζεται στις περιγραφές που υπάρχουν στις προδιαγραφές της 3GPP και GSM specs και ακολουθεί μία προδιαγεγραμμένη διαδικασία η οποία θα την οδηγήσει επιτυχώς στην εισαγωγή εντός του δικτύου GSM και στην ομαλή εγκατάστασή της σε ένα κύτταρο του δικτύου. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται στο *Σχήμα 3.1*. Εν ολίγοις η φορητή συσκευή:

- Θα προσπαθήσει να εντοπίσει τις βασικές συχνότητες του ράδιο-φάσματος του δικτύου GSM (όλου του ράδιο-φάσματος 800MHz, 900MHz, 1800MHz, 1900MHz οι οποίες και υπάρχουν στη γεωγραφική περιοχή ενεργοποίησης (βάσει του σχεδιασμού συχνοτήτων frequency planning).
- Θα εκτελέσει μετρήσεις σε αυτές τις συχνότητες και θα τις κατατάξει σε αξιολογικό κατάλογο βάσει MONON ισχύος λήψης και OXI ποιότητας.
- Θα προσπαθήσει να συντονιστεί στην πρώτη συχνότητα από τον κατάλογο και εάν το καταφέρει θα προσπαθήσει να διαβάσει τα χαρακτηριστικά (παραμέτρους) του κυττάρου και εν γένει του δικτύου.
- Λαμβάνοντας το PLMN id του δικτύου (κωδικός αριθμός ταυτοποίησης των δικτύων) θα ελέγξει εάν επιτρέπεται να κάνει χρήση αυτού του δικτύου, βάσει καταλόγου roaming PLMN δικτύων.
- Εν συνεχεία θα προσπαθήσει να εγκατασταθεί στο κύτταρο με τη διαθέσιμη συχνότητα. Εάν το καταφέρει έχει εκτελέσει το περιβόητο initial cell selection.
- Χρησιμοποιώντας τους ράδιο-πόρους του δικτύου θα προσπαθήσει να συνδεθεί στο δίκτυο και να εγκαθιδρύσει μία σύνδεση σηματοδοσίας, ώστε να αποστείλει αίτημα

εγκατάστασης και ταυτοποίησης στο δίκτυο κορμού (MSC/VLR, HLR), μία διαδικασία γνωστή ως IMSI Attach.

- Τέλος εάν τα καταφέρει σε όλα τα παραπάνω βήματα, τότε εγκαθίσταται στο κύτταρο (μία διαδικασία γνωστή ως cell camping), παρουσιάζει στην οθόνη της συσκευής την ένδειξη του δικτύου χρήσης (όχι το PLMN id το οποίο είναι ένας αριθμός αλλά το αντίστοιχο κείμενο περιγραφής γνωστό ως text id, όπως Cosmote, Wind, Vodafone, Q κλπ.) και ξεκινάει τη διαδικασία λήψης των παραμέτρων System Info από το NCCH και τα μηνύματα paging εσαεί.



Σχήμα 3.1. Κύρια διαδικασία (flow chart) εκτέλεσης κατά την ενεργοποίηση μίας συσκευής στο δίκτυο GSM – Idle Mode Main Process

Οι διαδικασίες αυτές περιγράφονται στις προδιαγραφές GSM 0508\_630 της 3GPP.

### 3.3. Έλεγχος παραμέτρων κυττάρου

Στην τελευταία φάση εισαγωγής της φορητής μονάδας στο δίκτυο, η συσκευή θα ελέγξει εάν το κύτταρο μέσω των ράδιο-παραμέτρων του πληροί τις προϋποθέσεις χρήσης. Ο έλεγχος βασίζεται σε μία προδιαγραφή της 3GPP, η οποία περιγράφεται στο 3GPP TS 03.22, και η



οποία αναφέρει ότι η φορητή συσκευή θα πρέπει να υπολογίσει την τιμή της εξίσωσης C1. Η εξίσωση C1 εξαρτάται από τέσσερις παραμέτρους:

- Τη λαμβανόμενη ισχύ στο downlink από το BTS, η οποία αποκαλείται **Receive Level Average**
- Από τη ληφθείσα παράμετρο **RXLEV\_ACCESS\_MIN**, του SIB 3. Η παράμετρος αυτή προσδιορίζει την ελάχιστη ισχύ εκπομπής που πρέπει να στείλει η φορητή συσκευή στο uplink και την οποία πρέπει να λάβει η κεραία του BTS.
- Από τη ληφθείσα παράμετρο **MS\_TXPWR\_MAX\_CCH**, του SIB 3. Η παράμετρος αυτή προσδιορίζει τη μέγιστη ισχύ εκπομπής της φορητής μονάδος μέσα στο κύτταρο κατά τη διαδικασία αίτησης εισόδου χρησιμοποιώντας το κανάλι RACH (γι' αυτό και ο όρος CCCH στην παράμετρο).
- Από μία παράμετρο η οποία αφορά τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εκπομπής της φορητής συσκευής, η οποία περιορίζεται από το hardware της ίδιας της συσκευής και η οποία ονομάζεται **MS class mark**.

Η εξίσωση έχει την κάτωθι μορφή:

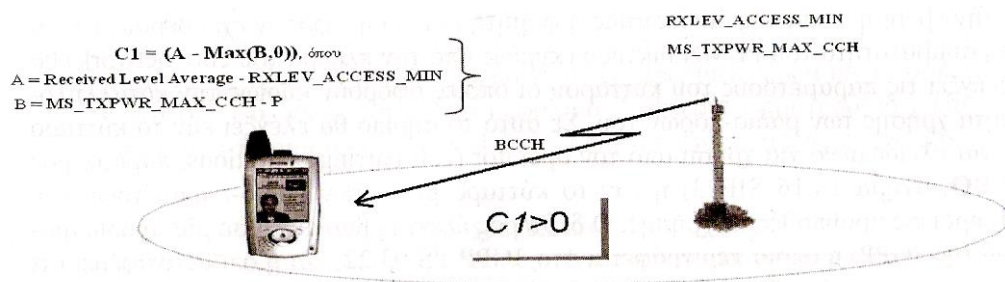
$$C1 = ( A - \text{Max}(B,0) )$$

όπου:

$$A = \text{Received Level Average} - \text{RXLEV\_ACCESS\_MIN}$$

$$B = \text{MS\_TXPWR\_MAX\_CCH} - P$$

Οι παράμετροι **RXLEV\_ACCESS\_MIN**, **MS\_TXPWR\_MAX\_CCH** αποστέλλονται στο downlink από το BCCH κανάλι στο SIB 3 και οι παράμετροι **MS class mark & Receive Level Average** υπολογίζονται από τη φορητή συσκευή. Στο Σχήμα 3.2. παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού.

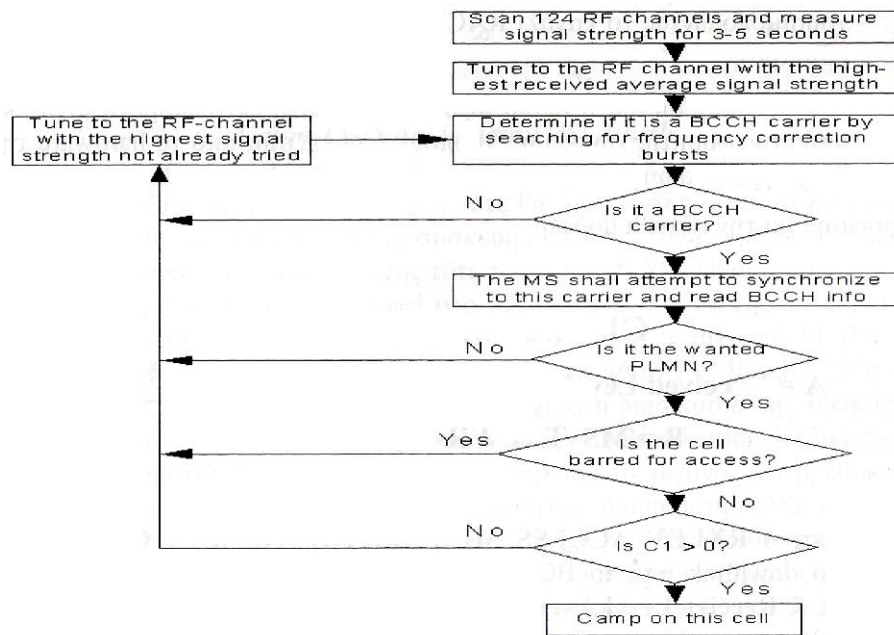


Σχήμα 3.2. Διαδικασία ελέγχου καταλληλότητας κυττάρου

Η καταλληλότητα ενός κυττάρου διασφαλίζεται εάν υπολογισθεί η ποσότητα C1 από τη φορητή συσκευή και ικανοποιεί τη σχέση:

$$C1 > 0$$

Εν τέλει εάν η συνθήκη  $C1 > 0$  ισχύει για το κύτταρο, τότε πληροί τις προϋποθέσεις και η φορητή μονάδα το επιλέγει ως το κατάλληλο κύτταρο για εγκατάσταση. Οπότε έχουμε επιτυχές cell camping. Στο Σχήμα 3.3. βλέπουμε αναλυτικά τις φάσεις που μελετήσαμε, όπως περιγράφεται στην 3GPP TS 03.22.



Σχήμα 3.3. Συνολική διαδικασία cell camping

### 3.4. Διαδικασία Cell Reselection

Εφόσον η φορητή συσκευή εγκατασταθεί στο κύτταρο, ξεκινάει μία νέα διαδικασία η οποία αφορά και πάλι μόνον τη φορητή συσκευή, με την έννοια ότι το δίκτυο δεν εμπλέκεται στην όλη διαδικασία. Στην κατάσταση αναμονής και αμέσως μετά τη διαδικασία εγκατάστασης σε ένα κύτταρο εξυπηρέτησης, η φορητή συσκευή εκτελεί δύο βασικές λειτουργίες:

1. Η φορητή συσκευή ξεκινάει και μετράει στη στάθμη λήψης του κυττάρου εξυπηρέτησης καθώς και όλων των γειτονικών BCCH συχνοτήτων οι οποίες αναφέρονται στο SIB 2 του System Information. Επομένως η φορητή συσκευή μόλις εγκατασταθεί στο κύτταρο εξυπηρέτησης ξεκινάει και εκτελεί μετρήσεις της ισχύος λήψης όλων των κυττάρων και εν συνεχεία υπολογίζει την ποσότητα C1. Στο Σχήμα 3.4. παρουσιάζεται η ιδέα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι για κάθε μία διαφορετική BCCH συχνότητα δεν εκτελεί μόνο μία μέτρηση αλλά πολλές, με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό της μέσης ισχύος λήψης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό να γίνει διότι θα μπορούσε μία μέτρηση να συμπέσει με fading στο ράδιο-διάυλο των 200kHz και να έχουμε λανθασμένη εκτίμηση της λήψης.
2. Εν συνεχεία έχοντας υπολογίσει τις ποσότητες C1 για κάθε ένα κύτταρο, υπολογίζει μία νέα ποσότητα, C2. Ο τύπος που περιγράφει τη C2 περιγράφεται στις προδιαγραφές 3GPP TS 03.22:

$$C2 = C1 + \text{CELL\_RESELECT\_OFFSET} - \text{TEMPORARY\_OFFSET} * H(\text{PENALTY\_TIME} - T)$$

για  $\text{PENALTY\_TIME} \neq 11111$  (σε δεκαδική τιμή 31)

ή

$$C2 = C1 - \text{CELL\_RESELECT\_OFFSET}$$

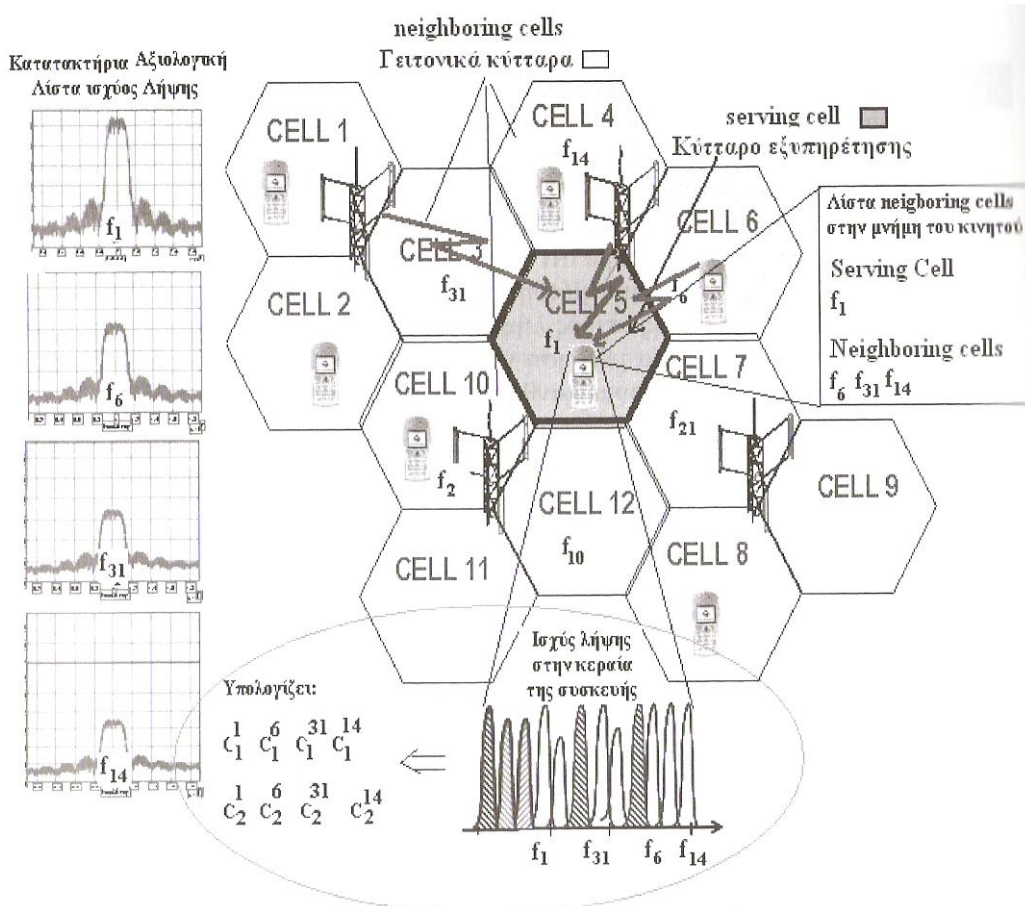
για  $\text{PENALTY\_TIME} = 11111$  (σε δεκαδική τιμή 31)

Όπου

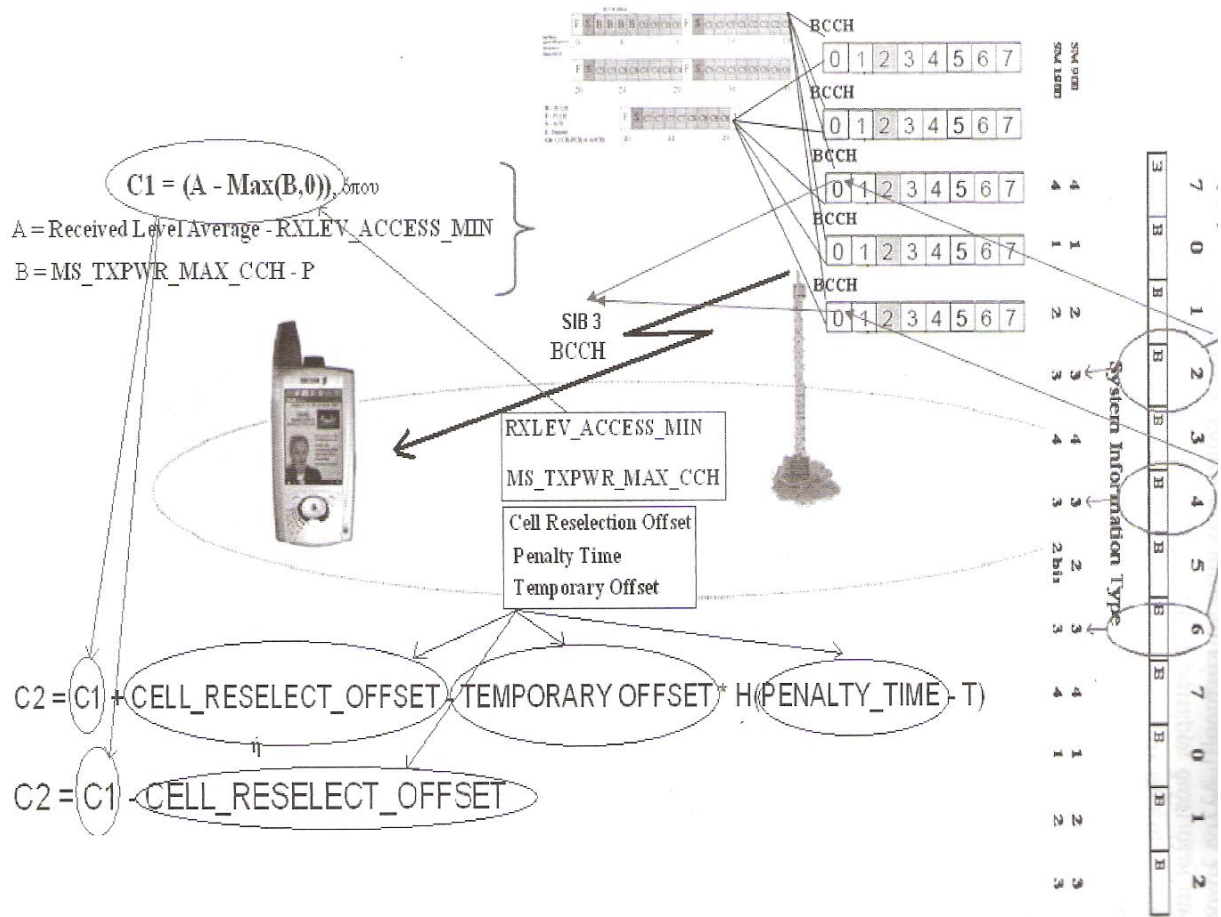
$$\text{For non-serving cells: } H(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < 0 \\ 1 & \text{for } x = 0 \end{cases}$$

$$\text{For serving cells: } H(x) = 0$$

Αξίζει να μελετήσουμε λίγο τον τύπο και να καταλάβουμε για ποιο λόγο είναι δομημένος όπως παρουσιάζεται. Αρχικά να καταλάβει ο αναγνώστης ότι κάποιες από τις παραμέτρους τις οποίες περιλαμβάνει ο τύπος είναι παράμετροι τις οποίες έλαβε η φορητή συσκευή στο downlink κατά την ανάγνωση των BCCH SIBs. Αυτές οι παράμετροι είναι *Cell Reselection Offset* = 0 dB, *Penalty Time* = 20 sec. Στο Σχήμα 3.5. παρουσιάζεται η ιδέα.

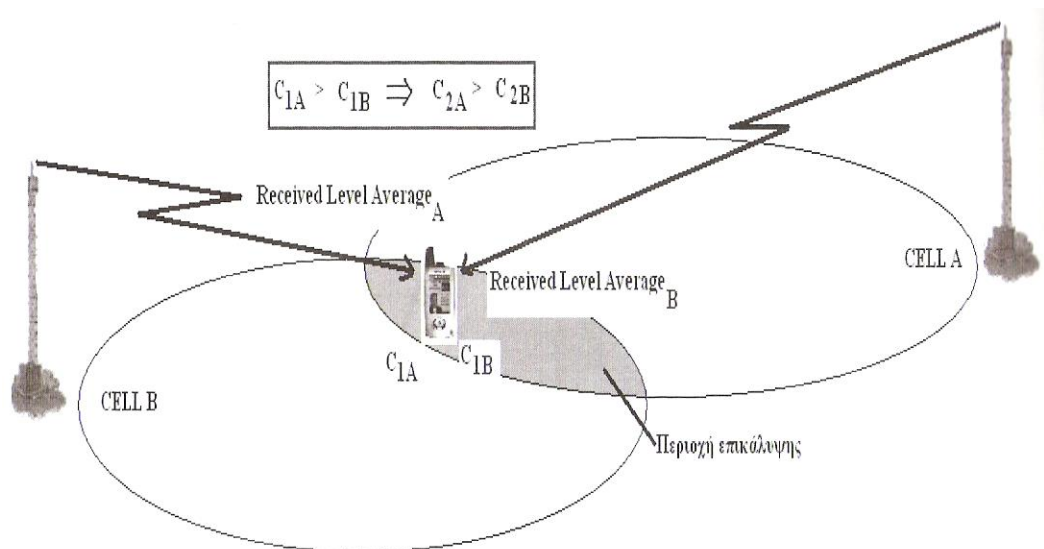


Σχήμα 3.4. Διαδικασία μετρήσεων  $C1$  &  $C2$  στο κώτταρο εξυπηρέτησης και στα γειτονικά κώτταρα της γεωγραφικής περιοχής



Σχήμα 3.5. Διαδικασία μετρήσεων C1 & C2 σε ένα κύτταρο

Η παράμετρος Cell Reselection Offset είναι μία χρήσιμη παράμετρος για το σχεδιαστή του δικτύου, καθότι δίνει τη δυνατότητα στο σχεδιαστή να πριμοδοτήσει ή αλλιώς να αυξήσει την τελική τιμή της ποσότητας C2 ενός συγκεκριμένου κυττάρου έτσι ώστε να οδηγήσει τη φορητή μονάδα να επιλέξει το συγκεκριμένο κύτταρο για reselection. Είναι μία ποσότητα offset η οποία επιλεκτικά λοιπόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Παράδειγμα η περίπτωση όπου έχουμε δύο κύτταρα να καλύπτουν μία περιοχή (επικάλυψη σημάτων ισχύος) και επιθυμούμε να κρατήσουμε τους συνδρομητές στην περιοχή επικάλυξης στο A κύτταρο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6. Παράδειγμα βελτιστοποίησης διαδικασίας Cell Selection

Πράγματι από το Σχήμα 3.6. φαίνεται ότι στην περιοχή επικάλυψης η ληφθείσα ισχύς (Received Level Average) από την κεραία της φορητής συσκευής είναι ισχυρότερη από το κύτταρο B απ' ότι από το κύτταρο A λόγω απόστασης, Από τον τύπο υπολογισμού της ποσότητας C1, αντιλαμβανόμαστε ότι θα ισχύσει  $C_{1A} > C_{1B}$ . Αυτό θα έχει ως συνέπεια να ισχύσει και  $C_{2A} > C_{2B}$  και επομένως η συσκευή θα επιλέξει μοιραίως στην περιοχή επικάλυψης το κύτταρο B ως το κύτταρο εξυπηρέτησης στην κατάσταση αναμονής. Αυτό ίσως να μην είναι επιθυμητό από τον σχεδιαστή του δικτύου για πολλούς και διάφορους λόγους. Παραδείγματος χάριν το κύτταρο B είναι ήδη φορτωμένο με αρκετή κίνηση και επομένως αν έχει αρκετούς συνδρομητές σε ανενεργή κατάσταση θα επιβαρυνόταν περαιτέρω, διότι όλοι αυτοί οι συνδρομητές θα ξεκινούσαν κλήση από αυτό το κύτταρο. Άλλος λόγος είναι σχεδιασμός δικτύου με δύο επίπεδα, indoor Cell B και outdoor Cell A κάλυψη και η γκρίζα περιοχή είναι εντός κτηρίου στο πεζοδρόμιο. Σε αυτήν την περίπτωση θέλουμε να κρατήσουμε τους διαθέσιμους πόρους του Cell B indoor ελεύθερους για κλήσεις **μόνο** από τους συνδρομητές εντός του κτηρίου, επομένως στη γκρίζα περιοχή επικάλυψης στο πεζοδρόμιο θα θέλαμε οι συνδρομητές σε κατάσταση αναμονής να εξυπηρετούνται από το κύτταρο A. Εν πάση περιπτώσει όποιοι και αν είναι οι λόγοι δεν μας αφορούν σε αυτό το σημείο, αυτό που μας αφορά είναι πώς μπορούμε να αλλάξουμε τη συμπεριφορά της φορητής συσκευής στην ανενεργή κατάσταση έτσι ώστε να επιλέξει το κύτταρο A και όχι το B. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη τιμή στην παράμετρο **Cell Reselection Offset (parameter**



**range: 0-63 dB**). Αν θέσουμε μεγαλύτερη την τιμή της παραμέτρου **Cell Reselection Offset** του κυττάρου A από ότι του B, κατά τόσο μεγαλύτερη ώστε να ισχύει:

$$C_{1A} + \text{Cell\_Reselection\_Offset}_A > C_{1B} + \text{Cell\_Reselection\_Offset}_B$$

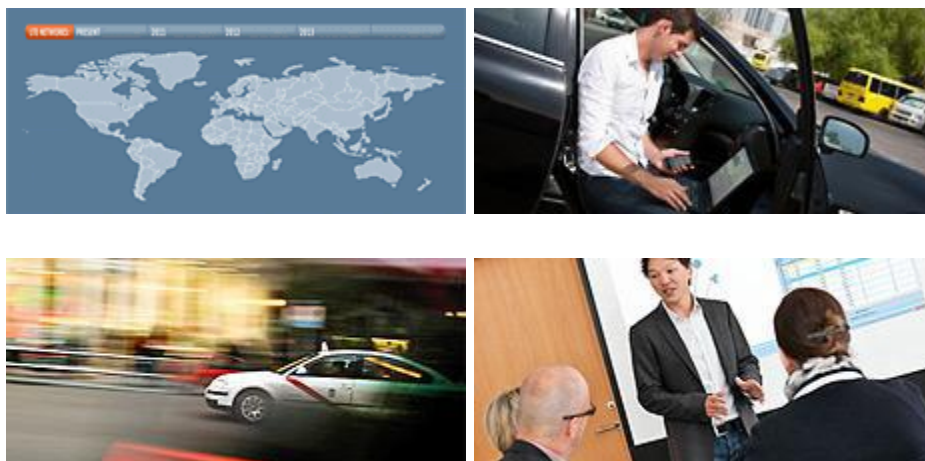
τότε θα έχουμε  $C_{2A} > C_{2B}$  και επομένως η φορητή συσκευή θα επιλέξει το κύτταρο B ως κύτταρο εξυπηρέτησης.

Οι παράμετροι **Temporary Offset** = 0 dB και **Penalty Time** = 20 sec είναι χρήσιμες μόνο για να αποφευχθούν φαινόμενα συνεχόμενων επανεπιλογών κυττάρων, φαινόμενο το οποίο στη τεχνική ορολογία του GSM ονομάζεται Cell Reselection ping-pong effect. Αυτοί οι παράμετροι αποτρέπουν τη φορητή συσκευή, ύστερα από μία επιτυχημένη αλλαγή κυττάρου εξυπηρέτησης, να επανέλθει εύκολα πίσω στο αρχικό κύτταρο τιμωρώντας τη μέτρηση της μέσης ισχύος λήψης του αρχικού κυττάρου κατά dB (παράμετρος **Temporary Offset**) για χρονικό διάστημα ίσο με την παράμετρο **Penalty Time**.

## 4. Συστήματα Παρακολούθησης και Καταγραφής Ποιότητας Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται μερικά εμπορικά συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής ποιότητας δικτύων κινητών επικοινωνιών.

### 4.1. TEMS Portfolio (Ascom)



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

- **LTE Offerings:** Προϊόντα που αφορούν κυρίως την τεχνολογία LTE (Long Term Evolution):
  - TEMS Discovery: εργαλείο για επεξεργασία των μετρούμενων δεδομένων από τη ραδιοεπαφή. Υποστηρίζει cdma2000, 1xEV, GSM/GPRS/EDGE, W-CDMA, HSDPA/HSUPA/HSPA+, TD-SCDMA, WiMAX, και LTE τεχνολογίες, χρησιμοποιεί ενσωματωμένους χάρτες Google και Microsoft Bing για απεικόνιση και ανάλυση των δεδομένων και εισάγει τα δεδομένα 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 άνω ζεύξη LTE δικτύων σε διάφορες ζώνες



συχνοτήτων, τη ρυθμαπόδοση, τους χρόνους καθυστέρησης και τις γειτονικές κυψέλες. Χρησιμοποιείται για την επαλήθευση της συμπεριφοράς του τερματικού και της κάλυψης, χωρητικότητας, προσβασιμότητας και ακεραιότητας των κυψελών.

- TEMS Symphony Suite: εργαλείο για αξιολόγηση επιδόσεων του LTE και έλεγχο δικτύου με απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS).
- **Test and Measurement:** Συσκευές για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της απόδοσης και της ποιότητας των ασύρματων δικτύων και υπηρεσιών:
  - TEMS Pocket: εργαλείο χειρός για την επαλήθευση, τη διατήρηση και την αντιμετώπιση σφαλμάτων ασύρματων δικτύων ακόμη και σε εσωτερικούς χώρους. Υποστηρίζει μετρήσεις για τις τεχνολογίες GSM/GPRS, EDGE, W-CDMA, HSPA, CDMA και EV-DO και έχει τη δυνατότητα αποθήκευσής τους για περαιτέρω επεξεργασία.
  - TEMS Investigation: Προσφέρει συλλογή και μετεπεξεργασία δεδομένων, καθώς και ανάλυση πραγματικού χρόνου. Χρησιμοποιείται για την αποτύπωση της συμπεριφοράς στο τερματικό, με μετρήσεις όπως η κάλυψη της κυψέλης, η χωρητικότητα, η προσβασιμότητα κ.α. Υποστηρίζει indoor, outdoor και pedestrian μετρήσεις.
- **Benchmarking and monitoring:** Συστήματα αξιολόγησης και αποτύπωσης της συμπεριφοράς και της ποιότητας των ασύρματων δικτύων και των υπηρεσιών τους:
  - 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 την αποτύπωση της απόδοσης των δραστηριοτήτων που μπορεί να επιτελέσει ένας συνδρομητής με το κινητό του τηλέφωνο. Οι δραστηριότητες αυτές 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 Visualization: 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 ώστε ότι οι παγκόσμιοι πελάτες του TEMS Portfolio να επιλέγουν τα εργαλεία και τα επίπεδα υπηρεσιών που ταιριάζουν καλύτερα στις τεχνικές τους απαιτήσεις.

## 4.2. Nemo Network Testing Solutions (Anite)



Η εταιρεία Anite προσφέρει ένα πακέτο προϊόντων για μέτρηση, έλεγχο, βελτιστοποίηση και ανάλυση της ποιότητας 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 smartphone με λειτουργικό Symbian, Windows Mobile ή Android. Χρησιμοποιείται για μετρήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) και ποιότητας εμπειρίας (QoE) της ασύρματης ραδιοεπαφής και των εφαρμογών του κινητού τερματικού.

### Κεφάλης Ισίδωρος

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

- Nemo Invox: 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 σημείο 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 βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών.
- Nemo FSR1: ψηφιακό δέκτης σάρωσης για μετρήσεις σε δίκτυα LTE, WCDMA, HSDPA, GSM, CDMA και EVDO. Δίνει τη δυνατότητα αλλαγής της ραδιοεπαφής για αναβάθμιση στο 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 μία μοναδική αναφορά.

### **4.3. SwissQual Network Benchmark, Optimization and Service Monitor**

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**

- 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 απεικόνιση επίδοσης και βελτιστοποίηση υπηρεσιών φωνής, βίντεο 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 που εγκαθίσταται σε διάφορους τύπους οχημάτων, όπως ταξί, λεωφορεία και μοτοσυκλέτες.

## **NetQual**

- NQDI: σύστημα για επεξεργασία 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.

## 5. Εργαλεία Εξαγωγής Μοντέλου

Για την παρούσα εργασία χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν εργαλεία μέτρησης ισχύος λήψης, καθώς και στατιστικής ανάλυσης.

### 5.1. Λειτουργικό Σύστημα Android – Εφαρμογή Antennas

#### 5.1.1. Android

##### 5.1.1.1. Εισαγωγή

Καθώς τα smart phones και τα tablets γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή, το ενδιαφέρον έχει στραφεί στην ανάπτυξη ενός λειτουργικού συστήματος κατάλληλου για τις συσκευές αυτές. Ένα από τα λειτουργικά συστήματα τα οποία αναπτύχθηκαν είναι και το Android. Αποτελεί ένα σύστημα ιδανικό για συσκευές που λειτουργούν με τη χρήση μπαταρίας και δομούνται κυρίως από υλικοτεχνικό εξοπλισμό. Τέτοιες συσκευές είναι τα κινητά τηλεκονόμματα (smart phones, tablets) όπως αναφέραμε, αλλά και συσκευές εντοπισμού θέσης (GPS). Όπως όλα τα λειτουργικά συστήματα, το Android δίνει τη δυνατότητα στις διάφορες εφαρμογές που φιλοξενεί να επικοινωνούν και να χειρίζονται τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε συσκευής.



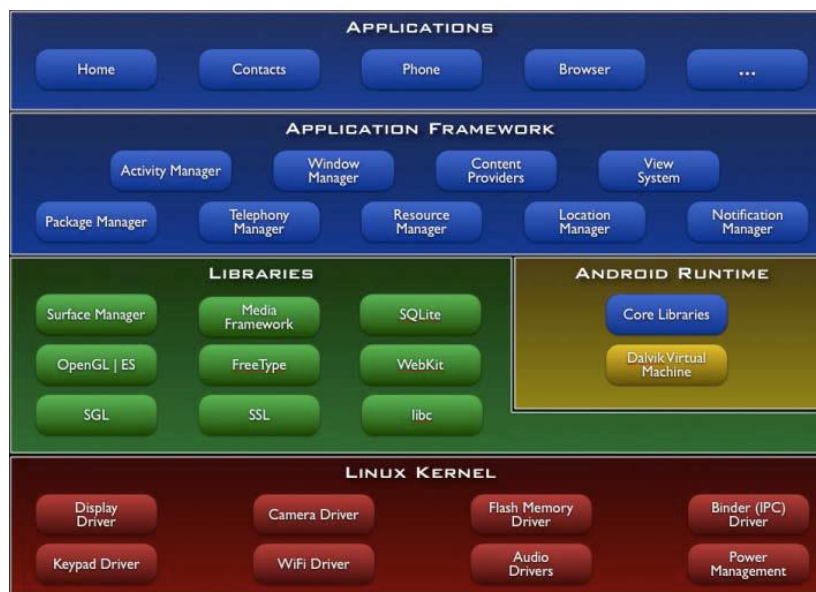
Η εταιρεία Android Inc. ιδρύθηκε στο Palo Alto της California, τον Οκτώβριο του 2003. Συνιδρυτές ήταν οι Andy Rubin, Rich Miner, Nick Sears και Chris White. Αρχικός στόχος υπήρξε η ανάπτυξη εξυπνότερων κινητών συσκευών που γνώριζαν την τοποθεσία του χρήστη τους και τις προτιμήσεις του. Η Google απέκτησε την Android Inc τον Αύγουστο του 2005 κάνοντάς τη θυγατρική της Google Inc, με σχεδόν όλους τους ιδρυτές της να παραμένουν στην εταιρεία μετά την ένωση αυτή.

Η βασική διαφορά του, από τα άλλα λειτουργικά συστήματα που ανέπτυξαν διάφορες εταιρείες για παρόμοιους σκοπούς, είναι πως το Android βασίζεται εξ' ολοκλήρου στη χρήση Java. Έτσι, για την ανάπτυξη μιας Android εφαρμογής γίνεται, εκτός από τη χρήση Java, και η χρήση ενός εικονικού προσομοιωτή. Για το λόγο αυτό, για την ανάπτυξη του παρέχεται μια εικονική μηχανή (Dalvik) η οποία εκτελεί τον δικό της κώδικα byte, καθώς και μια βιβλιοθήκη συναρτήσεων και εργαλείων που ονομάζεται Android SDK. Τα βασικά χαρακτηριστικά του Android είναι τα εξής:

- Ένα πλαίσιο εφαρμογών που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση και αντικατάσταση των περιεχομένων.
- Εικονική μηχανή Dalvik που προορίζεται για κινητές συσκευές.
- Ενσωματωμένο φυλλομετρητή που βασίζεται στο open source της μηχανής WebKit.
- Γραφικά που παρέχονται από μια βιβλιοθήκη δισδιάστατων γραφικών - τα τρισδιάστατα γραφικά είναι βασισμένα πάνω στην OpenGL ES 1.0.
- SQLite για τη δομή αποθήκευσης δεδομένων.
- Υποστήριξη μέσω για ήχο, video, και πρότυπα εικόνων (MPEG4, H.264, MP3, AAC, AMR, JPG, PNG, GIF).
- GSM Telephony.
- Bluetooth, EDGE, 3G, and WiFi.
- Camera, GPS, πυξίδα και επιταχυνσιόμετρο.
- Ευρύ περιβάλλον ανάπτυξης που περιλαμβάνει έναν προσομοιωτή συσκευής, εργαλεία για απομάκρυνση ιών (debugging), μνήμη και προφίλ επίδοσης και ένα πρόσθετο για το Eclipse IDE.

### 5.1.1.2. Η Αρχιτεκτονική του Android.

Βασικό προτέρημα του λειτουργικού συστήματος Android, το οποίο κατατάσσει το εν λόγω σύστημα σε ένα από τα κυρίαρχα αυτή τη στιγμή στην αγορά, αλλά ταυτόχρονα και στα πιο δημοφιλή ανάμεσα στους developers είναι η αρχιτεκτονική του. Στο ακόλουθο Σχήμα 5.1. φαίνονται τα βασικά συστατικά του λειτουργικού συστήματος του Android.



Σχήμα 5.1. Αρχιτεκτονική Λειτουργικού Συστήματος Android

**Κεφάλης Ισίδωρος**

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου

Αναλύοντας τη δομή του, είναι δυνατός ο διαχωρισμός τεσσάρων επιπέδων.

- Εφαρμογών
- Πλαισίου Εφαρμογών
- Βιβλιοθηκών
- Χρόνου Εκτέλεσης
- Πυρήνας Linux

### **Εφαρμογές**

Το Android συμβαδίζει με ένα σύνολο εφαρμογών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η ηλεκτρονική αλληλογραφία, η αποστολή και λήψη SMS, η χρήση ημερολογίου, η απεικόνιση χαρτών και ο ταυτόχρονος εντοπισμός θέσης, εφαρμογές διαχείρισης επαφών, φυλλομετρητή για περιήγηση στο διαδίκτυο κ.α.

### **Πλαίσιο Εφαρμογών**

Το Android παρέχει στους προγραμματιστές ένα θελκτικό περιβάλλον για να δημιουργήσουν εξαιρετικά καινοτόμες εφαρμογές, καθώς είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιήσουν τα πλεονεκτήματα του λειτουργικού της συσκευής, να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες τοποθεσίας, να τρέξουν υπηρεσίες παρασκήνιου, να προσθέσουν κοινοποιήσεις στη μπάρα κατάστασης κλπ.

Η Αρχιτεκτονική των εφαρμογών έχει σχεδιαστεί για να απλοποιήσει την επαναχρησιμοποίηση των περιεχομένων, με την έννοια ότι κάθε εφαρμογή μπορεί να εκδώσει τις δυνατότητες της και κάθε άλλη εφαρμογή να τις χρησιμοποιήσει (υπόκειται βέβαια στους περιορισμούς ασφάλειας που επιβάλλει το πλαίσιο). Αυτός ο ίδιος μηχανισμός επιτρέπει στα περιεχόμενα να αντικαθίστανται από το χρήστη. Σε όλες τις εφαρμογές βρίσκεται ένα σύνολο υπηρεσιών και συστημάτων, που περιλαμβάνει:

- Ένα εκτεταμένο σύνολο των Views, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φτιάξει μια εφαρμογή, με λίστες, πλαίσια κειμένου, κουμπιά, ακόμη κι έναν ενσωματωμένο περιηγητή δικτύου.
- Παρόχους περιεχομένου, που επιτρέπουν στις εφαρμογές να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα από άλλες εφαρμογές (όπως στις Επαφές), ή για να κοινοποιήσουν τα δικά τους δεδομένα.

- Ένα χειριστή πόρων, που παρέχει πρόσβαση σε μη κωδικοποιημένες πηγές, όπως σε εντοπισμένα γραφικά και αρχεία layout.
- Ένα χειριστή κοινοποιήσεων, που δίνει τη δυνατότητα σε όλες τις εφαρμογές για έκθεση συνηθισμένων προειδοποιήσεων στη μπάρα κατάστασης.
- Ένα διαχειριστή δραστηριοτήτων, που χειρίζεται την κατάσταση των εφαρμογών και παρέχει μια κοινή πλοήγηση back stack.

## **Βιβλιοθήκες**

Το Android περιλαμβάνει ένα σύνολο βιβλιοθηκών των C/C++ που χρησιμοποιούνται από διάφορα συστατικά του συστήματος. Αυτές οι δυνατότητες εκτίθενται στους προγραμματιστές μέσω του πλαισίου εφαρμογής. Κάποιες από τις βιβλιοθήκες αναφέρονται παρακάτω :

- System C library
- Media Libraries
- Surface Manager
- LibWebCore
- SGL
- 3D libraries
- FreeType
- SQLite

## **Χρόνος Εκτέλεσης του Android**

Κάθε εφαρμογή του Android εκτελείται στη δική της διαδικασία, με το παράδειγμα της εικονικής μηχανής Dalvik. Η μηχανή αυτή έχει γραφτεί έτσι ώστε μια συσκευή να μπορεί να τρέξει πολλαπλά Virtual Machines αποτελεσματικά. Η Dalvik VM εκτελεί αρχεία στο πρότυπο Dalvik Executable (.dex), που προορίζεται για ελάχιστο ίχνος μνήμης, Η VM είναι βασισμένη στην καταγραφή και τρέχει κλάσεις που συμπιέζονται από ένα συμπιεστή της γλώσσας Java, που έχει μετατραπεί σε ένα αρχείο .dex από το συμπεριλαμβανόμενο εργαλείο «dex». Η παραπάνω μηχανή στηρίζεται στον πυρήνα του Linux για λειτουργικότητα, όπως τη διαστρωμάτωση και τη διαχείριση μνήμης χαμηλού επιπέδου.

## **Πυρήνας Linux**

### **Κεφάλης Ισίδωρος**

*Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου*



Το Android στηρίζεται στην έκδοση 2.6 του Linux για υπηρεσίες συστήματος όπως η ασφάλεια, η διαχείριση επεξεργασίας και λειτουργίες δικτύου. Ο πυρήνας επίσης δρα σαν ένα στρώμα επικοινωνίας ανάμεσα στο hardware και το software.

### 5.1.2. Antennas

Η εφαρμογή Antennas, η οποία διανέμεται ελεύθερα, λειτουργεί σε smartphones που είναι εφοδιασμένα με το λειτουργικό σύστημα Android. Απεικονίζει σε χάρτη Google τις κυψέλες που «βλέπει» εκείνη τη στιγμή το κινητό του δίνοντας το γεωγραφικό τους στίγμα (όπως παρέχεται από το λειτουργικό σύστημα και υπάρχει πιθανότητα να έχουμε αποκλίσεις), την ισχύ λήψης καθώς και σε ποια κυψέλη έχει κλειδώσει η συσκευή. Σημειώνεται ότι εμφανίζονται μόνο οι κυψέλες του εκάστοτε παρόχου του οποίου έχουμε εισάγει την κάρτα SIM. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται στιγμιότυπα από την εφαρμογή.



Το στίγμα του κινητού μας φαίνεται στον κύκλο με το γράμμα G (όπως παρέχεται από το GPS της συσκευής το οποίο είναι και το ακριβέστερο) και στον κύκλο με το γράμμα N (όπως παρέχεται από την ενεργή μας σύνδεση στο διαδίκτυο το οποίο αποκλίνει από την πραγματική μας θέση). Με

#### Κεφάλης Ισίδωρος

Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων  
Τ.Ε.Ι. Μεσολογίου

κόκκινο εμφανίζεται η κυψέλη στην οποία έχει κλειδώσει το κινητό μας ενώ ο αριθμός εκφράζει την ισχύ λήψης σε ASU (Android Signal Unit) η οποία αντιστοιχεί σε dBm σύμφωνα με τον εξής τύπο:  $dBm = 2 \cdot ASU - 113$ ,  $0 \leq ASU \leq 31$ . Με κίτρινο εμφανίζονται οι γειτονικές κυψέλες που ακούει εκείνη τη στιγμή η συσκευή και παρέχεται επίσης και η ισχύς λήψης τους. Τέλος, με μικρότερο κίτρινο κύκλο εμφανίζονται οι κυψέλες που είχε ακούσει κάποια προηγούμενη στιγμή το κινητό μας και τις έχει κρατήσει στην μνήμη η εφαρμογή.

Πολύ σημαντικό, και ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε την εφαρμογή για την εργασία μας, είναι ότι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει ένα αρχείο καταγραφής με όλα τα προηγούμενα στοιχεία για όποιο χρονικό διάστημα επιθυμεί και να τα επεξεργαστεί αργότερα. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα δείγμα του αρχείου καταγραφής.

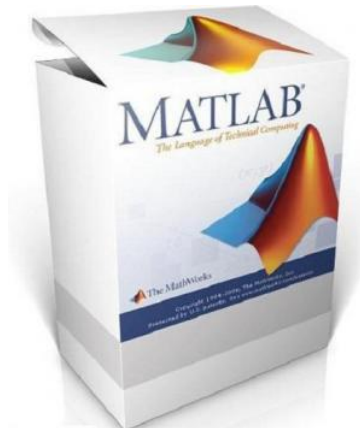
```
Record, Time="2010-03-24 10:04:14:68 GMT+0200", Phone Type=GSM, Network Type=GPRS,
Country=gr, Operator=20201
GSM, LAC=504, CID=23772, Signal= -83dBm
GSM, LAC=504, CID=23109, Signal= -75dBm
GSM, LAC=504, CID=50214, Signal= -87dBm
GSM, LAC=504, CID=21891, Signal= -81dBm
GSM, LAC=504, CID=23103, Signal= -79dBm
GSM, LAC=504, CID=20478, Signal= -89dBm
Network Location, Provider=N, Lat=38.390062, Lon=21.816698
Best Location, Provider=G, Lat=38.390017, Lon=21.816133
```

```
Record, Time="2010-03-24 10:04:17:243 GMT+0200", Phone Type=GSM, Network Type=GPRS,
Country=gr, Operator=20201
GSM, LAC=504, CID=23772, Signal= -79dBm
GSM, LAC=504, CID=23109, Signal= -75dBm
GSM, LAC=504, CID=50214, Signal= -87dBm
GSM, LAC=504, CID=21891, Signal= -83dBm
GSM, LAC=504, CID=23103, Signal= -77dBm
GSM, LAC=504, CID=20478, Signal= -89dBm
Network Location, Provider=N, Lat=38.390062, Lon=21.816698
Best Location, Provider=G, Lat=38.389964, Lon=21.816165
```

## 5.2. MATLAB

Το MATLAB (*matrix laboratory*) είναι ένα περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και μια προγραμματιστική γλώσσα τέταρτης γενιάς. Αποθηκεύει και κάνει τις πράξεις με βάση την άλγεβρα μητρών. Η τρέχουσα έκδοσή του είναι η R2012a

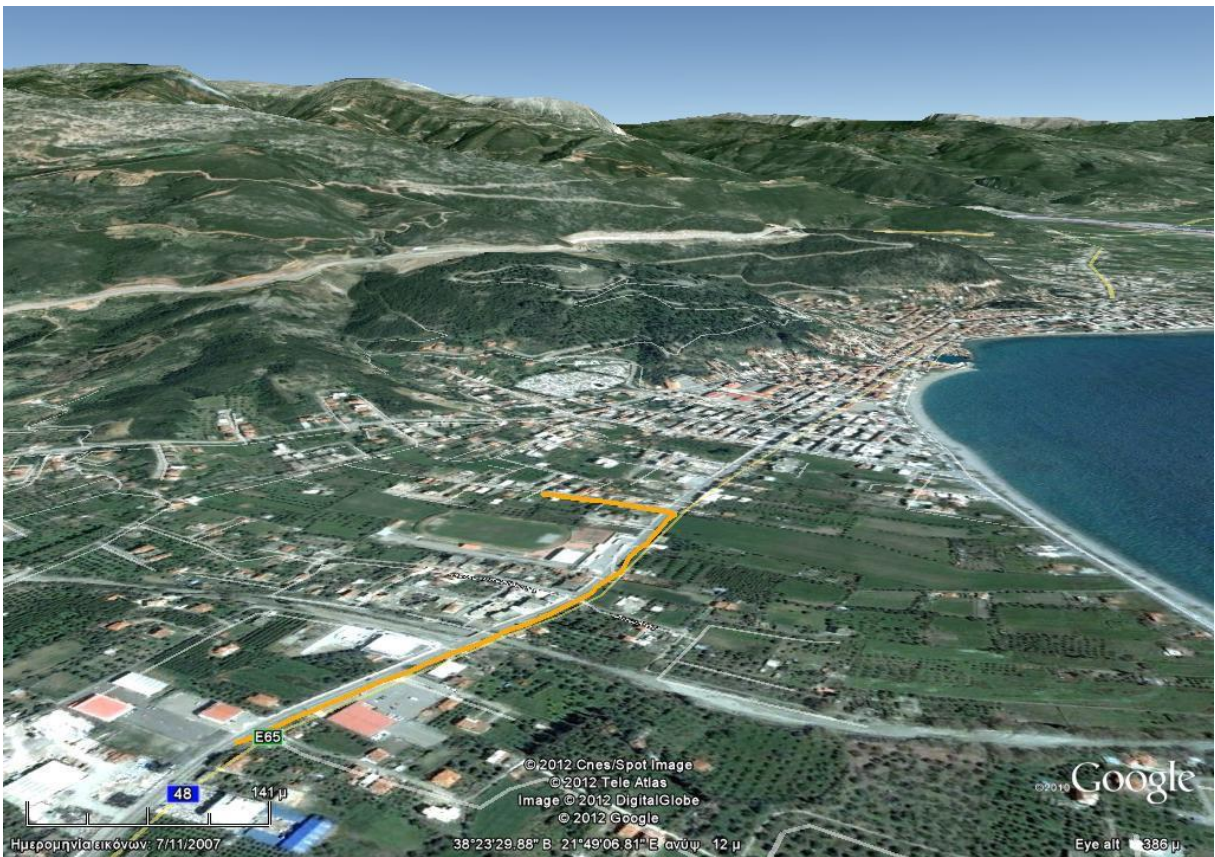
Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων, ωστόσο είναι πολύ "ισχυρό" και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για προγραμματισμό καθώς περιέχει εντολές από την C++ όπως την *while*, την *switch* και την *if*. Στον τομέα των γραφικών όσον αφορά τον μαθηματικό κλάδο μπορεί να υλοποιήσει συναρτήσεις πραγματικές, μιγαδικές, πεπλεγμένες συναρτήσεις δύο μεταβλητών και άλλες. Όσον αφορά τον στατιστικό κλάδο μπορεί να υλοποιήσει ιστογράμματα, τομεογράμματα, ραβδοδιαγράμματα, εμβοδογράμματα και άλλα.



## 6. Ημι-εμπειρικό Μοντέλο Ραδιοκάλυψης

### 6.1. Παρουσίαση μετρήσεων

Η μετρήσεις μας έγιναν στην ευρύτερη περιοχή της Ναυπάκτου. Στην *Εικόνα 6.1*, φαίνεται η διαδρομή που ακολουθήσαμε με πορτοκαλί χρώμα



*Εικόνα 6.1. Διαδρομή μετρήσεων*

Αφού εκτελέσαμε τη διαδρομή δύο φορές, με κάρτα SIM του παρόχου COSMOTE, συγκεντρώσαμε τα αρχεία καταγραφής από την εφαρμογή Antennas και τα εισάγαμε στο Microsoft Office Excel δημιουργώντας τον ακόλουθο *Πίνακα 6.2*.





Στον κατακόρυφο άξονα φαίνονται τα 72 σημεία στα οποία έχει διαιρεθεί η διαδρομή καθώς και το γεωγραφικό στίγμα τους. Στον οριζόντιο άξονα διακρίνονται οι κυψέλες που κατέγραψε η συσκευή μας κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Εσωτερικά του πίνακα εμφανίζεται η ισχύς λήψης των κυψελών, της πρώτης και της δεύτερης μέτρησης αντίστοιχα, συναρτήσει του σημείου καταγραφής. Όπου δεν έχουμε δεδομένα σημαίνει ότι η κυψέλη δεν ήταν ανάμεσα σε αυτές που άκουγε η συσκευή μας στα συγκεκριμένα σημεία. Πληροφοριακά αξίζει να σημειωθεί ότι οι τέσσερις πρώτοι αριθμοί του id αναφέρονται στην κεραία εκπομπής ενώ ο πέμπτος στον αριθμό της συγκεκριμένης κυψέλης. Στην *Εικόνα 6.3.* διακρίνονται αναλυτικά τα προηγούμενα.

*id κυψέλης*

id	Latitude	Longitude	Cells ID																					
			20091		20472		20478		21891		23102		23103		23107		23109		23771		23772		23778	
			1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η	1η	2η
1	38.390157	21.816025																						
2	38.390082	21.816090																						
3	38.390012	21.816165																						
4	38.389921	21.816202																						
5	38.389846	21.816283																						
6	38.389765	21.816337																						
7	38.389679	21.816406																						
8	38.389604	21.816487																						
9	38.389524	21.816540																						
10	38.389443	21.816605																						
...	...	...																						
67	38.387212	21.811332																						
68	38.387196	21.811203																						
69	38.387169	21.811085																						
70	38.387147	21.810967																						
71	38.387126	21.810854																						
72	38.387131	21.810731																						

*Λήψεις ισχύος σε dBm*

*Εικόνα 6.3. Ανάλυση πίνακα δεδομένων*

Επόμενο βήμα της εργασίας μας ήταν να υπολογίσουμε το Μέσο Όρο λήψης κάθε σημείου για να είμαστε πιο ακριβείς στα αποτελέσματά μας, παραμερίζοντας έτσι τυχαία φαινόμενα όπως ανακλάσεις, περιθλάσεις κλπ. Στον *Πίνακα 6.4.* φαίνεται αυτή η διεργασία.

id	Latitude	Longitude	Cells ID																
			20091	20472	20478	21891	23102	23103	23107	23109	23771	23772	23778	50024	50211	50214	50215	50894	52897
			M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.	M.O.
1	38.390157	21.816025	0	0	0	-86	0	-85	0	-74	0	-87	-79	0	-89	-86	-75	0	0
2	38.390082	21.816090	0	0	0	-85	0	-83	0	-76	0	-85	-81	0	0	-87	-79	0	0
3	38.390012	21.816165	0	0	-91	-83	0	-79	0	-77	0	-84	0	0	0	-87	-93	0	0
4	38.389921	21.816202	0	0	-91	-84	0	-75	0	-77	0	-81	0	0	0	-91	-89	0	0
5	38.389846	21.816283	0	-89	-87	-86	0	0	0	-69	0	-80	0	0	0	-83	-77	0	0
6	38.389765	21.816337	0	0	-99	-91	0	0	0	-73	0	-84	0	0	0	-87	-87	0	0
7	38.389679	21.816406	0	0	0	-91	0	-81	0	-77	0	-89	0	0	0	-99	-92	0	0
8	38.389604	21.816487	0	0	0	-89	-87	-71	-87	-65	0	-87	0	0	0	0	-89	0	0
9	38.389524	21.816540	0	0	0	-90	-89	0	-90	-73	0	-89	0	0	0	0	-91	0	0
10	38.389443	21.816605	0	0	0	-94	-95	0	-95	-71	0	-93	0	0	0	-95	-91	0	0
11	38.389341	21.816675	0	0	-95	-93	0	-83	-95	-73	0	-86	0	0	0	0	-90	0	0
12	38.389250	21.816723	0	0	-91	-89	0	-83	0	0	0	-83	0	0	0	0	-92	-93	0
13	38.389164	21.816776	0	-89	-90	-93	0	-84	0	0	0	-84	0	0	0	0	-89	-91	0
14	38.389084	21.816835	0	0	-91	0	-97	-84	0	-70	0	-86	0	0	0	0	0	0	-93
15	38.389009	21.816900	0	-91	-89	-93	-95	-85	0	-70	0	-85	0	0	0	0	0	0	-95
16	38.388928	21.816970	0	-89	0	0	-87	-77	-87	-65	0	-84	-75	0	0	0	0	0	0
17	38.388837	21.816970	0	0	-89	0	-90	-76	-87	0	0	-87	-74	0	0	0	0	-83	0
18	38.388805	21.816857	0	0	0	0	0	-79	-87	0	0	0	-82	0	-86	-87	-75	-85	0
19	38.388757	21.816744	0	0	-89	-91	0	-83	0	-67	0	0	0	0	-83	-80	0	0	0
20	38.388692	21.816637	0	0	-85	-87	0	-82	0	-68	0	-87	0	0	-84	-81	0	0	0
21	38.388639	21.816540	0	0	-83	-85	0	-78	0	-69	0	0	0	0	-85	-82	0	0	0
22	38.388590	21.816439	0	0	-86	-85	0	-81	0	-78	0	0	0	0	-85	-85	0	0	0
23	38.388531	21.816331	0	0	-86	-82	0	-83	0	-76	0	-81	0	0	-87	-84	0	0	0
24	38.388478	21.816219	0	0	-89	-82	0	-81	0	-71	0	-81	0	0	0	0	0	0	0
25	38.388424	21.816122	0	0	-87	-87	0	-81	0	-65	0	-81	-69	0	0	0	-89	0	0
26	38.388370	21.816025	0	0	-85	-89	0	-81	0	-72	0	-81	0	0	0	0	-87	0	0
27	38.388333	21.815913	0	0	-83	-87	0	-82	0	-72	0	-78	0	0	0	0	0	0	0
28	38.388290	21.815806	0	-93	-85	-89	0	-82	0	-70	-91	-76	0	0	0	0	0	0	0
29	38.388236	21.815709	0	0	-85	-89	-91	-79	0	-69	-93	-82	0	0	0	0	0	0	0
30	38.388188	21.815596	0	-93	-86	-87	-90	-79	0	-69	0	-85	-79	0	0	0	0	0	0
31	38.388124	21.815494	0	0	-91	0	-89	-77	0	-71	0	-80	-73	0	0	0	-89	0	0
32	38.388059	21.815409	0	0	-88	0	-87	-77	0	-69	0	-78	-70	0	0	0	-87	0	0
33	38.387995	21.815317	0	0	-87	-87	-87	-77	0	-67	0	-88	-77	0	0	0	-86	0	0
34	38.387936	21.815215	0	0	-87	0	-87	-75	0	-61	0	-82	-74	0	0	-85	-83	-87	0
35	38.387904	21.815103	0	0	-84	0	-87	-78	0	0	0	-83	-76	0	0	0	-81	-85	0
36	38.387866	21.814990	0	0	-84	0	0	-77	0	0	0	-85	-74	0	0	0	-84	-82	0
37	38.387834	21.814883	0	0	-87	0	0	-80	0	0	0	-91	-82	0	0	0	-87	-76	0
38	38.387786	21.814759	0	-93	-89	0	0	-84	0	0	0	-86	-83	0	0	0	-91	-81	0
39	38.387727	21.814658	0	0	-89	0	0	-81	0	-71	0	-88	-81	0	-91	-89	-87	-79	0
40	38.387684	21.814556	0	-91	-89	0	0	-82	0	-71	0	-93	-83	0	0	-91	-91	-81	0
41	38.387657	21.814432	0	-89	-85	0	0	-82	0	-75	0	-85	-75	0	0	0	-87	-85	-89
42	38.387630	21.814314	0	-90	-85	0	0	-82	0	-73	0	-87	0	0	0	-87	0	0	0
43	38.387598	21.814207	0	-89	-85	0	0	-83	0	-73	0	-87	-81	0	0	-87	0	0	-89
44	38.387571	21.814084	0	-89	-81	-91	0	-86	0	0	0	-95	-81	0	0	0	0	0	0
45	38.387544	21.813960	0	0	-85	-89	0	-87	0	0	0	-89	-83	0	0	0	-91	-87	0
46	38.387523	21.813848	0	-87	-86	-89	0	-84	0	0	0	0	-83	0	0	0	-95	-86	0
47	38.387501	21.813735	0	-90	-86	-88	0	-86	0	0	0	0	-83	0	0	0	0	-90	0
48	38.387485	21.813611	0	-90	-84	-91	0	-84	0	0	0	-87	-89	0	0	0	0	-88	0
49	38.387480	21.813493	0	-91	-86	-84	0	-87	0	0	0	-77	-77	0	0	0	0	0	0
50	38.387464	21.813381	0	0	-84	-87	0	-86	0	-74	0	-77	-71	0	0	0	0	0	0
51	38.387437	21.813268	0	-92	-88	-89	0	-84	0	-75	0	-81	-75	0	0	0	0	0	0
52	38.387421	21.813145	0	-92	-89	-89	0	-84	0	-76	0	-78	0	0	0	0	0	0	0
53	38.387410	21.813027	0	-91	-89	-89	0	-89	0	-75	0	-84	0	0	0	0	0	0	0
54	38.387405	21.812898	-91	0	-88	-86	0	-85	0	-76	-93	-79	0	0	0	0	0	0	0
55	38.387405	21.812764	-87	0	-89	-86	0	-81	0	-71	0	-81	0	0	0	0	0	0	0
56	38.387383	21.812641	-90	0	-89	-84	0	-83	0	-71	0	-85	0	0	0	-87	0	0	0
57	38.387367	21.812528	-89	0	-87	-83	0	-82	0	0	0	-84	-75	0	0	-89	0	-87	0
58	38.387346	21.812404	0	0	-87	-86	0	-82	0	0	0	-81	-75	0	0	0	-87	0	0
59	38.387330	21.812281	0	0	-91	-87	0	-82	0	-75	0	-84	0	-89	0	0	0	0	0
60	38.387319	21.812163	0	-87	-88	-87	0	-87	0	-76	0	-87	0	-89	0	0	0	0	0
61	38.387314	21.812034	0	0	-87	-88	0	-81	0	-73	0	-86	0	-91	0	0	0	0	0
62	38.387297	21.811922	0	-95	-85	-84	-91	-82	0	-73	0	-84	0	0	0	-91	0	0	0
63	38.387276	21.811804	0	-90	-87	-90	0	-81	0	-73	0	-83	0	0	0	0	0	0	0
64	38.387260	21.811686	0	-90	-85	-87	0	-83	0	-75	0	-81	0	0	0	0	0	0	0
65	38.387244	21.811562	0	-90	-84	0	0	-80	0	-73	0	-81	0	0	0	0	0	0	0
66	38.387228	21.811450	-91	-91	-84	-87	0	-79	0	-73	0	-78	0	-87	0	0	0	0	0
67	38.387212	21.811332	0	0	-90	-89	-92	-79	0	-71	0	-77	0	-89	0	0	0	0	0
68	38.387196	21.811203	0	0	-91	0	0	-83	0	-70	0	-85	-79	-87	0	0	-81	0	0
69	38.387169	21.811085	0	0	0	0	0	-81	0	-69	0	-85	-79	0	0	-87	-81	-87	0
70	38.387147	21.810967	0	0	-89	-89	0	-85	0	-79	0	-83	-75	0	0	-88	-83	0	0
71	38.387126	21.810854	0	-93	-92	-88	0	-81	0	-73	0	-88	-81	0	0	0	-87	0	0
72	38.387131	21.810731	0	0	-87	-89	-91	-75	0	-67	0	-84	-81	0	0	-87	0	0	0

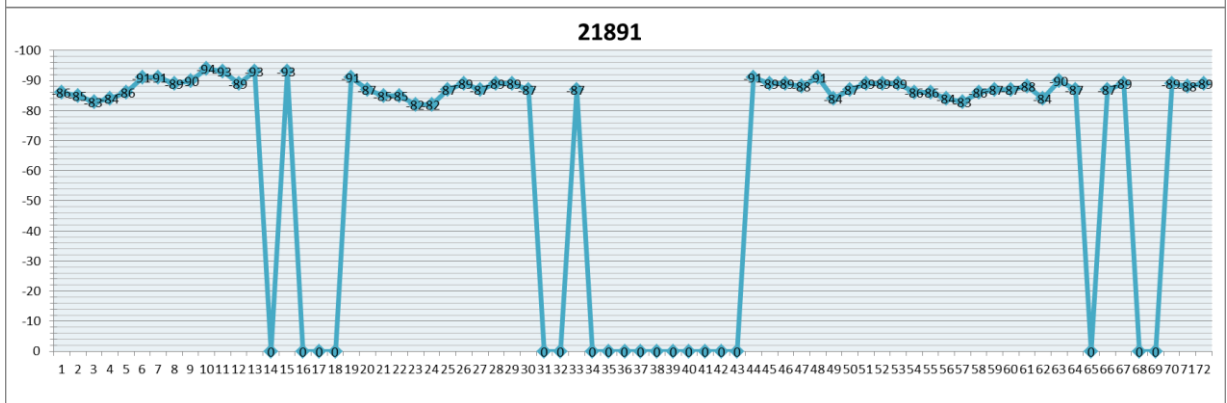
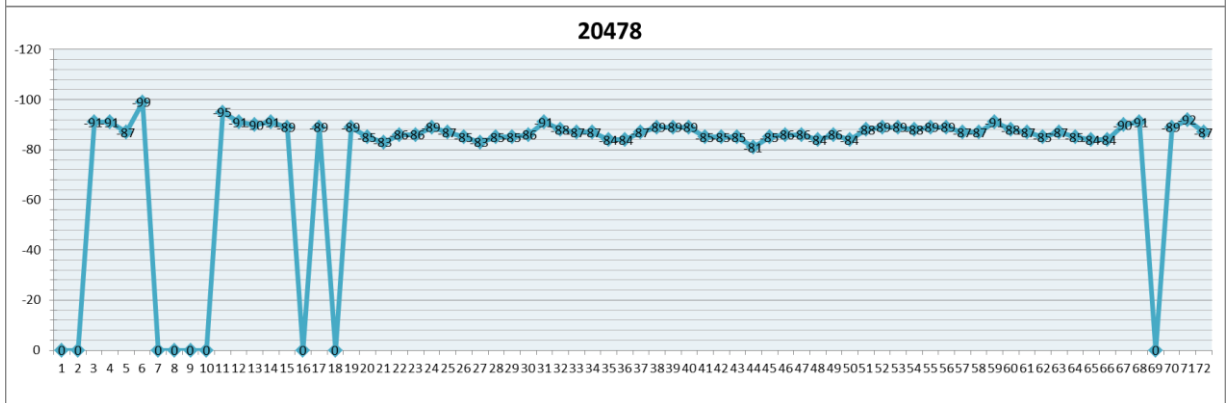
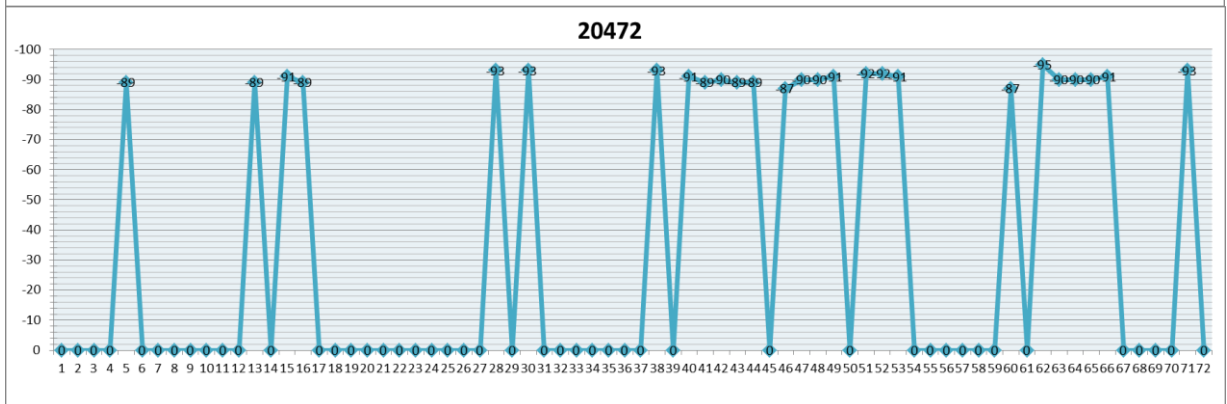
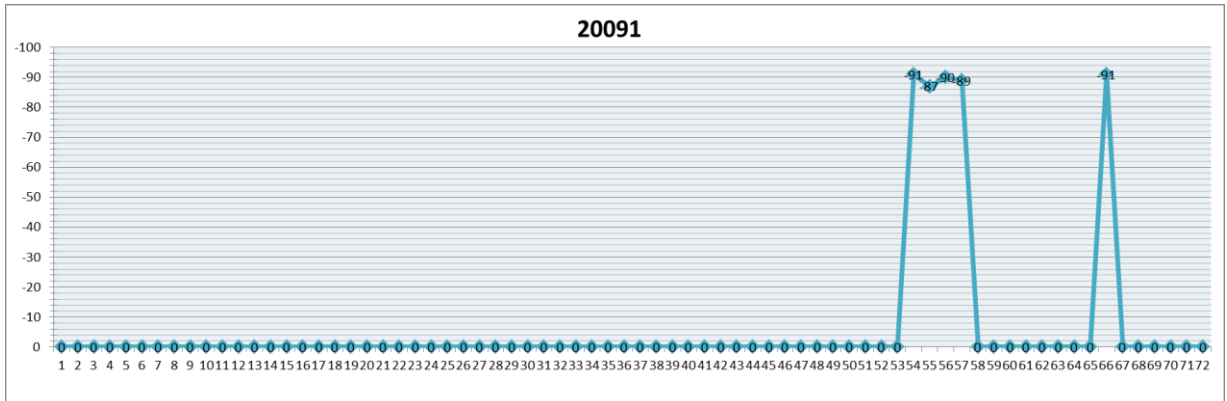
Πίνακας 6.4. Υπολογισμός Μ.Ο. των μετρήσεων

Κεφάκης Ισιδωρος

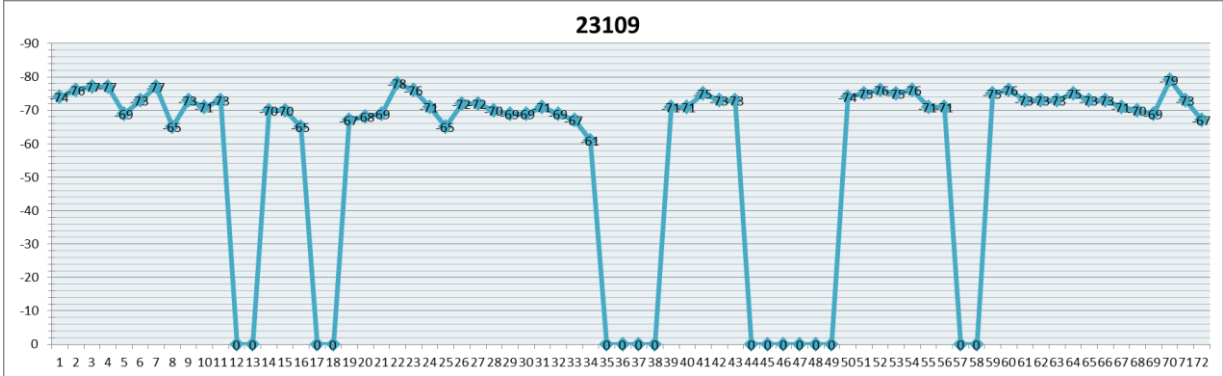
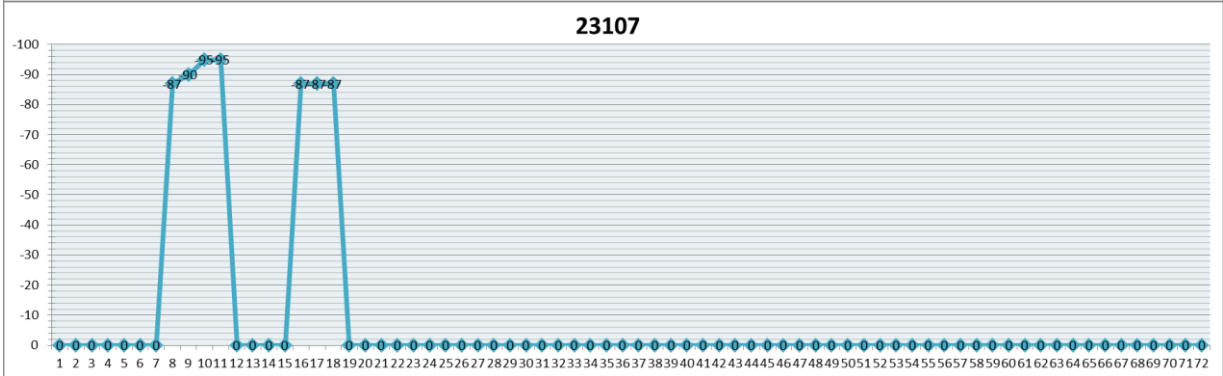
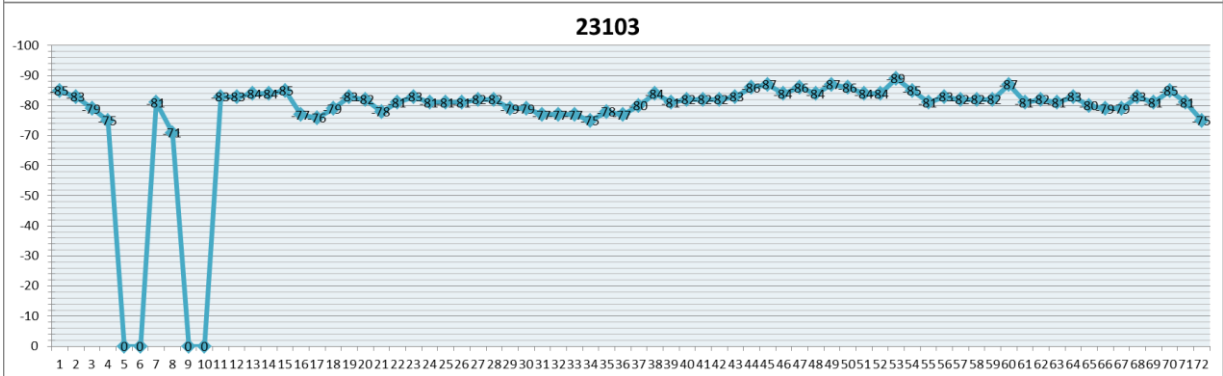
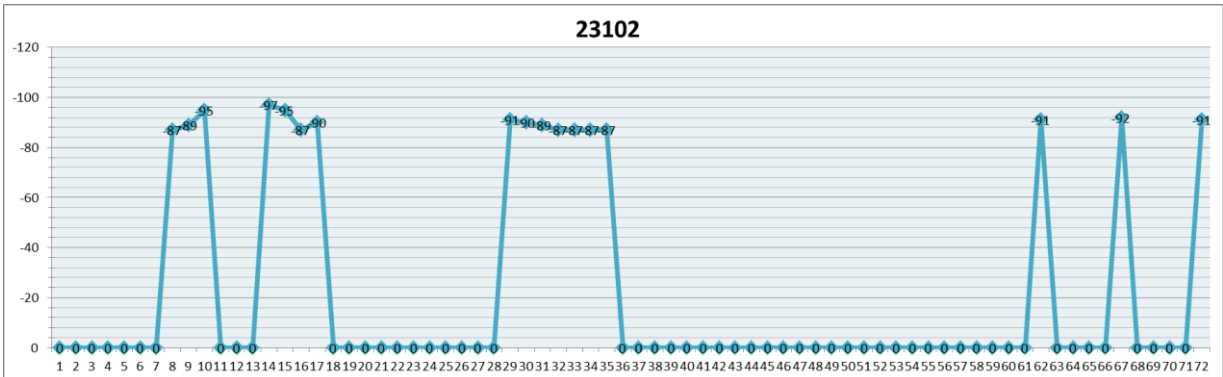
Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων

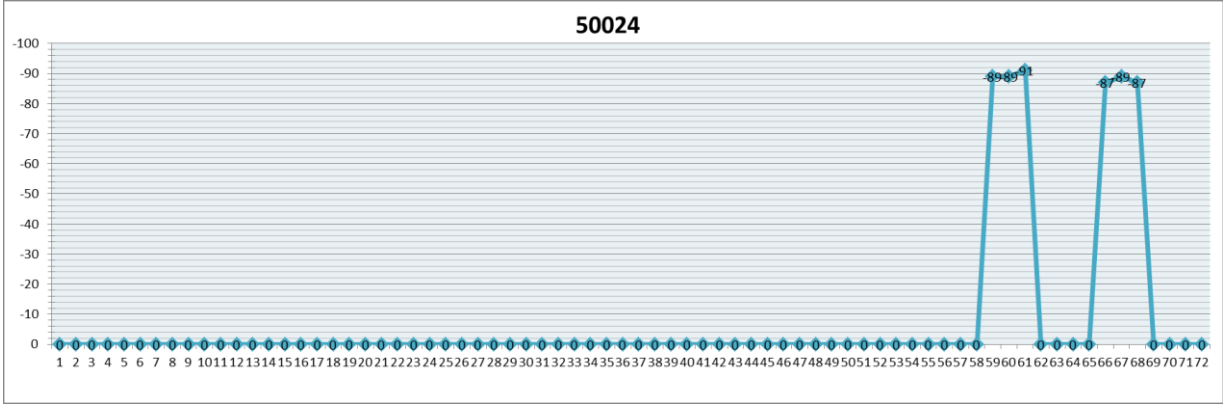
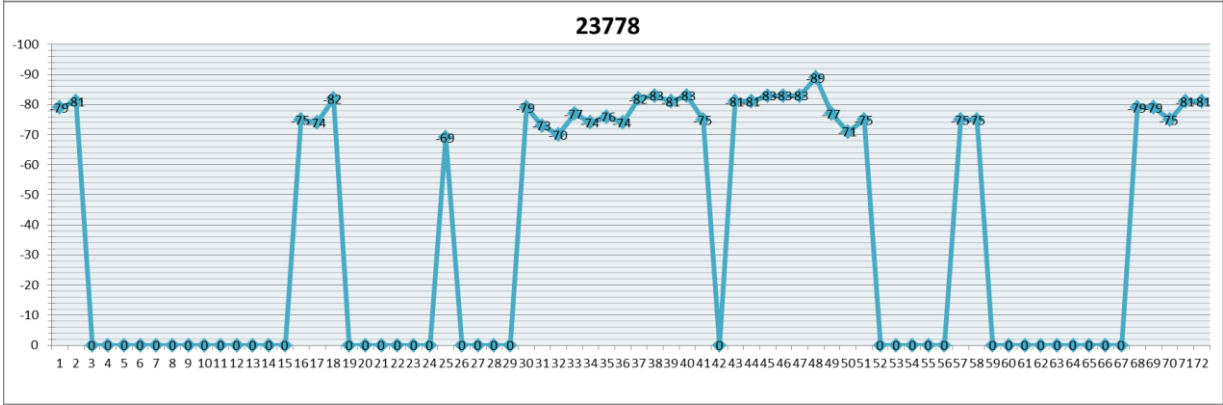
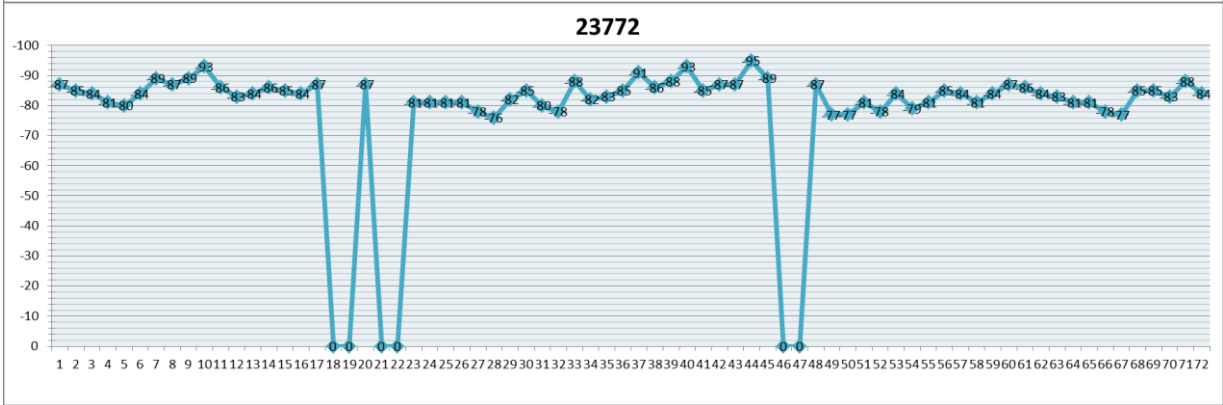
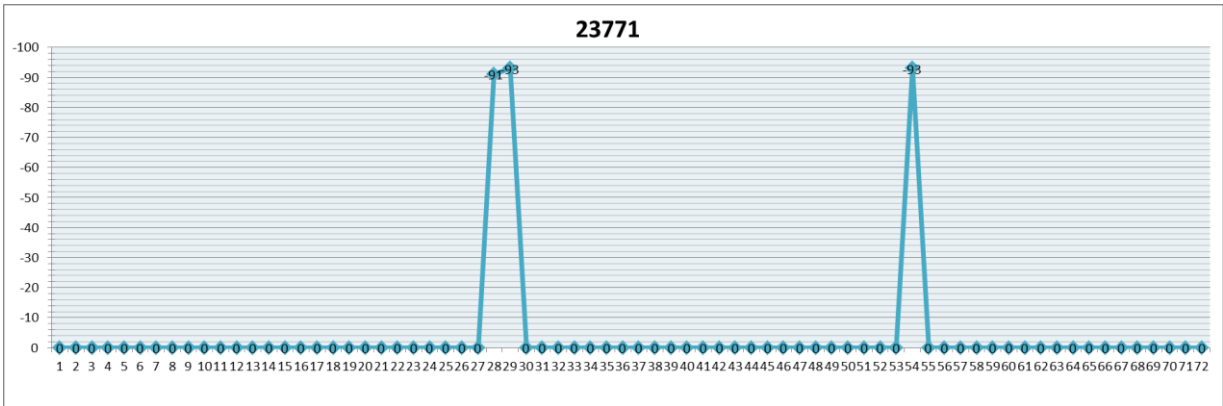
Τ.Ε.Ι. Μεσολογίου

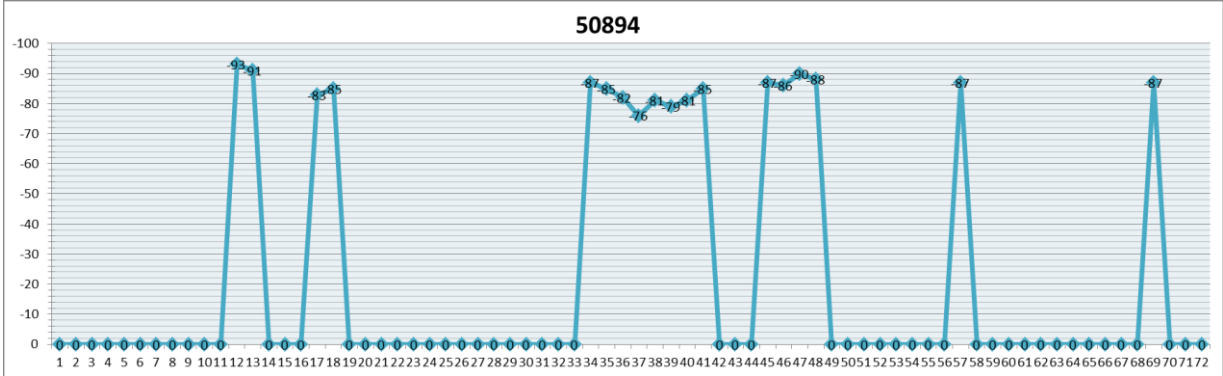
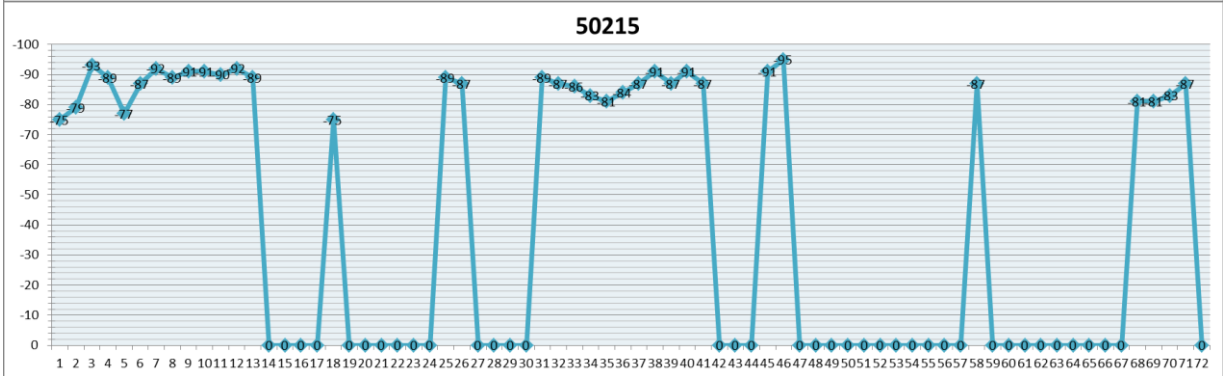
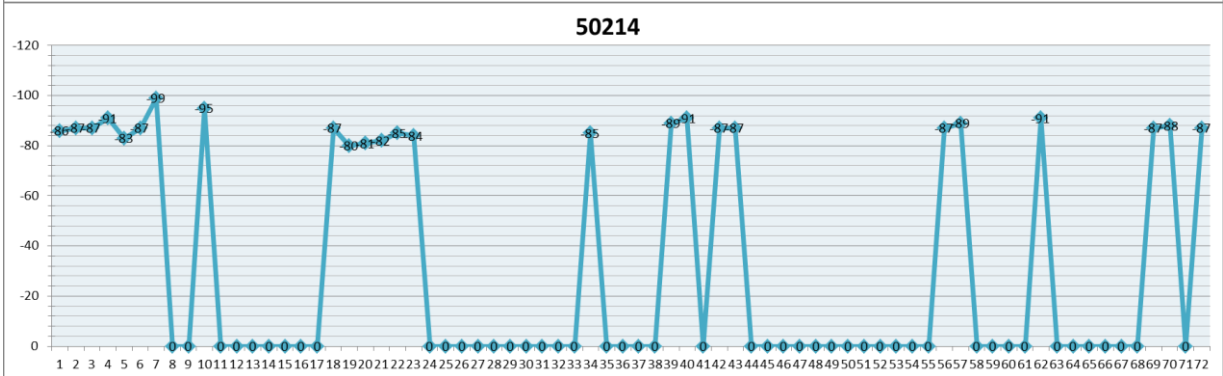
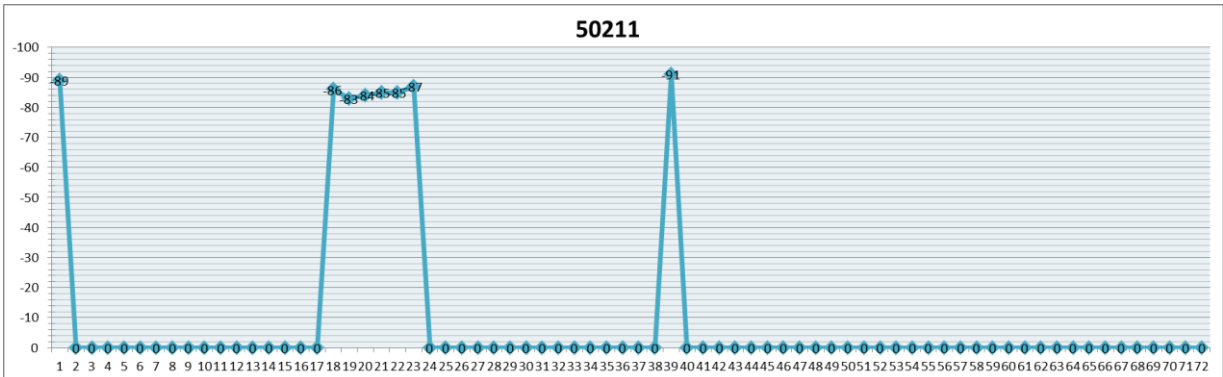
Παρακάτω εμφανίζονται οι μετρήσεις ισχύος λήψης για κάθε κυβέλι (κατακόρυφος άξονας) συναρτήσει του σημείου καταγραφής (οριζόντιος άξονας) αποτυπωμένες σε γραφήματα.

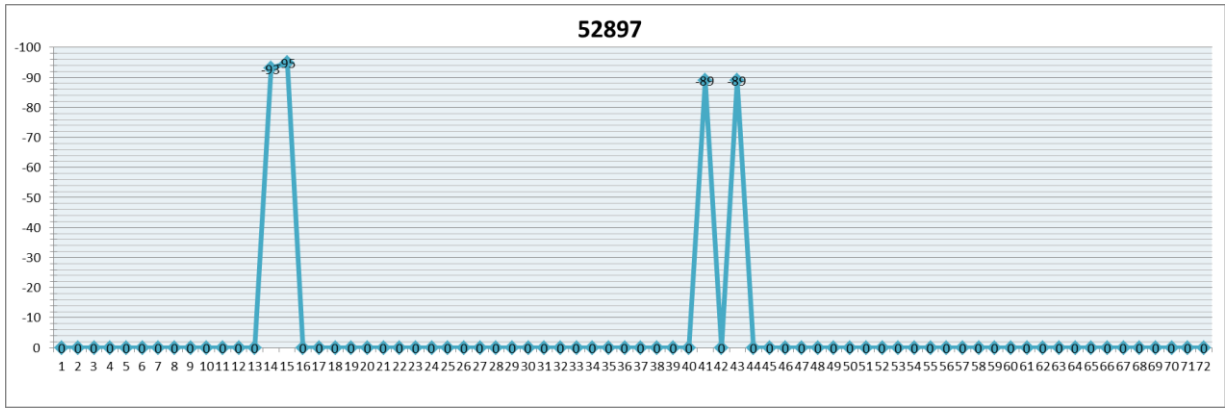












Παρατηρούμε ότι για την κυψέλη με **Cell ID: 23103**, μόνο για τέσσερα σημεία δεν υπάρχουν δεδομένα από τη συσκευή μας, ενώ για τις υπόλοιπες κυψέλες έχουμε μεγαλύτερη έλλειψη. Για το λόγο αυτό αποφασίσαμε να μελετήσουμε και να βασίσουμε την εργασία μας με βάση τη συγκεκριμένη κυψέλη.

## 6.2. Διαδικασία εξαγωγής μοντέλου

Θα χρησιμοποιήσουμε τον γενικό τύπο του Friis, όπου η δύναμις (εκθέτης) της απόστασης δίδεται από την σταθερά  $k$ , ήτοι:

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad \text{απλός τύπος} \quad (6.1)$$

$$L_{FS} = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot d^k \quad \text{γενικευμένος τύπος} \quad (6.2)$$

Σε λογαριθμική κλίμακα ισχύει:

$$10\log_{10} L_{FS} = 10\log_{10} \left[ \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot d^k \right] = 10\log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 + 10\log_{10} d^k \Rightarrow$$

$$L_{FS} [\text{dB}] = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) + 10k \cdot \log_{10} d \Rightarrow$$

$$L_{FS} [\text{dB}] = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 10k \cdot \log_{10} d \quad (6.3)$$

Ο γενικευμένος τύπος έχει και μία ποσότητα  $L_0$  η οποία δίνει τον πλέον γενικευμένο τύπο ως ακολούθως:

$$L_{FS} = L_0 \cdot \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 \cdot d^k \quad \text{πλέον γενικευμένος τύπος} \quad (6.4)$$

Και σε dB ισχύει:

$$10 \cdot \log_{10} L_{FS} = 10 \cdot \log_{10} \left[ L_0 \cdot \left(\frac{4\pi f}{c}\right)^2 \cdot d^k \right] \Rightarrow$$

$$L_{FS} [\text{dB}] = 10 \cdot \log_{10} L_0 + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right) + 10k \cdot \log_{10} d \Rightarrow$$

$$L_{FS} [\text{dB}] = L_0 [\text{dB}] + 10k \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right)$$

Αν χρησιμοποιήσουμε έννοιες στατιστικής ανάλυσης, προκύπτει ότι:

$$L_{FS} [\text{dB}] = \underbrace{L_0 [\text{dB}]}_{\mathbf{a}} + \underbrace{10k}_{\mathbf{b}} \cdot \underbrace{\log_{10} d}_{\mathbf{x}} + \underbrace{20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right)}_{\mathbf{c}} \quad (6.5)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{c}$$

όπου:  $y : L_{FS} [\text{dB}]$

$a : L_0 [\text{dB}]$

$b : 10k$

$x : \log_{10} d$

$c : \text{σταθερά η οποία ισούται με } 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi f}{c}\right) \text{ και η οποία αλλάζει βάσει συχνότητας (δηλ GSM 900, GSM 1800, WCDMA 2GHz κλπ).}$

Μένει να βρούμε πώς υπολογίζουμε αυτές τις ποσότητες.

Κατ' αρχάς πρέπει να υπολογίσουμε τον τύπο του Friis για το ολικό Link Budget

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{L_{FS}} \quad [\text{Watt}] \Rightarrow \quad \text{σε dBm έχουμε}$$

$$10 \cdot \log_{10} P_R = 10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{L_{FS}} \right] \Rightarrow$$

$$P_R [\text{dBm}] = 10 \cdot \log_{10} P_T + 10 \cdot \log_{10} G_T + 10 \cdot \log_{10} G_R - 10 \cdot \log_{10} L_{FS} \Rightarrow$$

$$P_R [\text{dBm}] = P_T [\text{dBm}] + G_T [\text{dB}] + G_R [\text{dB}] - L_{FS} [\text{dB}] \Rightarrow$$

$$\boxed{L_{FS} [\text{dB}] = P_T [\text{dBm}] + G_T [\text{dB}] + G_R [\text{dB}] - P_R [\text{dBm}]} \quad (6.6)$$

Επομένως με το φορητό τηλέφωνο εκτελέσαμε μετρήσεις ισχύος λήψης (δηλαδή την ποσότητα  $P_R$  [dBm]).

Εάν πάρουμε από COSMOTE τις παραμέτρους που αφορούν τον σταθμό βάσης με **Cell ID: 23103**, δηλαδή

$$P_T [\text{dBm}] = 40 \text{ dBm}$$

$$G_T [\text{dBi}] = 10 \text{ dBi}$$

$$G_R [\text{dBi}] = 0 \text{ dBi}$$

θα έχουμε εν τέλει:

$$L_{FS} [\text{dB}] = 40 \text{ dBm} + 10 \text{ dBi} + 0 \text{ dBi} - P_R [\text{dBm}] \Rightarrow$$

$$L_{FS} [\text{dB}] = 50 \text{ dBm} - P_R [\text{dBm}] \quad (6.7)$$

Επομένως στο Excel μετατρέπουμε τις μετρήσεις ισχύος λήψης  $P_R$  [dBm] σε αντίστοιχα  $L_{FS}$  [dB]

Έπειτα χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο «Χάρακας» του προγράμματος Google Earth για να μετρήσουμε για κάθε σημείο καταγραφής την απόστασή του ( $d$ ) σε μέτρα από το Σταθμό Βάσης. Επίσης, επειδή στον τύπο (6.5) το  $d$  είναι εκφρασμένο σε λογαριθμική κλίμακα, αντιπαραβάλλουμε σε νέα στήλη την αντίστοιχη ποσότητα  $\log_{10} d$ .

Τα αποτελέσματα των μετατροπών φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 6.5.

id	Latitude	Longitude	M.O. (P <sub>R</sub> )	L <sub>FS</sub> (50dBm-P <sub>R</sub> )	Distance (meters)	Distance (dB)
1	38.390157	21.816025	-85	135	2007,74	33,02707
2	38.390082	21.816090	-83	133	2006,86	33,02517
3	38.390012	21.816165	-79	129	2005,28	33,02175
4	38.389921	21.816202	-75	125	2007,9	33,02742
5	38.389679	21.816406	-81	131	2006,79	33,02502
6	38.389604	21.816487	-71	121	2005,42	33,02205
7	38.389341	21.816675	-83	133	2007,61	33,02679
8	38.389250	21.816723	-83	133	2009,44	33,03075
9	38.389164	21.816776	-84	134	2011,1	33,03434
10	38.389084	21.816835	-84	134	2011,85	33,03596
11	38.389009	21.816900	-85	135	2011,97	33,03622
12	38.388928	21.816970	-77	127	2012,02	33,03632
13	38.388837	21.816970	-76	126	2017,84	33,04887
14	38.388805	21.816857	-79	129	2028,01	33,0707
15	38.388757	21.816744	-83	133	2039,15	33,09449
16	38.388692	21.816637	-82	132	2050,95	33,11955
17	38.388639	21.816540	-78	128	2061,23	33,14126
18	38.388590	21.816439	-81	131	2071,44	33,16272
19	38.388531	21.816331	-83	133	2083,01	33,18691
20	38.388478	21.816219	-81	131	2094,53	33,21087
21	38.388424	21.816122	-81	131	2104,83	33,23217
22	38.388370	21.816025	-81	131	2115,17	33,25345
23	38.388333	21.815913	-82	132	2125,7	33,27502
24	38.388290	21.815806	-82	132	2136,07	33,29615
25	38.388236	21.815709	-79	129	2146,37	33,31705
26	38.388188	21.815596	-79	129	2157,56	33,33963
27	38.388124	21.815494	-77	127	2168,85	33,3623
28	38.388059	21.815409	-77	127	2179,16	33,38289
29	38.387995	21.815317	-77	127	2189,62	33,40369
30	38.387936	21.815215	-75	125	2200,85	33,4259
31	38.387904	21.815103	-78	128	2210,69	33,44528
32	38.387866	21.814990	-77	127	2221,36	33,46619
33	38.387834	21.814883	-80	130	2231,18	33,48535
34	38.387786	21.814759	-84	134	2242,99	33,50827
35	38.387727	21.814658	-81	131	2254,09	33,52971
36	38.387684	21.814556	-82	132	2264,66	33,55003
37	38.387657	21.814432	-82	132	2275,25	33,57029
38	38.387630	21.814314	-82	132	2285,46	33,58974
39	38.387598	21.814207	-83	133	2295,28	33,60836
40	38.387571	21.814084	-86	136	2305,92	33,62844
41	38.387544	21.813960	-87	137	2316,47	33,64827
42	38.387523	21.813848	-84	134	2325,66	33,66546

47	38.387501	21.813735	-86	136	2335,32	33,68346
48	38.387485	21.813611	-84	134	2345,21	33,70182
49	38.387480	21.813493	-87	137	2353,85	33,71779
50	38.387464	21.813381	-86	136	2363,22	33,73504
51	38.387437	21.813268	-84	134	2373,02	33,75301
52	38.387421	21.813145	-84	134	2382,94	33,77113
53	38.387410	21.813027	-89	139	2392,35	33,78825
54	38.387405	21.812898	-85	135	2401,83	33,80542
55	38.387405	21.812764	-81	131	2411,76	33,82334
56	38.387383	21.812641	-83	133	2422,01	33,84176
57	38.387367	21.812528	-82	132	2431,14	33,8581
58	38.387346	21.812404	-82	132	2441,62	33,87678
59	38.387330	21.812281	-82	132	2451,63	33,89455
60	38.387319	21.812163	-87	137	2461	33,91112
61	38.387314	21.812034	-81	131	2470,6	33,92802
62	38.387297	21.811922	-82	132	2479,78	33,94413
63	38.387276	21.811804	-81	131	2489,86	33,96175
64	38.387260	21.811686	-83	133	2499,48	33,9785
65	38.387244	21.811562	-80	130	2509,53	33,99592
66	38.387228	21.811450	-79	129	2519	34,01228
67	38.387212	21.811332	-79	129	2528,46	34,02856
68	38.387196	21.811203	-83	133	2538,98	34,04659
69	38.387169	21.811085	-81	131	2549,29	34,06419
70	38.387147	21.810967	-85	135	2559,47	34,0815
71	38.387126	21.810854	-81	131	2568,89	34,09746
72	38.387131	21.810731	-75	125	2577,7	34,11232

Πίνακας 6.5. Μετατροπή  $P_R [dBm]$  σε αντίστοιχα  $L_{FS} [dB]$

### Υπολογισμός του εκθέτη απωλειών

Στην παρούσα εργασία για την εξαγωγή του εκθέτη απωλειών χρησιμοποιήθηκε μία γραμμική εμπειρική σχέση μεταβλητών χωρίς σταθερούς όρους, η οποία ουσιαστικά προσεγγίζει μία ευθεία γραμμή της μορφής:

$$y = a + bx$$

στα διάφορα ζευγάρια δεδομένων  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει:

$$y_i = a + bx_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$



Η διαδικασία υπολογίζει τον εμπειρικό συντελεστή  $b$  και την εμπειρική σταθερά  $a$ , καθώς και πλήθος άλλων στατιστικών παραμέτρων ελαχιστοποιώντας τον όρο:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2$$

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις λαμβάνονται σε μορφή ζεύγους όπου  $x$  είναι μία ανεξάρτητη μεταβλητή και η  $y$  μία εξαρτημένη. Επομένως, για την εφαρμογή στον υπολογισμό του εκθέτη απωλειών, η μεταβλητή  $x$  αντιστοιχεί στην απόσταση διαχωρισμού του σταθμού βάσης με τον κινούμενο χρήστη και η μεταβλητή  $y$  με τις εμφανιζόμενες απώλειες μετάδοσης.

Οι στατιστικές ποσότητες που υπολογίζονται είναι:

1. Συντελεστής συσχέτισης  $r$  του στιγμιαίου αποτελέσματος του Pearson από τη σχέση:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.8)$$

2. Ο εμπειρικός συντελεστής  $b$ , και η εμπειρική σταθερά  $a$ , οι οποίοι υπολογίζονται από τη σχέση:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (6.9)$$

3. Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων  $SSD$ , κατά την τεχνική προσέγγισης, το οποίο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SSD = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \quad (6.10)$$

4. Ο βαθμός ελευθερίας της απόκλισης  $DFD$ , δηλαδή:

$$DFD = n - 2 \quad (6.11)$$

5. Η μέση τιμή των τετραγώνων της απόκλισης MSD κατά την προσέγγιση:

$$MSD = \frac{SSD}{DFD}$$

6. Το τυπικό λάθος του εμπειρικού συντελεστή  $se(b)$  και το αντίστοιχο της εμπειρικής σταθεράς  $se(a)$ :

$$se(b) = \sqrt{\frac{MSD}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$$

(6.12)

$$se(a) = \sqrt{MSD \left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)}$$

(6.13)

Για να υπολογίσουμε τις παραπάνω στατιστικές ποσότητες, δημιουργήσαμε το αρχείο *Metrhseis\_RSSI\_Lfs\_dB.m* το οποίο εκτελείται στο προγραμματιστικό περιβάλλον του MATLAB.

Παρακάτω φαίνεται ο κώδικάς μας

```
table_x=[33.02707471 33.02517077 33.02175022 33.02742080 33.02501928
33.02205342 33.02679350 33.03075043 33.03433666 33.03595597 33.03621501
33.03632293 33.04886727 33.07070092 33.09449174 33.11955073 33.14126455
33.16272358 33.18691355 33.21086585 33.23217025 33.25345278 33.27501973
33.29615481 33.31704590 33.33962882 33.36229517 33.38289119 33.40368751
33.42590444 33.44527847 33.46618947 33.48534608 33.50827337 33.52971252
33.55003009 33.57029123 33.58973625 33.60835672 33.62844236 33.64826680
33.66546223 33.68346399 33.70181737 33.71778784 33.73504153 33.75301399
33.77113107 33.78824717 33.80542265 33.82334088 33.84175932 33.85809969
33.87678074 33.89454927 33.91111614 33.92802437 33.94413153 33.96174928
33.97849666 33.99592392 34.01228167 34.02856088 34.04659280 34.06419242
34.08150043 34.09745508 34.11232372];
table_y=[135 133 129 125 131 121 133 133 134 134 135 127 126 129 133 132 128 131
133 131 131 131 132 132 129 129 127 127 127 125 128 127 130 134 131 132 132 132
133 136 137 134 136 134 137 136 134 134 139 135 131 133 132 132 132 137 131 132
131 133 130 129 129 133 131 135 131 125];
%%%%%%%%%%
sum_x=sum(table_x);
```

Γέμισμα του πίνακα  $x$  με τις αποστάσεις φορητής συσκευής – Σταθμού βάσης εκφρασμένες σε dB

Γέμισμα πίνακα  $y$  με τα  $L_{fs}$

```

sum_y=sum(table_y);
avg_x=mean(table_x);
avg_y=mean(table_y);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
r_panw = 0;
S_xi_avgx_2 = 0;
S_yi_avgy_2 = 0;
SSD = 0;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for i=1:length(table_x)
    r_panw = r_panw + ((table_x(i)-avg_x)*(table_y(i)-avg_y));

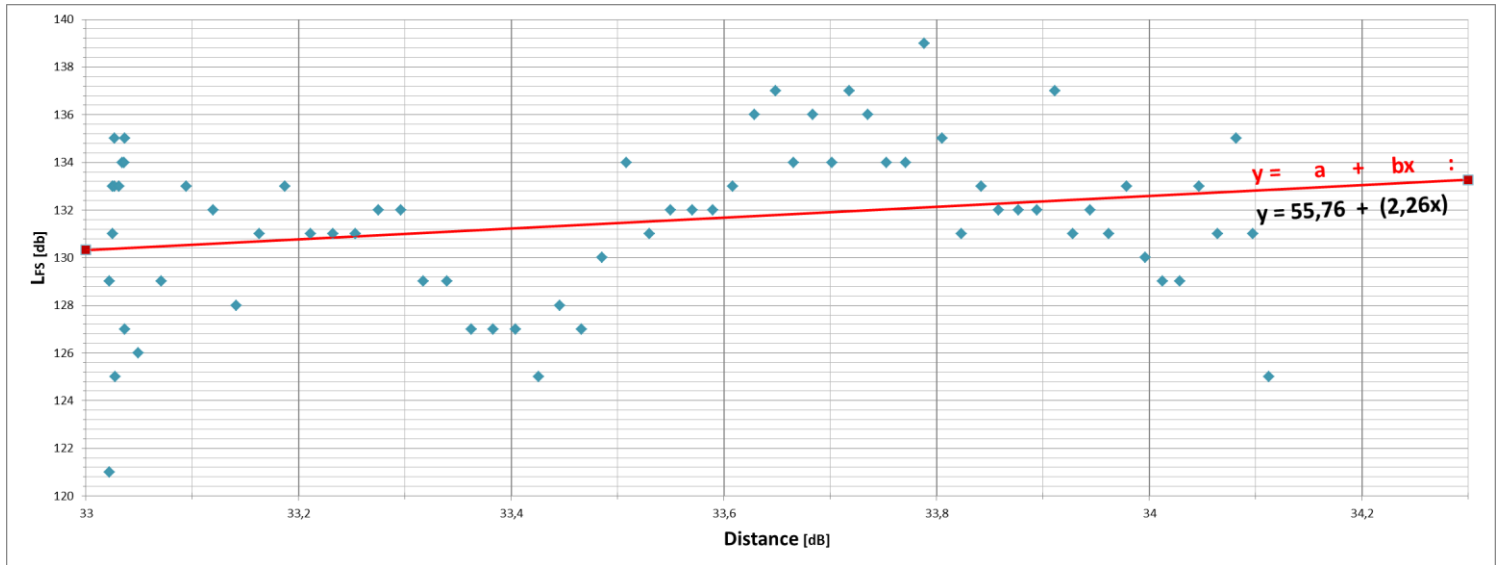
    S_xi_avgx_2 = S_xi_avgx_2 + ((table_x(i)-avg_x)^2);
    S_yi_avgy_2 = S_yi_avgy_2 + ((table_y(i)-avg_y)^2);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
r_katw = sqrt(S_xi_avgx_2*S_yi_avgy_2);
r = r_panw/r_katw;
b = r_panw/S_xi_avgx_2;
a = avg_y-(b*avg_x);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
for j=1:length(table_x)
    SSD = SSD + ((table_y(j)-a-(b*table_x(j)))^2);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DFD = length(table_x)-2;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
MSD = SSD/DFD;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
se_b = sqrt(MSD/S_xi_avgx_2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
se_a = sqrt(MSD*(1/length(table_x)+(avg_x^2)/S_xi_avgx_2));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fprintf('\nsum_x:%f\n',sum_x);
fprintf('\nsum_y:%f\n',sum_y);
fprintf('\navg_x:%f\n',avg_x);
fprintf('\navg_y:%f\n',avg_y);
fprintf('\nS_xi_avgx_2:%f\n',S_xi_avgx_2);
fprintf('\nS_yi_avgy_2:%f\n',S_yi_avgy_2);
fprintf('\nr_panw:%f\n',r_panw);
fprintf('\nr_katw:%f\n',r_katw);
fprintf('\nr:%f\n',r);
fprintf('\nb:%f\n',b);
fprintf('\na:%f\n',a);
fprintf('\nGia x=0:%f\tGia y=0:%f\n',a,-a/b);
fprintf('\nSSD:%f\n',SSD);
fprintf('\nDFD:%f\n',DFD);
fprintf('\nMSD:%f\n',MSD);
fprintf('\nse_b:%f\n',se_b);
fprintf('\nse_a:%f\n',se_a);

```

Υπολογισμός

Εκτύπωση  
Αποτελεσμάτων

Από την εκτέλεση του προγράμματος παίρνουμε τις στατιστικές τιμές που χρειαζόμαστε και πλέον μπορούμε να σχεδιάσουμε την ευθεία  $y = a + bx$



Εικόνα 6.6. Η ευθεία  $y=a+bx$  [ $L_{FS}[dB]=f(\log_{10}d)$ ] εστιασμένη στο διάστημα 33-34,3 dB

$$a = L_0 [dB] = 55,759972$$

$$b = 2,259683$$

$$b = 10k \Rightarrow k = \frac{b}{10} = \frac{2,259683}{10} \Rightarrow k = 0,2259683$$

$$r = 0,243109$$

$$SSD = 716,009572$$

$$DFD = 66$$

$$MSD = 10,84863$$

$$se(b) = 1,109803$$

$$se(a) = 37,193286$$

Επομένως, όπως περιμέναμε, παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η απόσταση της κινητής μονάδας από τον Σταθμό Βάσης, αυξάνονται και οι απώλειες της ζεύξης.

Καταλήγουμε λοιπόν στο μοντέλο μας το οποίο διατυπώνεται ως εξής:

**Η απόσβεση (Path Loss  $L_{FS}$ ) δίδεται από τον τύπο**

$$L_{FS} [dB] = a + b \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right) \Rightarrow$$

$$L_{FS} [dB] = 55,76 + 2,26 \cdot \log_{10} d + 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right)$$

**και ονομάζεται «ΚΕΦΑΚΕΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟ»**

**Η εκτίμηση της ισχύος λήψης σε [dBm] είναι:**

$$P_R [dBm] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - L_{FS} [dB] \Rightarrow$$

$$P_R [dBm] = 50 \text{ dBm} - a - b \cdot \log_{10} d - 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right) \Rightarrow$$

$$P_R [dBm] = 50 \text{ dBm} - 55,76 - 2,26 \cdot \log_{10} d - 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4\pi f}{c} \right)$$

Οπότε απομένει να μας δώσει κάποιος την συχνότητα του δικτύου.

**Σε Watt θα ισχύει:**

$$P_R [W] = \frac{P_T \cdot G_T \cdot G_R}{L_0 \left( \frac{4\pi f}{c} \right)^k d^k}$$

Με παραμέτρους το  $k$  και το  $L_0$



## Βιβλιογραφία

- [1] Το Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM, Λούβρος Σπυρίδων - Κούγιας Ιωάννης, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα 2010
- [2] ETSI, GSM Specification Series 01.02–1.06, “GSM Overview, Glossary, Abbreviations, Service Phases.”
- [3] ETSI, GSM Specification Series 02.01–2.88, “GSM Services and Features.”
- [4] ETSI, GSM Specification Series 03.01–3.88, “GSM Functions, Architecture, Numbering and Addressing Procedures.”
- [5] ETSI, GSM Specification Series 04.01–4.88, “MS-BSS Interface.”
- [6] ETSI, GSM Specification Series 06.01–6.32, “Radio Link.”
- [7] <http://www.3gpp.org/>
- [8] <http://www.itu.int/>
- [9] Ascom, TEMS for Wireless Network Testing and Measurement, <http://www.ascom.com/en/index/group/divisions/network-testing-home.htm>
- [10] Anite, Nemo Network Testing Solutions, <http://www.anite.com/anite/en/solutions/nemotesting/>
- [11] SwissQual, Network Benchmarking, Optimization and Service Monitoring, <http://www.swissqual.com/index.php/systems>
- [12] Google Earth, <http://www.google.com/earth>
- [13] Android Antennas, <http://www.panix.com/~mpoly/android/antennas/r1.0/>
- [14] MATLAB, <http://www.mathworks.com/products/matlab/>